

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 نخلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

Mention Électronique
Spécialité Réseaux & Télécommunication

Présenté par

BOUSHAKI Oussama

MOSBAH Abd Elmouniem

Pour l'obtention du diplôme master en réseaux et télécommunications

Thème

Dimensionnement et planification d'un réseau LTE

Proposé par : Dr H. AIT SAADI

Année universitaire 2019-2020

I. Remerciements et Dédicaces

On remercie ALLAH le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour mener à terme ce présent travail.

On tient à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur monsieur **Hocine AIT SAADI**, pour son entière disposition, et ses judicieux conseils, sa patience et sa gentillesse, mais surtout pour son esprit paternel.

Nous tenons à exprimer aussi notre profonde gratitude à nos professeurs qui tout au long des années d'études nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Nos remerciements s'adressent également à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, nous tenons à remercier tous nos amis et collègues pour leur soutien moral tout au long de cette préparation.

Nous dédions également ce modeste travail à :

À nos très chers parents qui n'ont pas cessé de nous encourager et de nous soutenir dans les moments difficiles, qui ont prié Dieu pour nous, et qui ont su nous entourer de leurs affections et amours. ***Tous ceux qui nous sont chers***

ملخص:

حققت شبكة الجيل الرابع زيادة كبيرة في معدل النقل وتسمح بالتشغيل البيني مع الشبكات الأخرى. والهدف من هذا المشروع هو دراسة مفهوم تخطيط الراديو، وتحجيم شبكة **LTE** وفقاً للتغطية، والقدرة، وجودة الخدمة. واستناداً إلى البيانات الجغرافية، استخدمنا أداة للتنبؤ بالراديو وتحسين الأداء والتخطيط التلقائي.

الكلمات المفتاحية: التخطيط، التحجيم، القدرة، المحاكاة، التغطية، LTE، الجيل الثالث والجيل الرابع ATOLL.

Résumé :

Le réseau de la 4^e génération, a apporté une augmentation significative du débit et permet l'interopérabilité avec les autres réseaux. L'objectif de ce projet est l'étude du concept de planification radio et le dimensionnement du réseau LTE en fonction de la couverture, capacité, et qualité de service. En se basant sur les données géographiques, nous avons utilisé un outil de prédiction radio, d'optimisation et de la planification automatique.

Mots clés : planification, dimensionnement, capacité, simulation, couverture, LTE, 3G, 4G, ATOLL.

Abstract:

The network of the 4th generation has brought a significant increase in throughput and allows interoperability with other networks. The objective of this project is the study of the concept of radio planning and the sizing of the LTE network according to the coverage, capacity, and quality of service. Based on the geographical data, we used a tool for radio prediction, optimization and automatic planning.

Keywords: planning, dimensioning, capacity, simulation, coverage, LTE, 3G, 4G, Atoll.

II. Liste des acronymes et abréviations

- 1 **1G** première génération
- 2 **2G** deuxième génération
- 3 **3G** troisième génération
- 3GPP** Third Generation Partnership Project
- 4 **4G** quatrième génération
- 5 **5G** cinquième génération
- A **ACK** acknowledgement
- AMC** adaptive modulation and coding
- AMRF** accès multiple par répartition en fréquence
- AMRT** accès multiple par répartition en temp
- ARP** allocation and retention priority
- ATM MOBILIS** asynchronous transfer mode mobilis
- AUC** authentication centre
- B **BCCH** broadcast control channel
- BCH** broadcast channel
- BSC** base station controller
- BER** : bit error rate
- Bi** bruits de réception
- BSS** base station subsystem
- BTS** base station transceiver system
- C **CCCH** common control channel
- CDMA** code division multiple access
- CN** core network
- CQL** channel quality indication
- CS** circuit switched
- D **D** distance
- DB** decibel
- DCCH** dedicated control channel DL
- DCS** digital communication system
- DL** down link
- DL-SCH** down Link shared Channel
- DMRS** Demodulation reference signal
- DTCH** dedicated traffic channel
- E **E-UTRAN** evolved UMTS Terrestrial radio access network
- EDGE** enhanced data rates for gsm evolution
- EIR** Equipment Identity register

	EIRP effective isotropic radiated power
	EPC evolved packet core
	EPS Evolved Packet System
	ETSI European telecommunication standard institute
F	F frequency
	FDD frequency division-duplexing
	FDMA Frequency-Division Multiple Access
G	GBPS (GBIT/S) gigabyte per second
	GBR guaranteed bit rate
	GGSN gateway GPRS support node
	GMSC gateway MSc
	GPRS general packet radio service
	Gr gain de reception
	GSM global system for mobile communications
	Gt gain de transmission
H	HARQ Hybrid Automatic Response reQuest
	Hb : hauteur station de base
	HLR Home Location Register
	Hm hauteur mobile
	HO :handover
	HSS home subscriber server
I	IP internet protocol
K	KBPS (KBIT/S) kilobyte per second
	KM kilometre
L	LTE Long terme évolution
	Lp Perte de parcours
	Lr Perte de réception
	Lt perte de transmission
M	MAPL Maximum allowable path loss
	MBPS (MBIT/S) megabit per second
	MBSFN multimedia broadcast multicast single frequency network
	MCCH Multicast Control Channel
	MCH Multicast Channel
	MCS modulation and coding scheme
	ME mobile equipement
	MHZ Mega Hertz
	MIMO multiple input multiple output

MISO multiple input single output
MME mobility manager entity
MMS multimedia messaging service
MSC mobile switching center
MS mobile station
MTCH Multicast Traffic Channel

N **NF** noise factor
NMT: Nordic mobile telephone
NT: noise thermic
NTT : Nippon telephone and telegraph

O **OFDM** orthogonal frequency division multiple
OFDMA orthogonal frequency division multiple access
OLSM: Open loop spacial multiplexing

P **PBCH** Physical broadcast channel
PCCH paging control channel
PCH paging channel
PCI physical cell identifier
PCFICH physical control format indicator channel
PCRF policy charging rules function
PDCCH physical downlink control channel
PDN Packet data network
PDSCH physical downlink shared channel
PHICH physical hybrid-ARQ indicator channel
PGW packet data network gateway
PMCH physical multicast channel
PRACH physical random access channel
PRB physical resource block
PS packet switched
PSS primary synchronization signal
PUCCH physical uplink control channel
PUSCH physical uplink shared channel

Q **QAM** quadrature amplitude modulation
QCI quality of service class identifier
QOS quality of service
QPSK quadrature phase shift keying

R **RACH** random access channel

RB resource bloc
RE resource element
RLB Radio link budget
RNC radio network controller
RRC radio resource control
RRM radio resource management
RS reference signal

S **SC-FDMA** signal carrier FDMA
SeNB sensibilité de eNodeB
SGSN serving GPRS support node
SGW Serving GateWay
SINR signal-to-interface-plus-noise ratio
SIMO single input multiple output
SISO single input single output
SNR signal-to-noise ratio
SMS short message service
SS synchronization signal
SSS secondary synchronization signal
SRS sounding reference signal
Sz surface de la zone

T **TACS** total access communication system
TDD time division-duplexing
TDMA time-division multiple-access
TTI transmission time interval

U **UE** user equipment
UL up link
UL-SCH uplink shared channel
UMTS universal mobile telecommunication system
USIM universal subscriber identity module
UTRAN universal terrestrial radio access network

V **VLR** visitor location register
VOIP voice over ip

W **WI-FI** wireless fidelity
WIMAX wideband interoperability for microwave access
WRB bande passante par bloc de ressource

Z **Zd** zone de déploiement

III. Table des matières

I. Remerciements et Dédicaces.....	2
II. Liste des acronymes et abréviations.....	4
III. Table des matières	8
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Les réseaux cellulaires.....	2
1.1 Introduction	2
1.1.1 La cellule	2
1.1.2 La dimension d'une cellule	2
1.1.3 Déploiement des réseaux cellulaires.....	3
a La macro cellule.....	3
a.1 La macro cellule omnidirectionnelle	3
a.2 La macro cellule bi sectorielles.....	3
a.3 La macro cellule tri sectorielles	3
b Les micros cellules.....	4
c Les pico-cellules.....	4
d Le modèle hexagonal	4
1.1.4 Concept cellulaire	5
a Motif cellulaire :	5
b Réutilisation des ressources :	6
b.1 Distance de réutilisation :	6
b.2 Rapport signal/bruit et signal/interférence :	7
1.2 Évolution des réseaux cellulaires :	8
1.2.1 La première génération (1G) :	8
1.2.2 La deuxième génération 2G (GSM) :	9
a Evolution vers l'GPRS :	9
b Evolution vers l'EDGE :	9
1.2.3 La troisième génération 3 G (UMTS) :	9
a Architecture du réseau UMTS.....	11
a.1 Réseau cœur (CN).....	11
a.2 Réseau d'accès radio (UTRAN)	12

a.3	Station mobile (MS)	13
b	Interfaces dans le réseau UMTS.....	14
c	Bandes de fréquences	15
d	Handover en UMTS	16
d.1	Handover intra et inter systèmes	16
d.2	Soft Handover	16
1.2.4	La quatrième génération de téléphonie mobile (LTE):	17
a	Architecture de la 4g (LTE)	17
a.1	L'équipement de l'utilisateur UE.....	18
a.2	Réseau d'accès E-UTRAN	18
a.3	Le réseau cœur : EPC (Evolved Packet Core).....	19
b	La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)	19
c	OFDMA	20
c.1	L'OFDMA et SC-FDMA	20
d	Structure de la trame	21
e	Concept de bloc de ressources	22
f	Les canaux radio.....	23
f.1	les canaux logiques	23
f.2	Les canaux de transport	24
f.3	Les canaux physiques	24
g	Modulation et codage adaptatifs.....	25
h	Le HANDOVER dans le LTE	26
i	Les caractéristiques fondamentaux du LTE.....	27
i.1	Débits et fréquences du réseau LTE	27
i.2	La latence.....	28
i.3	La mobilité	28
j	Qualité de service (QoS).....	28
k	Les Performance des réseaux 4G	30
k.1	Une mobilité à toute épreuve	30
k.2	Des temps de réponse rapides	30
k.3	La voix sur IP	30
k.4	Débit sur l'interface radio.....	30

k.5	Connexion permanente	30
k.6	Délai pour la transmission de données	31
k.7	Flexibilité dans l'usage de la bande	31
1.3	Conclusion.....	31
Chapitre 2 Dimensionnement et planification d'un réseau LTE		32
2.1	Introduction	32
2.2	Processus de dimensionnement.....	32
2.2.1	Pré-dimensionnement.....	33
2.2.2	Dimensionnement de couverture	33
a	Les étapes de dimensionnement de couverture	33
b	Le calcul à faire	34
c	Le bilan de liaison (Radio Link Budget).....	34
d	Modèle de propagation.....	35
d.1	Le modèle Okumura-Hata	35
d.2	Le modèle COST 231-Hata	36
2.2.3	calcul de la couverture en Up Link	36
a	Débit requis	36
b	SINR requis	37
c	Sensibilité eNodeB (récepteur)	37
d	Les marges de bruit	38
d.1	Marges de pénétration.....	38
d.2	Marge de Shadowing.....	39
d.3	Evanouissement rapide	39
d.4	Marges des lignes d'alimentation (Feeder).....	39
d.5	Marge d'interférence	40
e	Puissance par bloc de ressource EIRP (Effective Isotropic Radiated Power).....	41
f	Bilan de liaison en uplink.....	41
2.2.4	calcul de la couverture en down Link	41
a	Pertes de trajet.....	42
b	Débit binaire requis.....	42
c	Puissance par bloc de ressource	42
d	Augmentation du bruit à la bordure de la cellule	42

e	Equation de bilan de liaison down Link.....	42
f	Sensibilité du récepteur de l'équipement utilisateur :	43
g	SINR a la bordure de la cellule	43
h	Limite du bilan de liaison	43
i	Les modes de transmission	43
i.1	Cas de liaison descendante	44
i.2	Cas de liaison montante	44
j	Rayon de la cellule.....	45
k	Nombre de sites :	45
2.2.5	Dimensionnement de capacité.....	46
a	Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink	47
a.1	Débit de la cellule	47
b	Calcul de dimensionnement de capacité down Link.....	47
b.1	SINR.....	47
b.2	Débit Cellulaire	48
b.3	Nombre des sites décidé	48
2.3	Conclusion.....	48
Chapitre 3 Simulation LTE sur ATOLL.....		49
3.1	Introduction	49
3.2	Présentation générale du logiciel ATOLL.....	49
3.3	Organisation de la procédure du dimensionnement	50
3.4	Étude d'un cas général.....	50
3.5	Création d'un projet.....	50
3.5.1	Présentation de la région à planifier à l'intérieur d'un polygone	50
3.5.2	Définition de la zone de calcul :.....	51
3.5.3	Utilisation d'un modèle de propagation	51
3.5.4	Création des sites	52
3.6	La planification de la couverture	53
3.6.1	Bilan de liaison.....	53
3.6.2	Paramètres de l'antenne	54
3.7	Plan de fréquence	55
3.8	Plan PCI utilisé.....	55

3.9	Plan de PRACH utilisé.....	57
3.10	Plan des cellules voisines	57
3.11	Prédiction de la couverture	58
3.11.1	Prédiction de la couverture par niveau de champ (DL).....	58
3.11.2	Prédiction de la couverture par émetteur (DL).....	59
3.11.3	Prédiction de la couverture par débit (DL+UL).....	59
3.11.4	Prédiction de l'analyse de signal effectif RSRP en DL.....	62
3.11.5	Prédiction de couverture par niveau de C/ (I+N)	62
3.11.6	Prédiction de zone de recouvrement (overlapping zone).....	63
3.12	Optimisation du réseau LTE	64
3.12.1	Optimisation par l'ajout des sites.....	64
3.12.2	Optimisation automatique des cellules (ACP).....	66
3.13	Résultat d'optimisation des sites LTE :	66
3.13.1	Optimisation de couverture par niveau de champ	67
3.13.2	Optimisation de niveau de signal effectif RSRP.....	68
3.13.3	Optimisation par niveau de C/ (I+N).....	69
3.13.4	Optimisation par zone de recouvrement	69
3.13.5	Optimisation de débit fourni en DL	70
3.13.6	Optimisation de débit fourni en UL.....	71
3.14	Conclusion.....	71
IV.	Conclusion générale	72
V.	Bibliographie :	73

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : interfaces dans le réseau UTRAN.....	15
Tableau 1.2 : caractéristiques générales des systèmes GSM et DCS.....	15
Tableau 1.3 : Nombre d'RB par bande passante.....	23
Tableau 1.4 : les canaux logique	24
Tableau 1.5 : les canaux transport	24
Tableau 1.6 : les canaux physique	25
Tableau 2.1 : largeur de bande et les blocs de ressource spécifiées LTE.....	37
Tableau 2.2 : les paramètres semi-empiriques pour la liaison montante.....	37
Tableau 2.3 : pertes de pénétration.....	38
Tableau 2.4 : pertes selon le type de signal.....	38
Tableau 2.5 : pertes de shadowing suivant la probabilité de couverture.....	39
Tableau 2.6 : pertes de ligne d'alimentation.....	40
Tableau 2.7 : paramètres semi empiriques pour la liaison descendante.....	44
Tableau 2.8 : paramètres semi empiriques pour la liaison montante.....	45
Tableau 2.9 : Atténuation fixe dans le modèle de propagation d'okumura-hata.....	45
Tableau 2.10 : valeurs références de la surfaces de la zone.....	46
Tableau 3.1 : Bilan de liaison.....	54
Tableau 3.2 : Paramètres de la simulation.....	54
Tableau 3.3 : exemples de cellules voisines de la cellule Site0_1.....	57

Liste des figures :

Figure 1.1 : Topologie d'un réseau cellulaire tri sectorisé à structure hexagonale.....	4
Figure 1.2 : Différent types de cellules	5
Figure 1.3 : Motif a 7 cellules	6
Figure 1.4 : distance de réutilisation le modèle hexagonal : exemple de motif a 3,4 et 7 cellules.....	7
Figure 1.5 : Evolution de réseau cellulaire.....	8
Figure 1.6 : Développement de réseau cellulaire.....	10
Figure 1.7 : Architecture globale du réseau UMTS.....	11
Figure 1.8 : Architecture du réseau d'accès UTRAN	13
Figure 1.9 : Station mobile (MS).....	14
Figure 1.10 : Sorteur ET Soft Handover.....	17
Figure 1.11 : Architecture de la LTE	18
Figure 1.12 : équivalent de l'eNodeB.....	18
Figure 1.13 : Schémas représentatifs des systèmes SISO, MISO, SIMO et MIMO.....	19
Figure 1.14 : Principe de l'OFDMA.....	20
Figure 1.15 : La différence OFDMA et SC-FDMA.....	21
Figure 1.16 : Structure de la trame FDD	21
Figure 1.17 : Structure de la trame TDD.....	22
Figure 1.18 : Bloc de ressource.....	22
Figure 1.19 : le mappage entre les canaux logiques, de transports et physiques.....	25
Figure 1.20 : constellation de modulation QPSK, 16QAM et 64QAM.....	26
Figure 1.21 : Méthode d'application de l'AMC.....	26
Figure 1.22 : Le Handover dans LTE	27
Figure 2.1 : Processus de dimensionnement	32
Figure 2.2 : Processus de dimensionnement de couverture pour le DL et UL.....	34
Figure 2.3 : calcul du dimensionnement de couverture	34
Figure 2.4 : l'alimentation d'antenne dans une station de base intérieure	40
Figure 2.5 : modèle bilan de liaison en Up Link.....	41
Figure 2.6 : modèle bilan de liaison descendante.....	43
Figure 2.7 : Modèle hexagonales de cellule omnidirectionnel.....	46
Figure 2.8 : Modèle hexagonales de cellule tri-sectoriel.....	46
Figure 2.9 : illustration du calcul de dimensionnement de capacité.....	47
Figure 3.1 : Commun d'Ouled yaich.....	49
Figure 3.2 : organigramme de simulation.....	50
Figure 3.3 : la carte de la commune d'ouled yaich (Blida).....	51
Figure 3.4 : la zone de couverture.....	51
Figure 3.5 : modèle standard de propagation.....	52
Figure 3.6 : l'emplacement des sites, secteurs et cellules dans le polygone.....	52
Figure 3.7 : paramètres des sites.....	53
Figure 3.8 : paramètres d'antenne.....	54
Figure 3.9 : polarisation d'antenne.....	55
Figure 3.10 : plan de fréquence 1x1.....	55
Figure 3.11 : affectation des PCI.....	56
Figure 3.12 : défèrent types de prédictions.....	58

Figure 3.13 : Prédiction de couverture par niveau de champ.....	58
Figure 3.14 : Prédiction de la couverture par émetteur.....	59
Figure 3.15 : Prédiction de la couverture par débit (DL).....	60
Figure 3.16 : Prédiction de la couverture par débit (UL).	60
Figure 3.17 : Résultat de calcul du débit (UL).	61
Figure 3.18 : Résultat de calcul du débit (DL).	61
Figure 3.19 : prédiction du signal effectif RSRP.	62
Figure 3.20 : prédiction de la couverture par niveau de $C/(I+N)$ et son histogramme.....	62
Figure 3.21 : prédiction par zones de recouvrement.....	63
Figure 3.22 : Histogramme de la zone de recouvrement.....	63
Figure 3.23 : Prédiction du signal effectif RSRP + trous de couverture.....	64
Figure 3.24 : implémentations des nouveaux sites.....	65
Figure 3.25 : allocation automatique de PCI.....	65
Figure 3.26 : allocation automatique de PRACH.....	66
Figure 3.27 : application de l'ACP.....	66
Figure 3.28 : le niveau de champ avant et après l'optimisation.....	67
Figure 3.29 : le niveau de signal RSRP avant et après l'optimisation.....	68
Figure 3.30 : le niveau de $C/(I+N)$ avant et après l'optimisation.....	69
Figure 3.31 : Zone de recouvrement après l'optimisation.....	69
Figure 3.32 : le débit fourni en DL avant et après l'optimisation.....	70
Figure 3.33 : le débit fourni en UL avant et après l'optimisation.....	71

Introduction générale

Les réseaux mobiles ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS). D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que Wifi, Bluetooth, etc.

Le réseau sans fil dit de quatrième génération (4 G) apporte un véritablement tournant dans le foisonnement et la disparité des solutions existantes. Le débit offert par le LTE a permis l'émergence de nouvelles applications et services mobiles et de passer sérieusement vers l'air de l'internet des objets (IOT). La planification et le dimensionnement de ce genre de réseau est une étape très importante pour les étapes qui permet d'optimiser les couts, et déployer les équipements radio qu'il faut pour répondre aux besoins des clients.

Le premier chapitre donnera un aperçu général des différentes normes de téléphonie mobile tel que la 1e génération (1G) comme l'était, au départ, le GSM (2G) qui donnait accès au service voix et mobilité, le GPRS (2,5 G), l'EDGE (2,75 G) et l'UMTS (3G) qui permettent aux usagers d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services. Dans notre travail, on s'est focalisé sur le réseau LTE, son architecture, ses caractéristiques, ses spécifications techniques, principalement l'interface air et les innovations apportées par rapport à l'UMTS.

Le deuxième chapitre sera consacré à la planification et dimensionnement de la capacité et couverture du réseau LTE. On présente des généralités sur l'environnement de propagation radio qui inclut les modèles de propagation.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la procédure de planification et dimensionnement radio, en commençant par les prédictions de signal effectif RSRP, la qualité de signal C/ (I+N), débit (en up Link et down Link), les paramètres liés au bilan de liaison et le modèle de propagation et on terminera par les étapes de planification radio (dimensionnement et planification).

Les résultats des simulations obtenues à l'aide du logiciel de planification Atoll ont été réalisés sur une zone géographique déterminée (la commune d'ouled yaich).

Chapitre 1 : Les réseaux cellulaires

1.1 Introduction

Les réseaux cellulaires ont connu un sacré développement, ce qui a mené à l'apparition de plusieurs générations de réseaux mobiles (1G, 2G, 3G, 4G et 5G). Ce développement a apporté un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter, et une bande passante de plus en plus large, ce qui a permis d'augmenter le nombre d'utilisateurs supportés.

Dans ce chapitre nous allons parler de cette évolution en se basant sur la 3e génération (UMTS) et la 4e génération (LTE) de téléphonie mobile.

1.1.1 La cellule

On appelle cellule, une surface géographique couverte par des antennes (couverture) sur laquelle il y a la disponibilité d'un canal de transmission donnée (Voie balise), constitué d'une voie radio électrique caractérisée par une fréquence donnée ou un couple de fréquences données selon les services assurés.

Les cellules sont disposées de façon adjacente les unes contre les autres et peuvent couvrir un rayon variant de 5 à 20 km, c'est-à-dire qu'elles peuvent desservir les abonnés situés dans un cercle de 10 à 40 km de diamètre. La cellule joue le rôle d'interface entre le mobile et le central cellulaire, elle assure donc les fonctions suivantes :

- Affectation des canaux de communication aux mobiles,
- Émission permanente de la signalisation,
- Supervision de la communication.

1.1.2 La dimension d'une cellule

La dimension d'une cellule est fonction de la puissance de son émetteur-récepteur. Si un émetteur-récepteur est très puissant, alors son champ d'action sera très vaste, mais sa bande de fréquence peut être rapidement saturée par des communications. Par contre, en utilisant des cellules plus petites (émetteur-récepteur moins puissant) alors la même bande de fréquence pourra être réutilisée plus loin, ce qui augmente le nombre de communications possibles. Dans la conception d'un réseau cellulaire, il faut considérer les aspects suivants :

- La topographie (bâtiments, collines, montagnes, etc.).
- La densité de la population (ou de communications) pour établir la dimension de cellule.
- Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même bande de fréquence afin d'éviter les interférences. La distance entre deux cellules ayant la même bande doit être de 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend :

- Du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.

- De la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles...).
- De la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton...) et de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Chaque cellule est caractérisée par :

- La puissance d'émission normale de son BTS (dans cette zone, le niveau de champ électrique doit être supérieur à un seuil déterminé).
- Sa fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radio électrique.
- Le réseau auquel elle est interconnectée [3].

1.1.3 Déploiement des réseaux cellulaires

Les diverses tailles et types de cellules sont à déployer en fonction de l'environnement considéré et de la technologie. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau pour cela, on distingue :

a La macro cellule

Il s'agit d'une cellule de quelques dizaines de kilomètres de rayon qui caractérise les liaisons en milieu suburbain et rural. Les antennes d'émission dont, dans ce cas particulier placé sur des positions levées.

Il existe trois types de macro cellules

a.1 La macro cellule omnidirectionnelle

Elle est composée d'un frame et donc d'un seul secteur. Elle possède au minimum un TRX. Ce type classique de cellule est plus utilisé dans les zones rurales (à faible densité d'abonnés).

a.2 La macro cellule bi sectorielles

Elle est composée de deux secteurs. Elle possède au minimum un TRX chacun. Ce type de cellule conviendrait mieux à un environnement médian (ruraux-urbain). Malheureusement, ce type de cellule est de plus en plus délaissé au profit des cellules tri sectoriels.

a.3 La macro cellule tri sectorielles

Elle est composée de trois secteurs possédant chacun au minimum un TRX. C'est le type de cellule le plus utilisée, notamment en zones urbaines à forte densité de trafic.

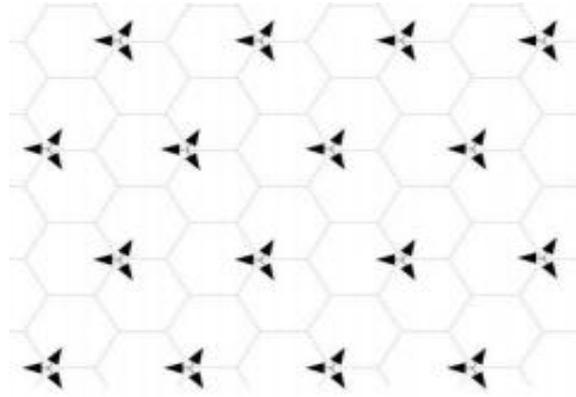


Figure 1.1. Topologie d'un réseau cellulaire tri sectorisé à structure hexagonale [3].

b Les micros cellules

Les microcellules sont des cellules de petite dimension destinées aux zones à forte densité d'usage (par exemple une gare, une rue très fréquentée...), pour augmenter la capacité de réseaux (et éviter l'encombrement de réseau macro-cellulaire). Les antennes à microcellule sont placées sur les façades des bâtiments et peuvent être de types « omnidirectionnel » ou de types « directionnel ».

c Les pico-cellules

Les pico cellules sont des cellules de taille encore plus inférieure que celles des micros cellules, et couvrent une zone plus restreinte qu'elles (un étage de bâtiment, une salle ou une station de métro). Elles émettent de manière omnidirectionnelle à une puissance d'émission très faible (quelques centaines de milliwatts).

d Le modèle hexagonal

Lorsqu' on considère un environnement homogène, l'affaiblissement de parcours est proportionnel à $r^{-\gamma}$ où r désigne la distance entre stations de base et mobile et γ coefficient d'atténuation entre 2 et 4 typiquement 3.5, une cellule est alors un disque de rayon R , dont la valeur dépend de la puissance d'émission et du seuil de réception du système. On approxime une cellule par un hexagone qui est le polygone le plus proche du cercle qui permet de paver le plan.

On considère un territoire à couvrir par des cellules de même dimensions avec les hypothèses suivantes :

- Sur l'ensemble de ce territoire, la loi de propagation s'applique.
- La puissance nominale de toutes les stations de base et de tous les mobiles est la même.
- La demande en trafic est uniformément répartie et l'opérateur affecte le même nombre de porteuses à chaque station de base [3].

1.1.4 Concept cellulaire

Les réseaux mobiles sont basés sur le concept de motif cellulaire. Une technique qui permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Une cellule est contrôlée par un émetteur/récepteur appelé station de base, qui assure la liaison radio avec les terminaux mobiles sous sa zone de couverture. La couverture d'une station de base est limitée par plusieurs facteurs, notamment :

- La puissance d'émission du terminal mobile et de la station de base.
- La fréquence utilisée.
- Le type d'antennes utilisé à la station de base et au terminal mobile.
- L'environnement de propagation (urbain, rural, etc.).
- La technologie radio employée [1].

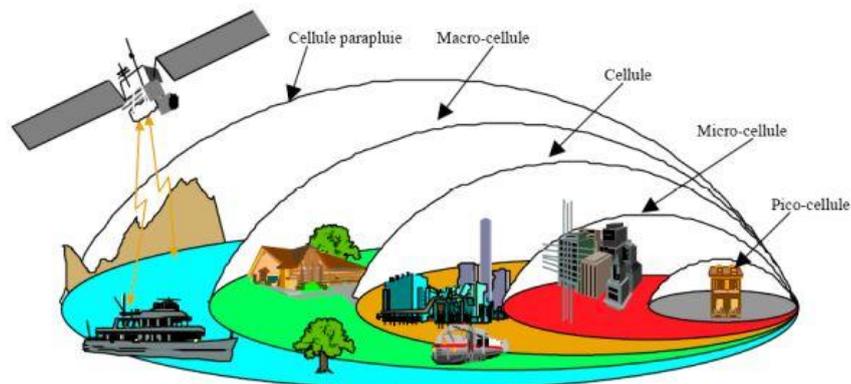


Figure 1.2. Différents types de cellules [1].

a Motif cellulaire :

Un motif cellulaire est par définition une réunion d'hexagones adjacents ou cellules adjacentes qui permettent de paver le plan (couverture de la zone). La distance de réutilisation D du motif d'un site est donnée par la formule suivante :

$$\sqrt{3BK} \leq D \quad (1.1)$$

Où B est la dimension de la cellule du motif. K représente le groupe de fréquences du motif. Autrement dit, la forme d'un motif est plus ou moins déterminée par le nombre de stations de base utilisables. On dispose d'un certain nombre F de fréquences utilisables au sein d'un même motif pour assurer les communications entre les mobiles et les stations de base. Fabriquer un plan de fréquences, c'est répartir les fréquences entre les différents BTS d'un motif. On répète ensuite ce plan à l'infini en le reproduisant tel que sur tous motifs pour paver

un secteur géographique donné. Choisir un bon plan de fréquences n'est cependant pas une chose facile. Lorsque des stations de base proches utilisent des fréquences voisines, des interférences apparaissent en effet entre les communications passant par ces BTS. Il convient donc de choisir un plan de fréquences pour minimiser à priori ces interférences [6].

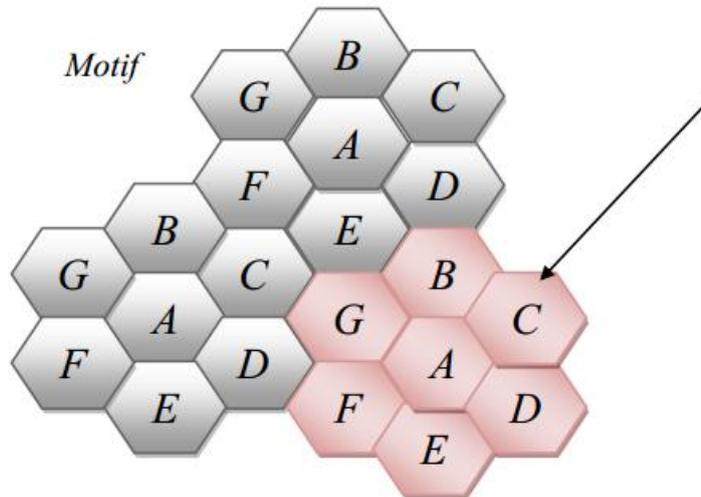


Figure 1.3. Motif a 7 cellules [6].

b Réutilisation des ressources :

L'opérateur dispose d'une zone à couvrir et d'une bande de fréquences. Dans les systèmes tels que le GSM, cette bande est partagée en deux sous bandes, dont une est utilisée pour les liaisons mobiles vers infrastructure (liaison montante) et l'autre vers le sens inverse infrastructure vers mobiles (liaison descendante). Chaque sous-bande est ensuite partagée en un certain nombre de porteuses. Une porteuse peut écouler une ou plusieurs communications simultanément [6].

b.1 Distance de réutilisation :

La distance de réutilisation dépend de la grandeur des cellules et des groupes de fréquences N , qu'on utilise dans le modèle de réutilisation des canaux. Plus N est grand plus la distance de réutilisation est grande. Il existe une relation entre le nombre de groupe et les coordonnées des cellules de groupe de fréquences identiques. Pour déterminer cette relation, on doit considérer en premier l'approche systématique suivante, pour trouver les cellules de canaux identiques dans un modèle de cellule régulier, comme le montre la figure 1.4.

D = distance de réutilisation

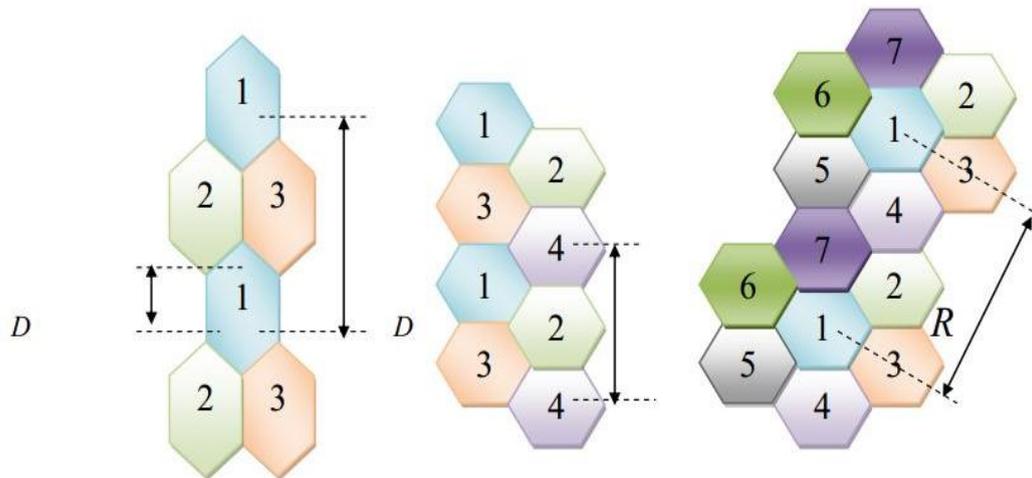


Figure 1.4. Distance de réutilisation le modèle hexagonal :
Exemple de motifs à 3, 4 et 7 cellules [6].

Un motif ayant un nombre de fréquences données est optimal s'il est régulier, c'est-à-dire s'il est invariant par une rotation de 120 degré. Dans ce cas, la taille du motif N vérifié la relation suivante :

$$N = i \times 2 + i \times j + j \times 2 \quad (1.2)$$

Où i et j sont des entiers naturels positifs ou nuls. Les exemples de valeurs de N possibles sont 7, 9, 12, 19, 21. La distance de réutilisation D entre cellules de mêmes canaux peut être trouvée comme suit :

$$D = \sqrt{3N} \times R \quad (1.3)$$

Où R est le rayon de la cellule N est le numéro de groupe de fréquences.

b.2 Rapport signal/bruit et signal/interférence :

Une cellule particulière réutilisera les canaux qui ont été utilisés dans d'autres cellules à partir d'une certaine distance. Ceci veut dire que la cellule souffrira d'interférences co-canal qui arrivent d'autres cellules qui utilisent les mêmes canaux. Finalement, l'étendue de la couverture sera limitée par ces interférences en plus du bruit habituel. Donc, un système cellulaire sera limité en interférences en opposition à un système conventionnel limité en bruit. Le problème dans la conception d'un système cellulaire est de contrôler ces interférences à un niveau tolérable. Ceci est fait en partie en contrôlant la distance de réutilisation du canal. Plus la distance est grande moins il y a des interférences. Nous serons donc confrontés à deux principaux facteurs qui affectent la qualité de la parole : -le rapport signal/bruit (ou porteuse/bruit) ; c'est à dire le niveau du signal reçu (c) de la porteuse voulue devrait être plus haut que le niveau de bruit reçue (N), -le rapport signal/interférences (ou porteuse/interférences), c'est-à-dire le niveau du signal(c) de la porteuse reçue devrait aussi être plus haut que le niveau total d'interférences co-canal. La valeur convenable de ces rapports établis par une évaluation subjective est de l'ordre de :

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{I} = 18 \text{ dB} \quad (1.4)$$

Il faut noter que la valeur du signal reçue varie autour d'une certaine moyenne à cause des fadings dus aux trajets multiples et aux masques. Ces variations instantanées sont de l'ordre de 10 à 20 dB [6].

1.2 Évolution des réseaux cellulaires :

L'industrie radio mobile ne cesse d'évoluer. Elle a connu un développement considérable en termes de technologie et de nombre d'abonnés. Avec l'apparition de nouvelles technologies en télécommunications, les normes modernes deviennent de plus en plus strictes en termes de qualité de service rendue aux clients. Mais sur le plan technologique en particulier, les réseaux de transmission ont vu leur capacité s'accroître, notamment concernant le débit supporté et le nombre d'utilisateurs.

De plus, l'intégration des services et la diversité des données échangées (voix, vidéo haute définition, consultation interactive de base de données, Internet haut débit,...) exigent des systèmes de plus en plus rapides pour traiter des volumes d'informations en augmentation constante.



Figure 1.5. Evolution de réseau cellulaire.

1.2.1 La première génération (1G) :

La première génération de systèmes cellulaires 1G est la technologie de téléphonie mobile de première génération. Les téléphones portables étaient des téléphones analogiques et étaient introduits en 1980. En 1979, le premier système cellulaire dans le monde est devenu opérationnel par « Nippon Telephone and Telegraph (NTT) » à Tokyo, Japon. En Europe, les deux systèmes analogiques les plus populaires étaient « Nordic Mobile Telephone (NMT) » et « TACS », d'autres systèmes analogiques ont également été introduits dans les années 1980 à travers l'Europe. Tous les systèmes offraient la fonctionnalité de handover et d'itinérance, mais les réseaux cellulaires n'étaient pas en mesure d'interagir entre les pays. C'était le principal inconvénient de la téléphonie mobile de première génération. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur) [2].

1.2.2 La deuxième génération 2G (GSM) :

Le GSM (Global System for Mobile Communications) est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des messages (SMS, limités à 160 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, il a fallu proposer des nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kb/s proposé par le GSM est insuffisant, dans ce sens, de nouvelles techniques de modulation et de codage ont été développées. Elles ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération [3].

a Evolution vers l'GPRS :

Le GPRS (General Packet Radio Service) est l'initiative européenne au sein de l'ETSI (1991) pour l'introduction de services multimédia sur un réseau mobile. La technologie GPRS est communément appelée 2.5 G, car elle est vue comme une transition de la transmission de données bas débit en mode circuit du GSM, vers la transmission de données en mode paquet grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. La norme GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût [3].

b Evolution vers l'EDGE :

La norme EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une norme de téléphonie mobile, une évolution du GSM. Cette technologie adopte une nouvelle modulation permettant d'atteindre des débits plus élevés tout en utilisant le spectre radio du GSM existant des opérateurs.

Bien qu'avec des débits limités par rapport aux technologies UMTS qui le suivent, l'EDGE a la capacité d'offrir presque tous les services 3 G. Il constitue donc une solution intéressante pour un opérateur qui désire offrir des services 3G à partir des ressources spectrales déjà existantes du 2G [3].

1.2.3 La troisième génération 3 G (UMTS) :

L'évolution du GSM vers l'UMTS se traduira par une augmentation sensible du débit, comme illustre la figure 1.2 :

À la différence du système GSM qui a été optimisé pour la voix et sur lequel il a été possible de transporter des données par paquet, l'UMTS est optimisé pour le transport des données par paquet et sur lequel il est possible de véhiculer la voix.

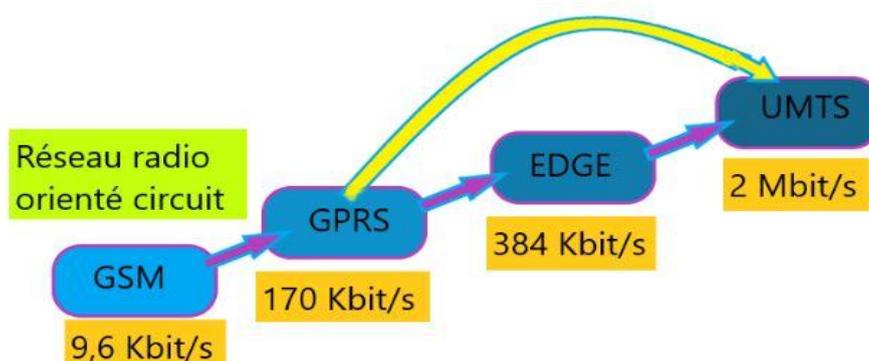


Figure 1.6 : Développement de réseau cellulaire

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial :

L'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA).

La 3G est caractérisée par la volonté des industriels de télécommunications de définir une norme au niveau mondial. Les enjeux étaient d'offrir une itinérance globale aux usagers, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau grâce aux économies d'échelle. Dans cette perspective, ces entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupées au sein du consortium 3GPP. Cette démarche aboutit à l'élaboration de la norme UMTS à la fin des années 1990. Cette première version de la norme est appelée Release 99. Les innovations associées au système UMTS ont principalement été sur la partie réseau d'accès. Cette dernière est connectée au réseau cœur du GPRS. Les objectifs de l'UMTS ont été d'accroître la capacité du système pour le service voix, mais surtout d'améliorer les services de données [3].

La différence majeure avec le GSM vient de l'interface radio. Celle-ci repose sur l'étalement de spectre à séquence directe. L'étalement de spectre consiste à transmettre une information sur un signal occupant un spectre nettement plus grand que le minimum nécessaire. Cette technique a été d'abord utilisée dans les systèmes militaires à des fins de discrétion et parce qu'elle offre une bonne résistance aux brouillages hostiles. Depuis le milieu des années 90, elle est utilisée dans certains systèmes radio mobiles cellulaires. En Algérie, au 31 décembre 2017, le parc d'abonnés 3G a atteint 21,592 millions avec un taux de pénétration au service téléphonique de troisième génération de 51,17% [4].

Les caractéristiques de la 3e génération sont :

- Un haut débit de transmission (144 kbit/s avec une couverture totale pour une utilisation mobile, 384 kbit/s avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne et 2 Mbit/s avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe).
- Compatibilité mondiale.

- Compatibilité des services mobiles de 3e génération avec les réseaux de seconde génération.

a Architecture du réseau UMTS

Le réseau 3G se compose principalement des éléments suivants :

- Le réseau cœur (CN).
- Le réseau d'accès Radio (UTRAN).
- Le terminal utilisateur (UE).

La figure suivante représente un schéma général de cette architecture

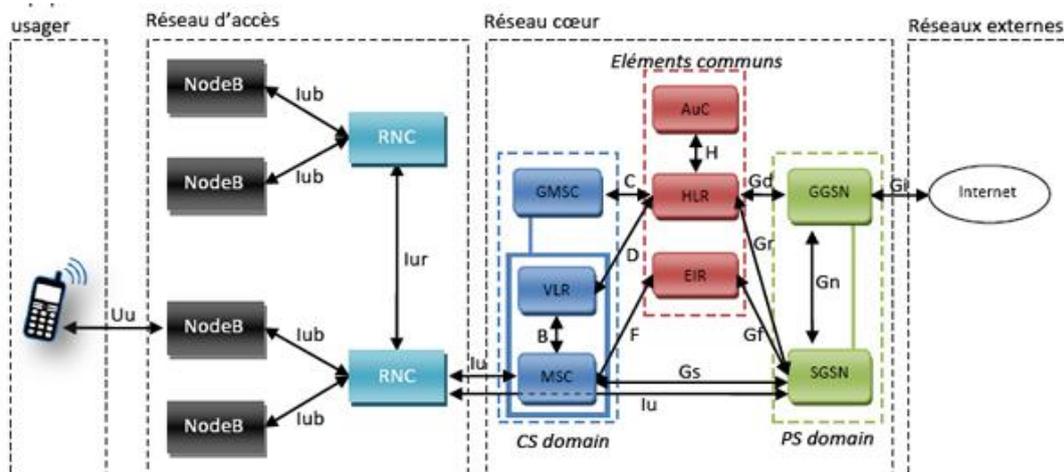


Figure 1.7 : Architecture globale du réseau UMTS [5].

a.1 Réseau cœur (CN)

Le réseau cœur (Core Network) est la partie du système UMTS chargée de la gestion des services souscrits par l'abonné. Il permet de communiquer à l'intérieur d'un même réseau de téléphonie mobile et assure l'interconnexion de ce dernier avec des réseaux externes, fixes ou mobiles, numériques ou analogiques.

Le réseau cœur est composé de trois parties :

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie.
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.
- Les éléments communes aux domaines CS et PS.

(i) Domaine à commutation de circuits (CS)

Il permet de gérer les services à temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, Jeux vidéo, application multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS, le débit était de 384 kbit/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers les réseaux externes. Le domaine CS est composé des éléments suivants :

- Le MSC.
- Le GMSC.

- Le VLR.

(ii) Domaine à commutation de paquet (PS)

Le domaine paquet permet de gérer les services en temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur internet, et de l'accès et l'utilisation des emails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapides que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC/VLR en GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en GSM) qui joueront le rôle de commutateur vers le réseau internet et les autres réseaux publics ou privés. Le domaine PS est composé des éléments suivants :

- Le SGSN.
- Le GGSN.

(iii) Éléments communs

Ce sont des éléments partagés par le domaine de commutation de paquet et le domaine de commutation de circuit, ces éléments sont :

- L'HLR.
- L'EIR.
- L'AUC.

a.2 Réseau d'accès radio (UTRAN)

Le réseau d'accès radio propose les fonctions permettant d'acheminer les informations depuis l'utilisateur jusqu'au réseau cœur, Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces « Uu » et « lu ». Cependant, il est chargé d'autres fonctions telles que :

- Sécurité : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'authentification.
- Mobilité : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.
- Gestion des ressources radio : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- Le contrôle du Handover.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées Node B), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS. La figure suivante illustre l'architecture d'un réseau UTRAN :

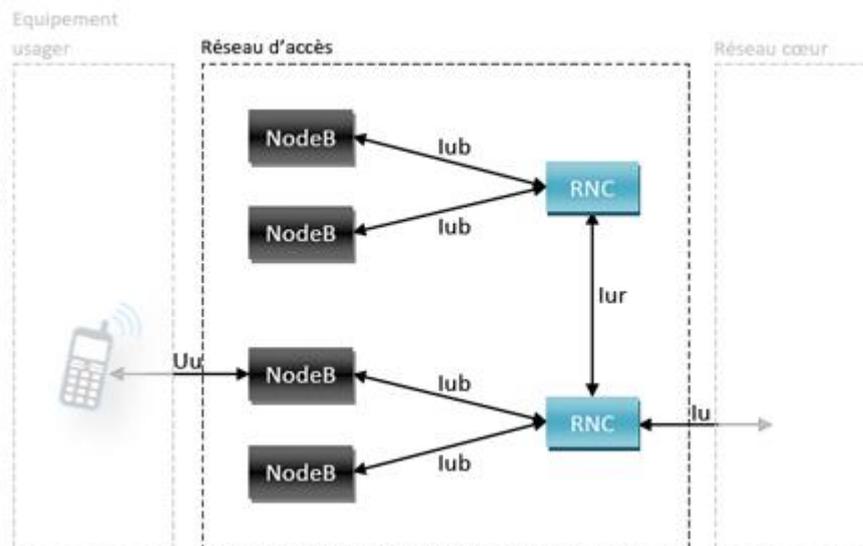


Figure 1.8 : Architecture du réseau d'accès UTRAN [5].

(i) Node B

C'est une antenne. Réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Ils gèrent la couche physique de l'interface radio.

Le Node B régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement.

Les Nodes B communiquent directement avec le mobile sous l'interface dénommée « Uu ».

(ii) Radio Network Controller (RNC)

Le RNC est un contrôleur de Node B. Il est encore ici l'équivalent du BCS dans le réseau GSM. Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour définir procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des Node B) et le réseau.

Le RNC s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit.

Le RNC est directement relié à un Node B, il gère alors :

- Le contrôle de charge et de congestion des différents Node B.
- Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées ...).

Il existe deux types de RNC :

- Le Serving RNC qui sert de passerelle vers le réseau.
- Le Drift RNC qui a pour fonction principale le routage des données.

L'ensemble des Node B et des RNC constitue l'équivalent de la sous architecture BSS. En réseau UMTS, on parlera de sous architecture UTRAN.

a.3 Station mobile (MS)

L'utilisateur est équipé d'une station mobile (Mobile Station) qui est constituée de :

(i) Équipement mobile (ME)

Les mobiles 3G ne seront plus de simples téléphones, mais des terminaux multimédias capables d'offrir simultanément des services de transmission de données, d'audio et de vidéo en tout moment.

(ii) Universal Subscriber Identity Module (USIM)

La carte USIM assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications. Des algorithmes de cryptage à clés publiques sont utilisés. Un certain nombre de possibilités sont prévues pour les cartes USIM de troisième génération. Par exemple, la détection des fausses stations de base, l'utilisation de clés de cryptage plus longues (notamment pour le m-commerce) ou encore la protection des données d'identité de l'abonné et de son terminal. La carte USIM est l'équivalent en 3G de la carte SIM en 2G.



Figure 1.9 : Station mobile (MS).

b Interfaces dans le réseau UMTS

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS :

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN
- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un Node B et un contrôleur radio RNC.

Ci-dessous un tableau récapitulatif de ces interfaces et leurs équivalents en réseau GSM [7] [8].

Interface en UMTS	Localisation	Brève description	Équivalent en GSM
Uu	UE-UTRAN	Interface radio qui permet au mobile de communiquer avec l'UTRAN.	Um

Iu	UTRAN- Réseau Cœur	Iu-Cs permet au RNC de communiquer avec le MSC/VLR	A
		Iu-Ps permet au RNC de communiquer avec le SGSN	Gb
Iur	RNC-RNC	Communication entre deux RNC notamment dans le cadre de la procédure de macro diversité	
Iub	Node B-RNC	Communication entre Node B et RNC	Abis

Tableau 1.1 : interfaces dans le réseau UTRAN.

c Bandes de fréquences

En Algérie, ATM Mobilis, titulaire d'une licence 3G est autorisé à exploiter une largeur de bande de 30 MHz (2 x 15 MHz), composée d'une bande inférieure pour les communications des terminaux vers les stations de base et d'une bande supérieure pour les communications des stations de base vers les terminaux, séparées par un écart duplex de 190 MHz. La largeur de bande attribuée pour chaque liaison correspond à 3 canaux de 5 MHz. Ces différents canaux sont disponibles sur l'ensemble du territoire national sous réserve des contraintes de coordination aux frontières.

Les fréquences des canaux attribués, exprimées en MHz, sont :

- 1920-1935 pour la bande inférieure (transmission mobile vers base).
- 2110-2125 pour la bande supérieure (transmission base vers mobile) [9].

Pour une uniformisation au niveau mondiale, cette bande doit être allouée au niveau de l'UIT (Union International des Télécommunications), permettant une compatibilité réelle entre les différents organes du système à travers le monde entier.

Normes	GSM 900	DSC 1800
Fréquence d'émission du terminal vers la station de base	890-915 Mhz	1710-1785 Mhz
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal	935-960 Mhz	1805-1880Mhz
Bande de fréquence disponible	25+25 Mhz	75+75Mhz
Méthode d'accès	AMRT/AMRF	AMRT/AMRF
Espacement des canaux radio	200 KHz	200 KHz
Ecart duplex	45 Mhz	95 Mhz
Nombre de canaux radio par sens	124	375
Nombre de canaux de parole plein débit	8	8
Débit brut d'un canal radio	270 kbit/s	270 kbit/s
Type de transmission	Numérique	Numérique

Tableau 1.2 : caractéristiques générales des systèmes GSM et DCS.

d Handover en UMTS

d.1 Handover intra et inter systèmes

Une station mobile (MS) a déjà un canal radio dans une cellule (gérée par un Node B et un RNC donnés) ; lorsque le signal reçu s'affaiblit, elle migre vers un nouveau canal. Il existe alors six types de handover :

- Handover Intra-RNC : le nouveau canal "voix" est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par le même RNC.
- Handover Intra-MSC/VLR : le nouveau canal est attribué à la MS, mais dans une cellule gérée par un autre RNC, lui-même étant géré par le même MSC/VLR.
- Handover Intra-SGSN : en mode paquet (transfert de données), le nouveau canal est attribué à la MS, mais dans une cellule gérée par un autre RNC, lui-même étant géré par le même SGSN.
- Handover Inter-MSC/VLR : le nouveau canal est attribué dans une cellule radio qui est gérée par un autre MSC/VLR.
- Handover Inter-SGSN : en mode paquet, le nouveau canal est attribué dans une cellule qui est gérée par un autre SGSN.
- Handover Inter-System : un nouveau canal radio est attribué dans un réseau mobile de technique différente du réseau auquel la MS était connectée (par exemple handover entre un réseau GSM et un réseau UMTS).

d.2 Soft Handover

Le soft handover a été en premier lieu utilisé dans les systèmes CDMA de seconde génération. Il est donc aussi d'usage pour le système UMTS (qui repose également sur un accès à répartition par les codes, ou CDMA).

Un soft handover survient entre deux cellules ou des secteurs qui sont supportés par différents Node B d'un même contrôleur (RNC). L'UE transmet ses données vers différents Node B simultanément et reçoit des données de ces différents Node B simultanément.

Dans le sens descendant, les données utilisateur délivrées à l'UE sont émises par chaque Node B simultanément et sont combinées dans l'UE. Dans la liaison montante, les données utilisateur émises par l'UE sont transmises à chaque Node B qui les achemine au RNC où elles sont combinées.

Dans le Soft Handover, nous y trouvons aussi le Softer Handover : c'est lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone de couverture commune de deux secteurs couverts par la même station de base (Node B).

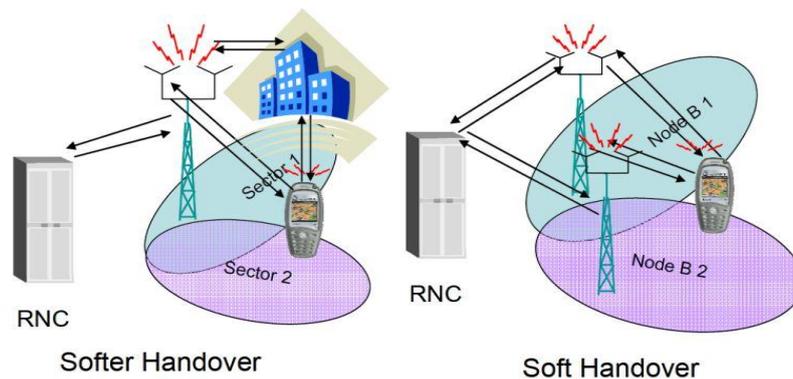


Figure 1.10: Softer ET Soft Handover.

1.2.4 La quatrième génération de téléphonie mobile (LTE):

La 4e génération de téléphonie mobile ou la technologie LTE (Long Term Evolution) utilise un réseau de transport à commutation de paquet IP contrairement aux anciennes générations de téléphonie mobile en utilisant la VoIP comme seul mode d'acheminement de la voix au lieu de transporter la voix en mode circuits comme dans la 3g. Il existe deux types de technologie LTE (LTE et LTE advanced) le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20MHz, permettant d'obtenir un débit binaire théorique pouvant dépasser les 100Mbit/s en liaison descendante, alors que le LTE advanced offre un débit atteignant 1Gbit/s liaison descendante.

La technologie LTE emploie une combinaison de technologies qui permet d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée. Les objectifs de la 4e G sont :

- Offrir de meilleurs services et de meilleurs débits aux usagers.
- Assure la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout en bout, la gigue et la perte de paquet.
- Minimiser le coût de signalisation.

a Architecture de la 4g (LTE)

La 4G(LTE) est basée sur une architecture composée de 3 parties :

- L'équipement de l'utilisateur : UE.
- Le réseau d'accès : l'e-UTRAN.

- Le réseau cœur : EPC (réseau tout-IP).

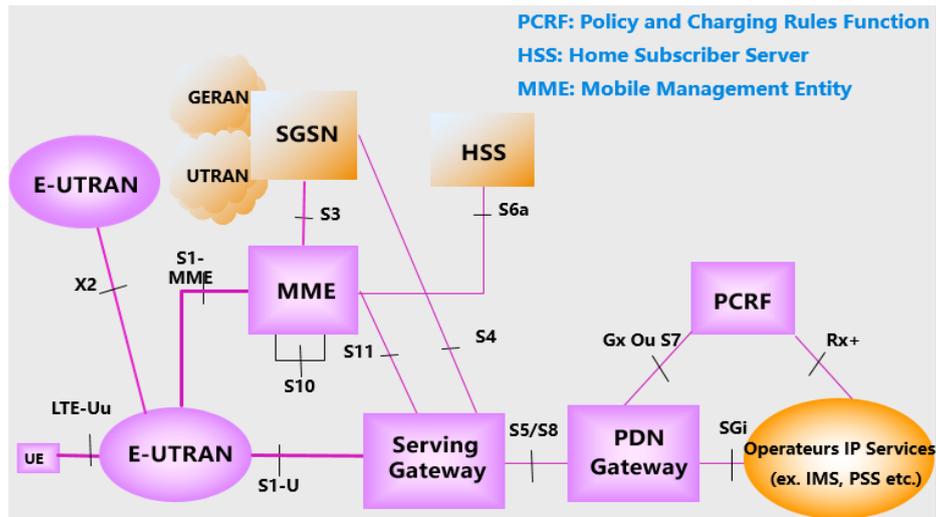


Figure 1.11 : Architecture de la LTE [10].

a.1 L'équipement de l'utilisateur UE

la 4G (LTE) nécessite de nouveaux équipements mobiles compatibles avec cette nouvelle technologie qui permet un débit théorique de 100 Mbit/s.

a.2 Réseau d'accès E-UTRAN

L'échange radio avec l'E-UTRAN et assurés par c'est composant unique les e-NodeB qui sont l'équivalent de l'RNC et le NodeB pour la 3G

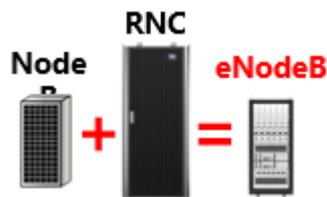


Figure 1.12 : équivalent de l'eNodeB [10].

(i) L'interface X2

L'interface X2 est une interface logique maillée, son rôle est de transporter les paquets entre eNodeB tout en limitant les pertes de c'est paquets en cas de mobilité de l'utilisateur. Sans faire intervenir le réseau, cœur.

(ii) L'interface S1

Cette interface joue le rôle d'intermédiaire entre le réseau cœurs et le réseau d'accès, pour cela elle est devise en deux interfaces élémentaires

- L'interface S1-U (S1 User plane interface) entre l'eNodeB et le SGW.
- L'interface S1-C (S1 Control plane interface) entre l'eNodeB et le MME.

a.3 Le réseau cœur : EPC (Evolved Packet Core)

Le réseau évolué EPC, utilise des technologies tout IP (Full IP), ce qui veut dire qu'il est basé sur les protocoles internet de signalisation qui permet le transport de la voix, des données et de réduire le temps de latence.

L'EPC assure la gestion des utilisateurs, de la qualité de service, de la mobilité, et de la sécurité.

L'EPC et compose de plusieurs éléments :

- MME (Mobility Manager Entity) est chargé de localiser l'utilisateur, connaître son état et gérer les procédures d'authentification et mobilité des UE ; il contrôle le signal entre l'UE et l'EPC, et assure l'établissement, la maintenance et l'élargissement de la porteur radio service.
- SGW (Serving GateWay) est responsable du transfert d'un relai à un autre, il gère tout l'espace Handover inter-eNodeB et effectuer ce transfert vers un réseau 2G ou 3G.
- PGW (Packet data network GateWay) c'est la passerelle vers les réseaux externes, responsables de routage en assignant une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. Il fait le filtrage des données, il participe aussi à l'opération de taxation.
- HSS (Home Subscriber Server) il contient les profils des abonnés pour les réseaux 2G, 3G et LTE.
- PCRF (Policy Charging Rules Function) il fournit au PGW les règles de taxations nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable.

b La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La technologie MIMO est une technologie clé pour l'augmentation de la capacité du système. Augmenter le débit et les portées du réseau mobile. Elle consiste à avoir plusieurs antennes de côté émetteur et de côté récepteur. Si un tel système comporte une seule antenne à l'émission et plusieurs à la réception on l'appelle SIMO et si c'est le cas contraire c'est-à-dire plusieurs à l'émission et une à la réception c'est un système MISO. Et pour le cas d'une antenne à l'émission et à la réception on l'appelle SISO.

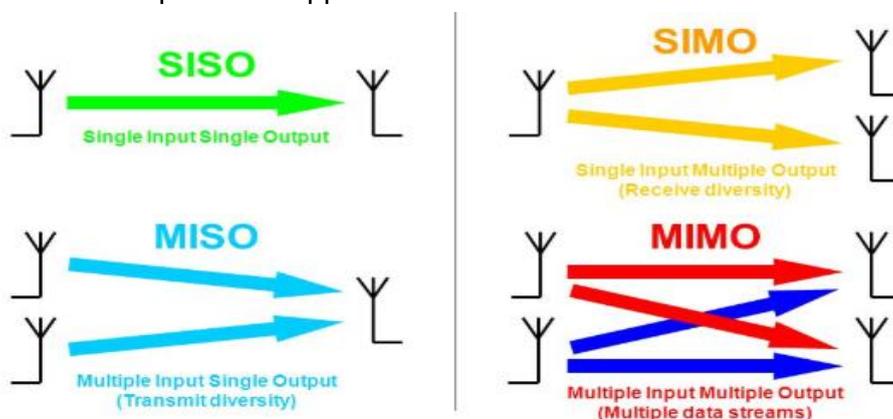


Figure 1.13 : Schémas représentatifs des systèmes SISO, MISO, SIMO et MIMO [11].

Une structure comme celle du système MIMO permet d'apporter la diversité, qu'elle soit spatiale, fréquentielle, ou temporelle. Les améliorations de performance qui résulte de l'utilisation des systèmes multi-antennes sont principalement les suivantes :

(i) Le gain de diversité

Les multiples chemins entre les antennes d'émissions et de réceptions permettent d'obtenir des copies du même signal au récepteur, si ces copies sont indépendantes, une forte atténuation du signal sur l'un des chemins peut être compensée par une bonne réception sur un autre, c'est la notion de diversité. Le gain de diversité permet donc de lutter contre les effets des évanouissements rapides et d'améliorer ainsi la robustesse du signal [12].

(ii) Le gain de réseau d'antennes

Les antennes en réseau permettent en transmission de concentrer l'énergie dans une ou plusieurs directions. En réception, les antennes multiples captent plus d'énergie et assurent un SNR moyen plus élevé [12].

(iii) Le gain de multiplexage

Sans nécessiter de puissance supplémentaire ou de bande passante de transmission. Ce gain, appelé gain de multiplexage spatial, est réalisé en transmettant des flux de données indépendants à partir d'antennes d'émission individuelles. Dans de bonnes conditions de canal et des valeurs SINR suffisamment élevées, le récepteur peut détecter différents flux de données, ce qui donne une augmentation linéaire de la capacité [13].

c OFDMA

L'OFDM est un principe de multiplexage qui consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Pour que les fréquences des sous-porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettent le maximum d'information sur une portion de fréquences donnée, l'OFDM utilise des sous-porteuses orthogonales entre elles. Les signaux des différentes sous-porteuses se chevauchent, mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre elles.

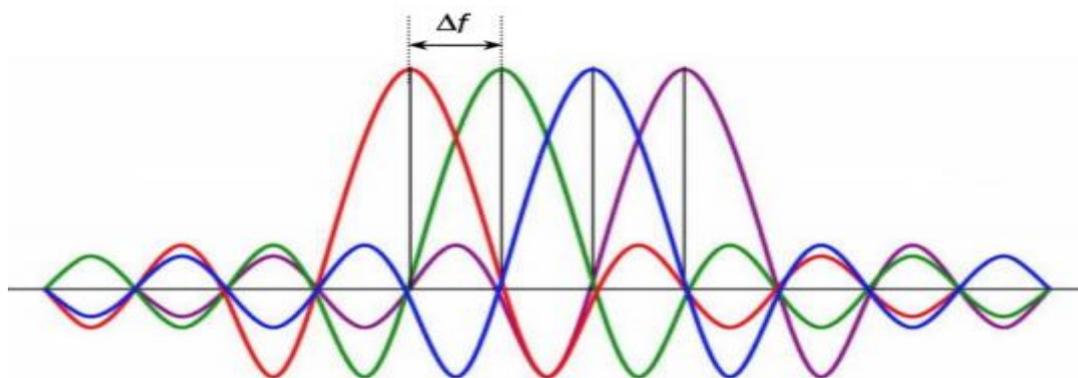


Figure 1.14 : principe de l'OFDMA [14].

c.1 L'OFDMA et SC-FDMA

Utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4e génération LTE :

(i) L'OFDMA

Est une technique de multiplexage, ce codage radio associe les multiplexages en fréquence et temps. C'est la combinaison de TDMA et FDMA essentiellement. Utilisé pour les liaisons radio descendantes des réseaux LTE pour lesquelles il y a une moindre contrainte énergétique, car permettant pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé.

(ii) **SC-FDMA**

Est une technologie de codage radio numérique qui a été adoptée pour les liaisons montantes (dans le sens terminal vers station de base) de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio eUTRAN des réseaux mobiles LTE, car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et contribue donc, à l'augmentation de l'autonomie de sa batterie [14].

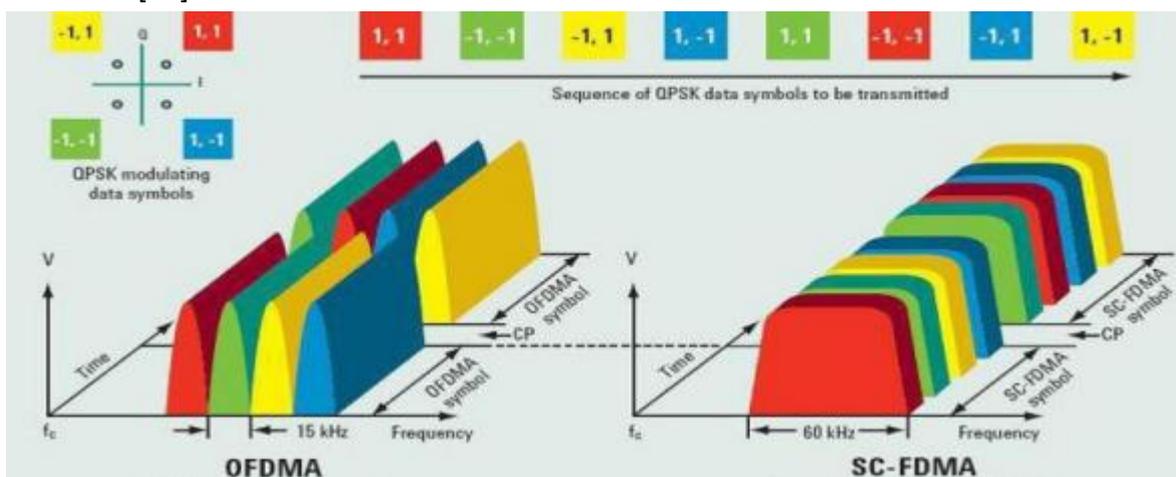
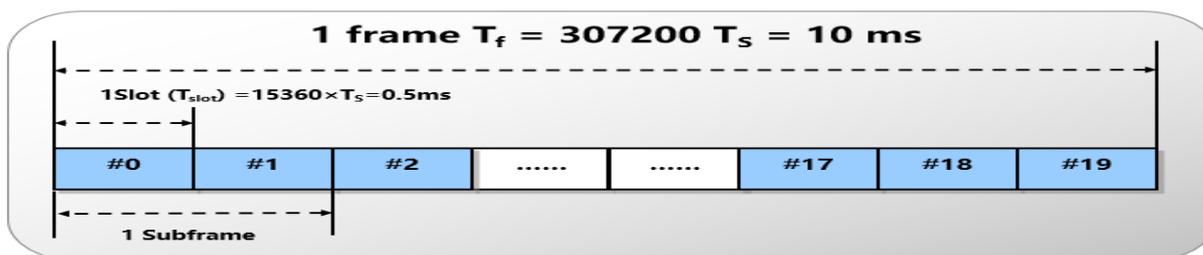


Figure 1.15 : La différence OFDMA et SC-FDMA [14].

d Structure de la trame

Il existe deux types de trames définies pour LTE. Le Type 1 de trame pour FDD est le même pour les liaisons montantes et descendantes. Les composantes et les durées sont illustrées dans la figure suivant :



1 frame = 10 sub-frames = 10ms
 1 sub-frame = 2 slots = 1ms
 $T_s = 1/(15000 \times 2048)s$, basic time unit

Figure 1.16 : Structure de la trame FDD [10].

Le type 2 de trame TDD partage la même structure de trame et la durée de l'emplacement, mais il contient certains champs spécifiques.

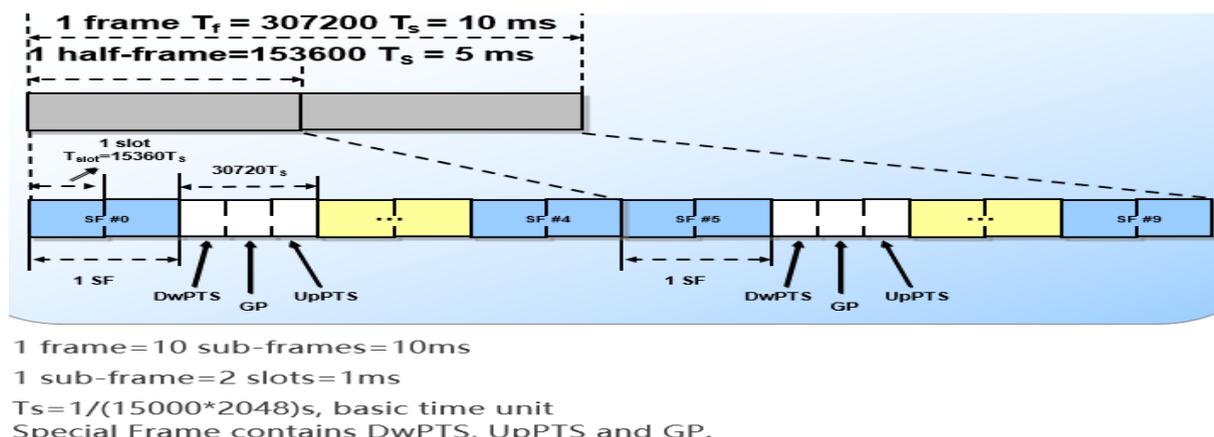


Figure 1.17 : Structure de la trame TDD [10].

e Concept de bloc de ressources

Un bloc de ressources physiques PRB (Physical Resource Block) est la ressource physique utilisée pour la transmission. L'allocation de capacité dans LTE est basée sur les blocs de ressources physiques. Un PRB est composé de 12 sous-porteuses dans le domaine de la fréquence par 1 intervalle de période (0,5 ms) dans le domaine temporel. Comme chaque sous-porteuse occupe 15 kHz, un PRB occupe 180 kHz (12 x 15 kHz) dans le domaine fréquentiel. Un concept différent est le bloc de ressources RB de planification composée de deux blocs de ressources physiques (1 ms de durée) puisque la planification est effectuée pendant 1 ms (durée TTI) Un élément de ressource RE (Resource Element) est l'unité théorique d'allocation de capacité minimale. Il est formé par 1 sous-porteuse par symbole 1. En termes de transfert de données, un élément de ressource est l'équivalent d'un symbole de modulation sur une sous-porteuse, alors c'est la modulation QPSK est utilisé, un élément de ressource égal à 2 bits, pour 16QAM 4 bits et pour 64QAM 6 bits [3].

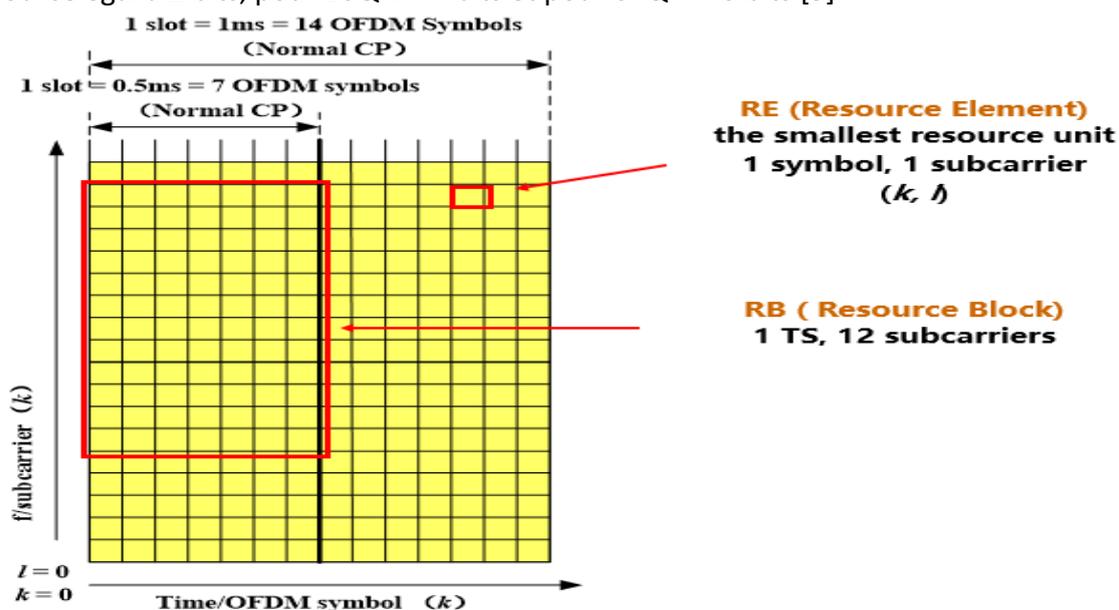


Figure 1.18 : Bloc de ressource [10].

Le nombre total de PRB dépend de la largeur de bande et comme LTE utilise différentes bandes passantes, le tableau ci-dessus résume ces données, qui seront utiles plus tard dans ce rapport.

Bande passante (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Nombre d'RB	6	15	20	50	75	100
Bande passante valide (MHz)	1,08	2,7	4,5	9	13,5	18

Tableau 1.3 : Nombre d'RB par bande passante [10].

f Les canaux radio

En ce qui concerne la plupart des systèmes de communication radio, l'interface radio d'e-UTRAN fait face à de nombreux défis. En termes d'exigences, l'e-UTRAN doit pouvoir transmettre les informations à haut débit et à faible latence de la manière la plus efficace. Cependant, tous les flux d'information ne nécessitent pas la même protection contre les erreurs de transmission ou la gestion de la qualité de service. En général, il est essentiel, en particulier dans le cas de la mobilité radio, que les messages de signalisation e-UTRAN soient transmis le plus rapidement possible, en utilisant le meilleur système de protection contre les erreurs. D'autre part, les applications de transmission de données vocales ou de données peuvent accepter une perte de trame raisonnable due à la transmission radio. Les applications interactives de connexion (telles que la navigation Web) sont également différentes. Pour être flexibles et permettre différents schémas de transmission de données, les spécifications E-UTRAN présentent plusieurs types de canaux [15] :

- Les canaux Physiques.
- Les canaux de Transport.
- Les canaux Logiques.

f.1 les 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.

Les canaux logiques de contrôles dans l'E-UTRAN sont :

Canal logique	Type	Description	Voie
BCCH	Contrôle	Diffusion des informations système	DL
PCCH	Contrôle	Diffusion des messages de paging	DL
CCCH	Contrôle	Signalisation pour mobile non connecté aux réseaux	DL/UL
MCCH	Contrôle	Signalisation MBSFN	DL
DCCH	Contrôle	Signalisation dédiée	DL/UL
DTCH	Trafic	Transmission de données du plan utilisateur	DL/UL
MTCH	Trafic	Transmission de services en multifonctions	DL

Tableau 1.4 : Les canaux logiques.

f.2 Les canaux de transport

Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristiques sont transférées sur l'interface radio. Par exemple, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de codage canal, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio, etc. Cet ensemble d'information est connu sous le nom de 'Transport Format' [15].

Les canaux de transport sont décrits et classes par voie :

Canal de transport	description	voie
BCH	Transporter les parties des informations système essentielles pour l'UE associées au BCCH	DL
PCH	Transporter l'information de paging vers UEs	DL
DL-SCH	Transporter le contrôle d'utilisateur ou le trafic de données	DL
MCH	Transmettre les informations MCCH afin d'établir les transmissions multidiffusion.	DL
UL-SCH	L'équivalent du DL-SCH en Up Link	UL
RACH	Canal de transport de l'accès aléatoire	UL

Tableau 1.5 : Les canaux de transport.

f.3 Les canaux physiques

Ces canaux sont utilisés par la couche physique, sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission, comme leur placement dans la trame. Dans une configuration donnée de l'interface radio (déterminée par le protocole RRC), un canal logique ne peut être porté que par un seul canal de transport, mais ce dernier peut transporter plusieurs canaux logiques. La même règle s'applique pour les canaux de transport et les canaux physiques. Enfin, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ni canal logique, car ils portent uniquement des informations relatives à la couche physique. Un canal physique correspond à un ensemble d'éléments de ressource temps-fréquence dans la sous-trame, il est associé à des caractéristiques physiques particulières, comme une séquence d'embrouillage, des schémas de codage et modulation, des schémas MIMO (uniquement en voie descendante). Le tableau suivant présente de manière synthétique les différents canaux physiques, pour la voie montante et la voie descendante :

Canal physique	Description	voie
PDSCH	Canal physique partage de données	DL
PMCH	Canal physique en diffusion et multidiffusions	DL
PBCH	Canal physique pour la voie balise	DL
PCFICH	Canal physique informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH	DL
PDCCH	Canal physique de contrôle	DL
PHICH	Canal physique des réponses HARQ	DL
RS	Signaux de référence (pilotes)	DL
SS	Signal de synchronisation	DL
PUCCH	Canal physique de contrôle	UL
PUSCH	Canal physique partage de données et de contrôle	UL

PRACH	Canal physique pour l'accès aléatoire	UL
DMRS	Signaux de référence (pilotes)	UL
SRS	Signaux de référence de sonde	UL

Tableau 1.6 : Les canaux physiques.

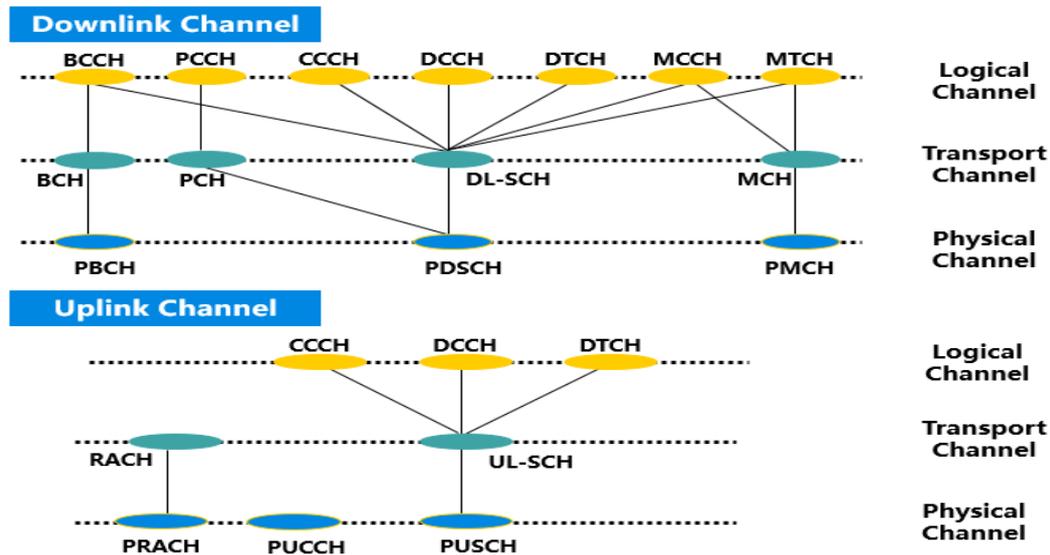


Figure 1.19 : le mappage entre les canaux logiques, de transports et physiques [10].

g Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatifs (AMC : Adaptive Modulation and Coding) sont une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Pour les transmissions DL en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Indication) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Scheme), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil. Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'informations. Pour sa part, la modulation 16 QAM combine deux niveaux d'amplitudes avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'informations. Chacune de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

- Modulations Down Link : QPSK, 16QAM et 64QAM.
- Modulations Up Link : QPSK et 16QAM.

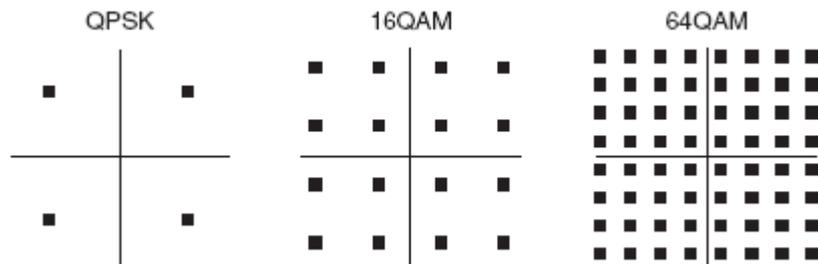


Figure 1.20 : Constellation des modulations QPSK, 16QAM et 64QAM [16].

La figure suivante représente la méthode d'application de la modulation et le codage adaptatifs AMC :

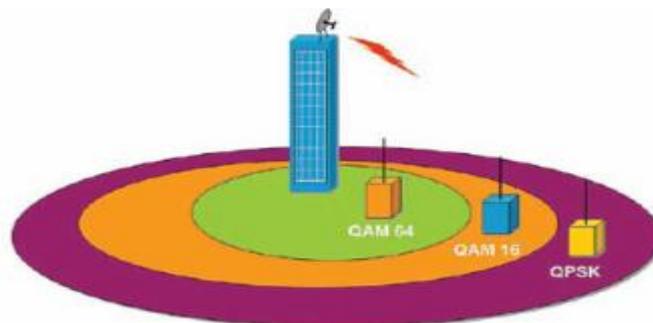


Figure 1.21 : Méthode d'application de l'AMC [16].

h Le HANDOVER dans le LTE

Le Handover ou transfert intercellulaire est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires qui peut être complétées par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours. Il désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un smartphone change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données. Le processus de Handover permet à un terminal mobile de maintenir la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet, lorsque le signal de transmission entre un téléphone et une station de base s'affaiblit, le logiciel du téléphone mobile cherche une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui soit capable d'assurer à nouveau la continuité de la communication sans interruption. Le Handover peut également avoir lieu entre des canaux ou cellules radio gérées par une seule BTS, un NodeB, ou un eNodeB. Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée, les eNodeBs prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeBs via une interface appelée X2. Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message complet de Handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB. Après la réception du message, les Gateway effectuent le chemin de commutation. Les principales étapes du Handover sont [3] :

1. Le Handover est déclenché par l'UE qui envoie un rapport de mesure à l'eNodeB source qui va décider en se fondant sur le rapport reçu et sur les informations concernant la gestion des ressources radio (RRM : Radio Resource Management).
2. La phase de préparation du Handover commence par l'envoi d'une requête de Handover (HO Request) de la part de l'eNodeB source vers l'eNodeB cible. Ce message contient toutes les informations pertinentes sur le Handover.
3. L'eNodeB cible enregistre le contexte, prépare les couches 1 et 2 (L1/L2) pour le Handover et répond à l'eNodeB source par un acquittement (HO Request ACK) qui fournira les informations sur l'établissement de nouveau lien radio.
4. L'eNodeB source transférera toutes les informations nécessaires à l'UE, et à ce moment-là, l'eNodeB source arrête d'envoyer et de recevoir des données avec l'UE. Il fera alors suivre les données à l'eNodeB cible.
5. L'UE informe l'eNodeB cible du succès du Handover avec un message de confirmation. Jusqu'à cet instant l'eNodeB cible mémorise les données reçues de l'eNodeB source. Après avoir reçu le message de confirmation, il commence à envoyer les données bufférisées à l'UE.
6. La eNodeB cible initie le changement de chemin de données en envoyant un « Handover Complete » aux passerelles. Les informations de localisation de l'UE seront ensuite mises à jour au niveau des passerelles qui vont effectuer le changement de chemin pour que les données soient envoyées directement vers l'eNodeB cible.
7. Le MME et S-GW confirment le chemin par un message (Handover Complete ACK), et dès que l'eNodeB cible reçoit ce message, il envoie une indication (release source) au eNodeB source pour qu'il libère définitivement la connexion avec l'UE.

La figure suivante représente c'est étapes :

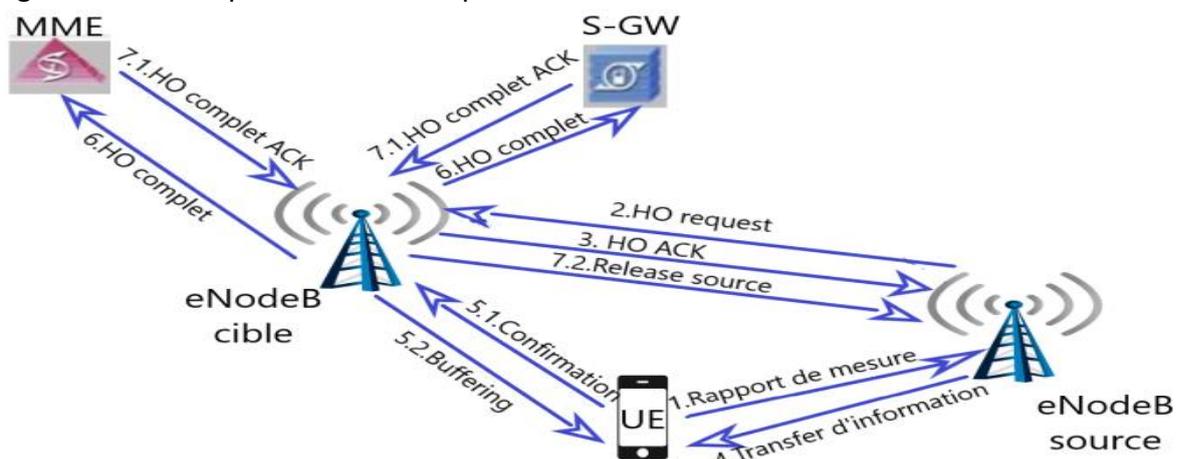


Figure 1.22 : Le Handover dans LTE.

i Les caractéristiques fondamentaux du LTE

i.1 Débits et fréquences du réseau LTE

Le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible. L'établissement des standards de performances communément admis pour les

réseaux 4G : 100 Mbit/s sur le lien radio descendant (antenne relais vers mobile), et 50 Mbit/s maximum sur le lien montant.

La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux États-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais). Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants [3]:

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- deux antennes en réception et une antenne en émission [3].

i.2 La latence

La latence du système se traduit concrètement par sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se décline en latence du plan de contrôle et latence du plan usager.

(i) Latence du plan de contrôle

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager [19].

(ii) Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille [19].

i.3 La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE qui se déplacent à différentes vitesses.

- E-UTRAN doit être optimisé pour une faible vitesse mobile à partir de 0 à 15 km/h.
- Un débit mobile supérieur entre 15 et 120 km/h devrait être soutenu avec la haute performance.
- La mobilité à travers le réseau cellulaire doit être maintenue à des vitesses allant de 120 à 350 km/h (ou même jusqu'à 500 km/h en fonction de la bande de fréquence) [3].

j Qualité de service (QoS)

QoS (qualité de service) ou QoS (Quality of service), sont la capacité de transmission dans de bonnes conditions, un certain nombre de paquets dans une connexion entre un émetteur et un récepteur. La qualité de service est essentielle pour l'opérateur afin de garantir une expérience satisfaisante à l'utilisateur en assurant des débits suffisants et constants sur tous

les types de réseaux. La technologie LTE offre des mécanismes dits de qualité de service différenciée afin de faciliter la prise en compte des contraintes des services différents [10].

Les services mobiles peuvent être distingués selon deux critères principaux, souvent intimement liés.

- Le service est-il en temps réel ?
- Le service tolère-t-il des erreurs de transmission ?

Ces caractéristiques de service impliquent une prise en charge différenciée de la part du réseau. On comprend aisément que le traitement d'un appel voix n'imposera pas les mêmes contraintes que le téléchargement d'un fichier. D'une manière générale, les services temps réel (un appel voix ou un appel de streaming vidéo) requièrent des délais de transmission courts, mais peuvent tolérer des erreurs de transmission. En revanche, les services non-temps réel (un téléchargement de courrier électronique ou de fichier) revêtent des contraintes de délais relâchées, mais ne tolèrent pas d'erreurs de transmission. Le LTE a ainsi été conçu pour distinguer les services nécessitant un débit garanti ou GBR (Guaranteed Bit Rate), des services ne requérant pas de débit garanti (non-GBR) [19].

Selon les types d'un service envisagé, la qualité pourra résider :

(i) Le débit

Il définit le volume maximal en bits pour la transmission de l'information par unité de temps (s) dans une communication entre un émetteur et un récepteur.

(ii) La latence

C'est le délai de traversée du réseau, d'un bout à l'autre, par un paquet. Les différentes applications présentes dans un réseau n'auront pas le même degré d'exigence en fonction de leur nature :

- Faible : s'il s'agit d'une messagerie électronique ou de fichiers.
- Fort : s'il s'agit de données "voix".

(iii) La perte de paquets

Elle correspond aux octets perdus lors de la transmission des paquets ; exprimée en taux de perte.

(iv) La gigue

Désigne les variations de latence des paquets. La présence de gigue dans les flux peut provenir des changements d'intensités de trafic sur les liens de sorties des commutateurs. Plus globalement, elle dépend du volume de trafic et du nombre d'équipements sur le réseau.

(v) La bande passante

Il existe deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction du type de besoin exprimé par l'application :

- Le mode Burst : est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (par exemple lors d'un transfert de fichier).
- Le mode Stream : est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.

Le développement du réseau Internet et le nombre d'utilisateurs peuvent se connecter à ce réseau en imposant le recours à des niveaux importants de QoS, ce qui il a fait migrer le problème vers des réseaux sans fil.

(vi) Le bearer EPS

Le bearer EPS est un tuyau (tunnel) construit entre l'UE et le P-GW caractérisés par des paramètres de QoS, car les applications n'ont pas les mêmes besoins : Certaines applications comme le streaming, la vision et la phonie nécessitent un débit garanti (GBR) alors que le browsing et le téléchargement se suffisent de Best Effort (Débit Non Garanti). Il existe deux types de bearers EPS [19]:

- Le Default bearer : le premier bearer établi lorsque le terminal se connecte à un PDN, il reste actif durant toute la connexion et lors de la procédure d'enregistrement.
- Les Dedicated bearer : tous les bearers additionnels établis avec le même PDN.

Pour différencier les bearer, les flux sont identifiés par deux critères :

- QCI : QoS Class Identifier que l'on traduit par Identifiant de Qualité de Service.
- ARP : Allocation and Retention Priority est la priorité d'allocation et de rétention.

k Les Performance des réseaux 4G

k.1 Une mobilité à toute épreuve

L'un des challenges des réseaux mobiles est d'être disponible partout et tout le temps, pour cela les réseaux 4G ont été prévus pour fonctionner aussi bien dans les zones rurales que dans les zones urbaines. Une cellule 4G peut couvrir 3km de diamètre dans les zones fortement peuplées et s'étendre jusqu'à 100 km dans les zones les plus reculées.

k.2 Des temps de réponse rapides

L'utilisation d'une communication à des débits toujours plus élevés ne peut pas être plus optimale si le transfert de données se fait dans un délai trop long. La 4G propose pour cela une latence moyenne de 20ms et peut descendre en dessous de 5ms.

k.3 La voix sur IP

La 4G propose un service de voix sur IP. En effet ce standard s'appuie sur un réseau de transport de paquet IP, il n'est pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP.

k.4 Débit sur l'interface radio

Le débit de la 4G est de 100 Mbit/s en DL et 50 Mbit/s en UL, en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz. Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.

k.5 Connexion permanente

Principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet ; même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de

passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou recevoir du trafic. Ce changement d'état s'opère en moins de 1 s.

k.6 Délai pour la transmission de données

Moins de 5 ms entre l'UE et l'Access Gateway, ceci dans une situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio. La valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio, ceci permet de supporter les services temps réel IP nativement, comme la voix sur IP et le streaming sur IP.

k.7 Flexibilité dans l'usage de la bande

Le Handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps réel et 500 ms pour les services non temps-réel. L'opérateur doit assurer que le Handover entre LTE et la 2G/3G soit toujours possible.

1.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques de réseau cellulaire, ainsi que l'évolution des réseaux cellulaires ; en se basant sur les architectures de la 3G et la 4G, ainsi que les différentes entités qui les composent, ainsi que leur fonctionnement et leurs caractéristiques ; ces connaissances vont nous permettre de bien entamer le deuxième chapitre intitulé dimensionnement et planification du réseau LTE.

Chapitre 2 Dimensionnement et planification d'un réseau LTE

2.1 Introduction

Le dimensionnement est la phase initiale de la planification du réseau. Il fournit la première estimation du nombre d'éléments de réseau ainsi que la capacité de ces éléments. Le but de ce chapitre est d'estimer le nombre requis d'eNodeBs nécessaires pour supporter les utilisateurs ayant une certaine charge de trafic avec le niveau de qualité souhaité (QOS) et couvrir la zone d'intérêt. Cette estimation répond aux exigences de couverture et vérifie les exigences de 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. Il fournit une première estimation du nombre d'éléments nécessaires au réseau ainsi que leurs capacités. L'outil de dimensionnement doit pouvoir fournir des résultats avec un excellent niveau de précision, lorsqu'il est paramétré avec toutes les données nécessaires. Le processus de dimensionnement est directement lié à la qualité et l'efficacité du réseau qui en cas de mal conception peut affecter profondément son développement. Le dimensionnement des eNodeB est donc la partie la plus délicate : La première partie tient compte des exigences de la couverture et la deuxième tient compte des exigences de la capacité pour aboutir au rayon de chaque cellule et le nombre de sites nécessaires pour suffire aux exigences de qualités [20]. Il y a plusieurs critères pour trouver la meilleure architecture cellulaire, voici quelques-uns :

- Qualité de couverture : garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir.
- Absorption de la charge : le réseau doit être capable de supporter ou desservir le trafic associé à chaque cellule.
- Mobilité : Faciliter le Handover lors des changements de cellules. Chaque station de base doit connaître ses voisines pour permettre à un utilisateur de se déplacer sans perte de communication.
- Évolutivité : un réseau cellulaire est en perpétuelle évolution, intégrant de nouvelles stations de bases, ou simplement de nouveaux TRX associés à chaque station de base.

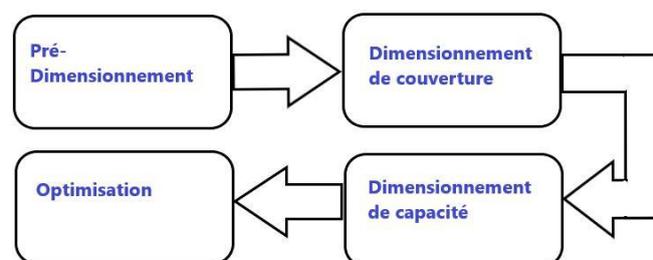


Figure 2.1 : Processus de dimensionnement.

2.2.1 Pré-dimensionnement

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

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

2.2.2 Dimensionnement de couverture

L'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE est fondamentalement l'analyse de la couverture. Elle est basée sur le bilan de liaisons, qui permet d'estimer le taux de perte du trajet. Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total des sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité [21].

α Les étapes de dimensionnement de couverture

Les étapes de dimensionnement de couverture sont :

- Exigence de qualité : L'exigence de qualité de couverture est de pouvoir fournir le débit binaire requis avec une certaine probabilité par exemple, 128 kb/s doivent être atteints avec une probabilité de 95%.
- Dimensionnement de liaison montante : Nous cherchons à cette étape le rayon de la cellule à partir du débit binaire à la bordure de la cellule.
- Dimensionnement de liaison descendante : Son calcul est basé sur la distance site à site obtenu par le procédé de dimensionnement de liaison montante. Si les conditions ne sont pas remplies en liaison descendante, la distance de site à site doit absolument être réduite jusqu'à ce que les exigences soient remplies autrement le planificateur peut passer à la planification [22].
- Couverture de canaux de contrôle : La valeur de la distance intersites permet de vérifier la performance du canal de contrôle à la bordure de la cellule.

La figure suivante :

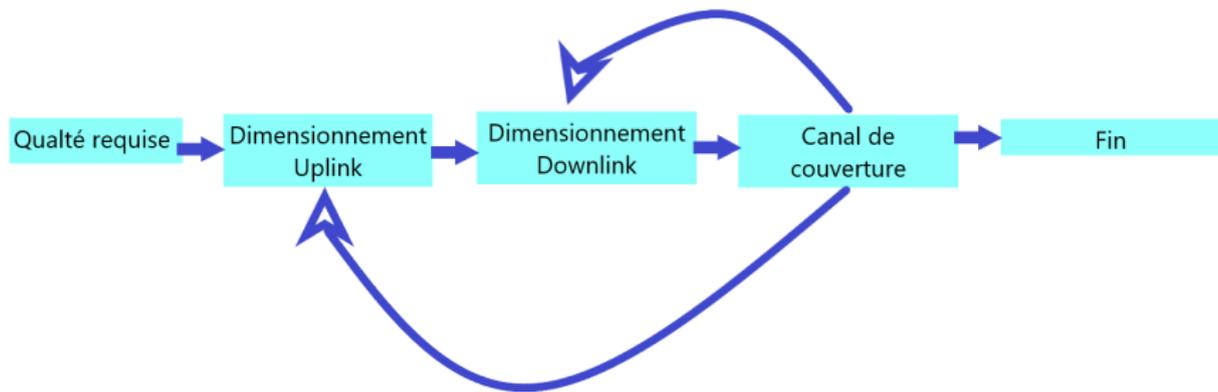


Figure 2.2 : Processus de dimensionnement de couverture pour le DL et UL.

b Le calcul à faire

La première étape à faire c'est de déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable Path Loss MAPL) en passant par le bilan de liaison radio (RLB), car les exigences de performances dans les conditions de propagation nous poussent à déterminer la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur [22].

Nous allons suivre le calcul suivant, comme indique la figure :



Figure 2.3 : calcul du dimensionnement de couverture.

c Le bilan de liaison (Radio Link Budget)

Le bilan de liaison radio donne la perte de trajet maximale autorisée, et à partir de laquelle la taille des cellules est calculée suivant le modèle de propagation choisi.

- Le bilan de liaison permet de prédire le rayon de couverture de la cellule en se basant sur la fréquence de fonctionnement et les paramètres de l'émetteur (Tx) et du récepteur
- Le bilan de liaison pris en compte : Puissances d'émission, les gains, les pertes d'antenne, les gains de diversité les marges d'interférence. Pour LTE, l'équation RLB de base est comme suit (en dB) [25] :

$$L_p = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} - S_{eNB} + G_{Rx} - L_{Rx} - B_{iUL} \dots \dots \dots (2.1)$$

Avec :

- L_p = Perte de trajet totale rencontrée par le signal envoyé de l'émetteur au récepteur (dB)
- P_{Tx} = La puissance transmise par l'antenne d'émission (43-49dBm)
- G_{Tx} = Gain de l'antenne d'émission (dBi)
- L_{Tx} = Les pertes de l'émetteur (dB)
- G_{Rx} = Gain de l'antenne de réception (dB)
- L_{Rx} = Les pertes de réception (dB)
- B_{iUL} = Bruit de réception (dB)
- S_{eNB} = Sensibilité du l'eNodeB (dBm)

d Modèle de propagation

Le modèle de propagation permet d'estimer la valeur de l'atténuation de trajet. On distingue plusieurs types de modèles : pour notre étude, nous allons choisir le modèle de propagation empirique dépendant de plusieurs facteurs comme :

- La fréquence de l'onde
- TX hauteur de l'antenne (les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception)
- RX hauteur de l'antenne et d'autres.
- La distance parcourue.
- Type de terrain.
- Clutter (caractéristiques des bâtiments, etc.).

Les modèles de propagations permettent de déterminer le comportement le plus probable de la liaison radio. Ils sont utilisés pour déterminer le rayon de la cellule à partir de la perte de trajet maximale autorisée ; les modèles empiriques les plus importants sont [25]:

d.1 Le modèle Okumura-Hata

C'est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural) [25].

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

- Fréquence (f) : 150 à 1000MHz.
- Hauteur de la station de base (Hb) : 10 à 200 m (dépend toujours de la zone : clutter).

- Hauteur du terminal mobile (H_m) :1 à 10m.
- Distance (d) :1 à 20km.

d.2 Le modèle COST 231-Hata

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumura-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2200MHz [25]. L'affaiblissement selon ce modèle est donné par les équations suivantes :

(i) Zone urbaine

$$L_u(db) = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(H_b) - a(H_m) + [44,9 - 6,55 \log(H_b)] \log(d) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$a(H_m) = [1,1 \log(f) - 0,7] \times H_m - [1,56 \log(f) - 0,8] \dots \dots \dots (2.3)$$

(ii) Zone urbain dense

Pour $f \leq 2000$ MHZ :

$$a(h_m) = 8,29 \times [\log(1,54 \times H_m)]^2 - 11 \dots \dots \dots (2.4)$$

Pour $f \geq 2000$ MHZ :

$$a(h_m) = 3,2 \times [\log(11,75 \times H_m)]^2 - 4,97 \dots \dots \dots (2.5)$$

(iii) Zone sous urbaine

$$L_{su}(db) = l_u - 2 \times [\log(\frac{f}{28})]^2 - 5,4 \dots \dots \dots (2.6)$$

(iv) Zone rural

Quasi-ouverte :

$$l_{qo}(db) = L_u - 4,78 \times [\log(f)]^2 + 18,33 \log(f) - 35,94 \dots \dots \dots (2.7)$$

Ouverte :

$$l_{ro}(db) = L_u - 4,78 \times [\log(f)]^2 + 18,33 \log(f) - 40,94 \dots \dots \dots (2.8)$$

2.2.3 calcul de la couverture en Up Link

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

Voici les étapes effectuées pour calculer la couverture en UL :

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

a Débit requis

On commence par définir l'exigence de qualité qui est exprimée comme un débit binaire déterminé qui peut être fourni à un utilisateur sur les bordures de la cellule.

Le débit binaire requis dépend du service pour lequel le système est dimensionné. Tous les calculs sont effectués par bloc de ressources.

Le débit binaire requis R_{req} est divisé par le nombre de blocs de ressources nRB pour obtenir le débit binaire par nombre de blocs [25]

$$R_{req, RB} = \frac{R_{req}}{nRB} \dots \dots \dots (2.9)$$

Le nombre nRB peut être choisi librement, mais dans les limites de la bande passante comme montre le tableau suivant :

Bande passante MHz	Nombre de ressources de block nRB
1,5	6
2	15
10	50
15	75
20	100

Tableau 2.1 : largeur de bande et les blocs de ressources spécifiées LTE.

b SINR requis

LTE comprend divers formats de transport différents avec différents schémas de modulation et de codage. Chaque format a un débit spécifié R . L'exigence du SINR pour décoder un format de transport particulier a été déterminée par un large ensemble de simulations. La simulation aboutit à un ensemble de tables pour différents modèles de canaux et à différents arrangements d'antennes. Comme approximation, les résultats de la simulation ont été ajustés à une expression semi-empirique paramétrée. L'expression de la relation entre R et le SINR est donnée par [23]:

$$\gamma = a_1 - a_2 \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{a_0 - a_3}{R(RB) - a_3}\right)}{\ln 2}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Pour $0 < R(RB) < a_3(bd)$

a_0, a_1, a_2 et a_3 Sont des paramètres ajustés et le SINR est exprimé en dB.

Le paramètre semi-empirique a_0 Représente le débit maximal obtenu dans un bloc de ressources. Les paramètres semi-empiriques pour la liaison montante a_0, a_1, a_2 et a_3 sont donnés dans le tableau suivant (3.1)

Modèle de canal/ Fréquence Doppler	EPA 5	EVA 70	ETU 300
a_0 [kbitps]	459,9	456,9	322,5
a_1 [dB]	20,76	23,91	20,5
a_2 [dB]	13,28	13,74	12,41
a_3 [kbitps]	0	0	0

Tableau 2.2 : Les paramètres semi-empiriques pour la liaison montante.

c Sensibilité eNodeB (récepteur)

Un récepteur est caractérisé par sa sensibilité. La sensibilité « S » est la puissance du signal que le récepteur doit recevoir pour réaliser une performance spécifique en absence des interférences intercellulaires. C'est le niveau de signal minimum pour éviter les coupures radio.

$$S_{eNB} = N_t + N_f + 10\log(W_{RB}) + \gamma = N_{RB,UL} + \gamma \text{ [dBm]} \dots \dots \dots (2.11)$$

Avec :

- NT: Densité de puissance de bruit thermique -174 dB m / Hz
- NF: Le facteur de bruit qui est le rapport du signal d'entrée sur bruit pour déterminer les performances d'amplificateur.
- WRB: Bande passante par bloc de ressources: 180 kHz.
- SINR γ : rapport signal sur interférence et bruit de l'up Link.
- NRB, UL: Bruit thermique par bloc de ressource pour les up Link.

d Les marges de bruit

On ne peut pas calculer l'affaiblissement de trajet maximum sans calculer les marges de bruit, qui correspondent à l'environnement radio, pour éviter le phénomène « *Swiss Cheese* » (surface avec trous de couverture). Plusieurs types de marges ont été reconnus, on peut citer :

d.1 Marges de pénétration

La perte de pénétration indique l'évanouissement des signaux radio d'un terminal intérieur à une station de base en raison d'une obstruction par un bâtiment.

Dans le bilan de liaison, les valeurs de perte de pénétration dépendent de l'environnement de couverture. Comme indique le tableau suivant :

Environnement	Perte de pénétration
Danse urbaine	18-15 dB
Urbaine	15-18 dB
Suburbaine	10-12 dB
Rural	6-8 dB

Tableau 2.3 : Pertes de la pénétration.

Les pertes de la pénétration sont influencées par :

- La fréquence du signal : Les pertes varient selon la fréquence du signal.
- Le type des bâtiments : suivant le matériel de construction (brique, bois, pierre, verre, etc.).
- La structure des bâtiments : la composition interne des bâtiments.
- Perte de types de signal (Body).

Le tableau suivant montre le taux de perte pour un signal vocal. C'est l'affaiblissement dû à l'absorption d'une partie de l'énergie transmise par le corps humain. (Seulement pour le service vocal) :

Type de signal	Perte en (dB)
VoIP	3
Données	0

Tableau 2.4 : Pertes selon le type de signal.

d.2 Marge de Shadowing

Le Shadowing, ou l'effet de masque, ce phénomène est dû aux obstacles qui existent dans milieu de propagation radio, tel que les bâtiments et la morphologie du terrain. Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur aléatoire Log Normale (Logarithme est une variable aléatoire Gaussienne), qui dépend de [25] :

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

La marge d'évanouissement modélise la probabilité de couverture de zone requise. En ajoutant cette marge, une probabilité est sécurisée pour la configuration et le maintien d'une connexion à une qualité donnée.

Le tableau suivant montre les marges d'évanouissement en dB pour varier l'écart type du processus d'évanouissement et les différentes probabilités de couverture :

Environnement	σ [dB]	Probabilité de couverture				
		98%	95%	90%	85%	75%
Rural, suburbaine	6	5,5	2,9	0,5	-1,2	-3,7
Urbaine	8	8,1	4,9	1,8	0,2	-3,4
Dense urbaine, suburbaine	10	10,6	6,7	3,1	0,6	-3,1
Urbain indoor	12	13,1	8,4	4,2	1,3	-3,1
Dense urbaine indoor	14	15,3	9,9	5,1	1,8	-3,2

Tableau 2.5 : Pertes de Shadowing suivant la probabilité de couverture.

d.3 Evanouissement rapide

(i) Perte de Rayleigh

C'est l'effet de multi-trajet apparait lorsque le signal émis passe par des chemins différents, et donc le récepteur reçoit le même signal à partir des chemins différents. Notant que la marge d'évanouissement rapide = 1.2 dB [25].

d.4 Marges des lignes d'alimentation (Feeder)

C'est une perte causée par les divers dispositifs qui sont situés sur le trajet de l'antenne vers récepteur, Dans le bilan de liaison nous devons calculer la perte de l'alimentateur en fonction du type d'alimentation, de la longueur et du type de connecteur et les jumpers.

La perte d'alimentation indique la perte de signal causée par divers dispositifs situés sur le chemin de l'antenne vers le récepteur. Tout périphérique utilisant une antenne externe pour la fourniture de services soit au niveau de cote de la station de base, soit de cote de la borne doit tenir compte de la perte de l'alimentation.

La perte de l'alimentation peut être ignorée de cote du terminal, mais pas de cote de la station de base.

La figure ci-dessous montre les connexions typiques du système d'alimentation d'antenne dans une station de base intérieure.

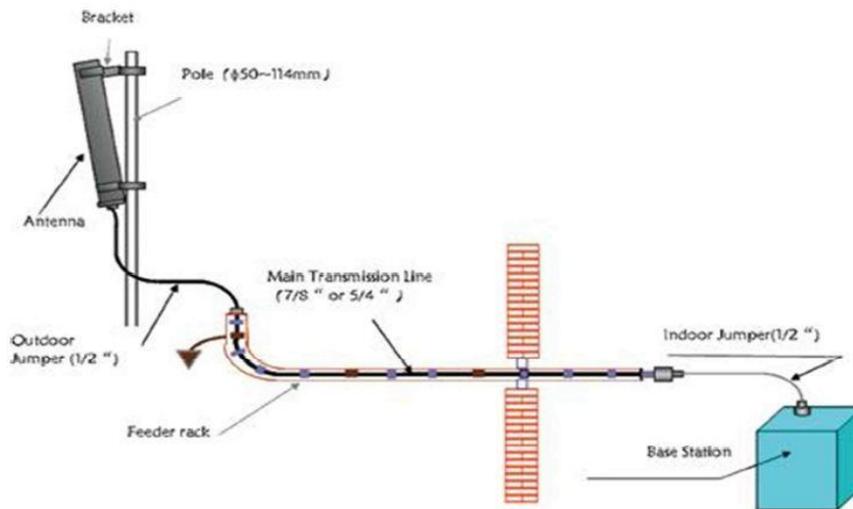


Figure 2.4 : L'alimentation d'antenne dans une station de base intérieure.

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

Length feeder = Base station height + 5m

Perte Feeder (dB) = Feeder loss/100m × Feeder length/100m

Perte de Jumper = 1/2 cm feeder × nombre de cavaliers (jumpers)

Perte de connecteurs = nombre de cavaliers (jumpers) × 2 × 0.1 dB

Le tableau suivant illustre les pertes de feeder (ligne d'alimentation) :

Type de ligne	Pertes (dB/100m)		
	2600 (MHz)	2100 (MHz)	1900 (MHz)
0,5 cm	11	10,8	9
0,875 cm	6,3	6	4,9
1,25 cm	4,6	4,5	3,2
1,625 cm	3,8	3,5	2,6

Tableau 2.6 : Pertes de ligne d'alimentation.

d.5 Marge d'interférence

En LTE, un peu comme dans la plupart des réseaux, un utilisateur est séparé d'un autre dans le domaine fréquence/temps pour éviter les interférences, mais qui peuvent quand même être possible avec d'autres cellules. Une marge d'interférence sera alors introduite dans le bilan de liaison pour compenser l'augmentation du bruit et maintenir l'équilibre [25].

$$B_{IUI} = \frac{1}{\gamma_{target}} \times Q_{ul} \times F \dots \dots \dots (2.12)$$

Avec

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

e Puissance par bloc de ressource EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)

EIRP signifie une puissance rayonnée isotrope efficace ou équivalente. Cela se réfère à l'efficacité de la puissance radiée isotrope de la station mobile (MS) au connecteur de l'antenne ou c'est la puissance rayonnée dans une zone géographique donnée. C'est la puissance d'entrée effective de l'antenne hypothétiquement isotrope qui atteint l'intensité rayonnée maximale dans n'importe quelle direction. C'est une fonction de la puissance transmise par MS et du gain de l'antenne du transmetteur MS et des pertes de corps (Head/body losses).

$$EIRP_{UE,PRB} = P_{UE,PRB} + (G_{UE} + G_{OTHER}) - L_{HBL} \dots \dots \dots (2.13)$$

L'équation (2.13) représente la puissance rayonnée isotrope efficace de l'équipement utilisateur [24].

f Bilan de liaison en uplink

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

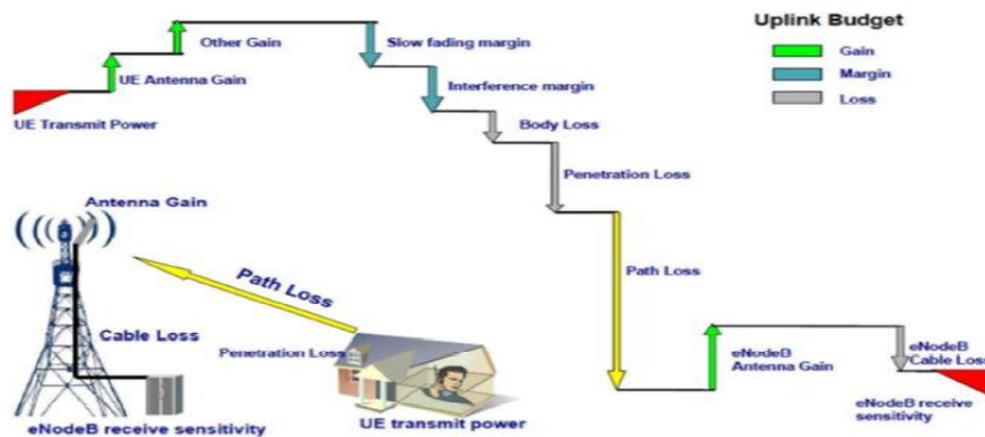


Figure 2.5 : modèle bilan de liaison en uplink.

Son équation est la suivante :

$$L_{pmax} = P_{UE,PRB} - S_{eNB} - Perte_{marge} + G_a - L_j + TMA_{gain} \dots \dots \dots (2.14)$$

Avec :

- L_{pmax} : perte maximum de trajet autorisée pour la propagation dans l'air [dB].
- Perte : perte pénétration voiture + perte de pénétration du bâtiment (L_{bp}) + perte de corps (L_b) + BLNF+BIUL.
- TMA gain = 2 dB gains ou 5 dB pour MIMO.
- Perte pénétration voiture= 6dB.
- BLNF : log-normale marge d'évanouissement [dB].
- G_a : Somme des gains de l'eNodeB, et gain d'antenne de l'équipement utilisateur [dBi].
- L_j : perte des Jumpers et connecteurs d'antenne [dB].

2.2.4 calcul de la couverture en down Link

Le bilan de liaison pour les down Link est requis :

- Pour déterminer les limites du lien.

- Pour déterminer le débit binaire supporté par les liens descendants.

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes :

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

a Pertes de trajet

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

b Débit binaire requis

On doit diviser R_{req} par n_{RB} pour obtenir le débit binaire requis.

c Puissance par bloc de ressource

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

$$P_{tx,RB} = \frac{P}{n_{RB}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Avec : P étant la somme des puissances de toutes les unités radio dans la cellule.

d Augmentation du bruit à la bordure de la cellule

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

$$B_{IDL} = 1 + \frac{P_{tx,RB} \times Q_{DL} \times F_c}{N_{RB,DL} \times LSA_{max}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Avec :

- Q_{DL} : facteur de charge de la liaison descendante.
- F_c : Le ratio moyen entre les puissances reçues d'autres cellules.
- $N_{RB,DL}$: bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante, défini par : $N_t + N_f + 10 \log (WRB)$ avec $N_f = 7dB$.

LSa, max : L'atténuation du signal en liaison descendante est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale. Son expression est la suivante [26] :

$$LSA_{max} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_{BL} + L_{CL} - L_{BPL} - G_a + L_J [dB] \dots \dots (2.17)$$

e Equation de bilan de liaison down Link

Le bilan de liaison descendante $L_{Pmax, DL}$ est calculé par l'équation suivante :

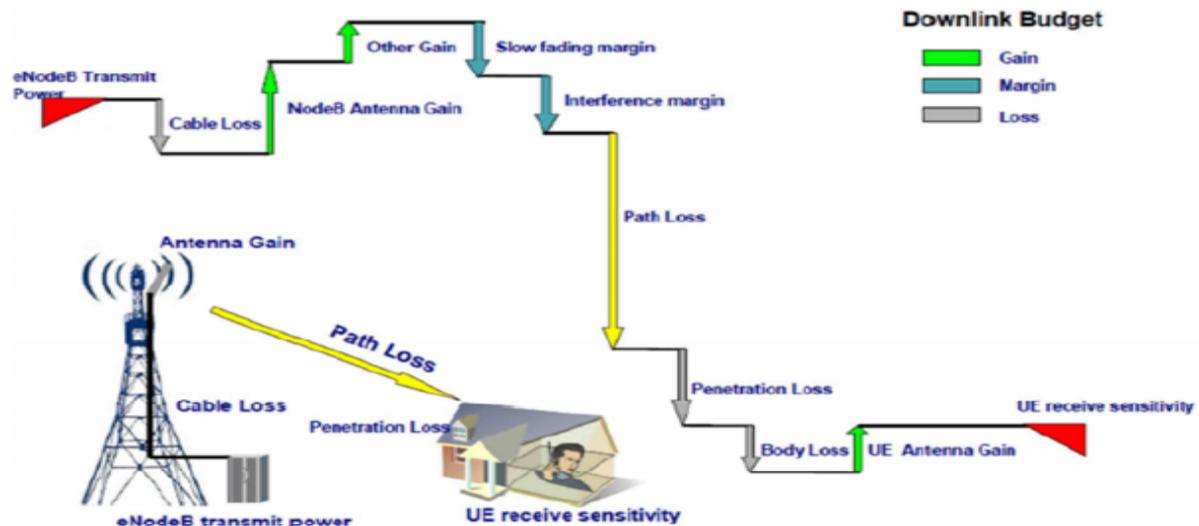


Figure 2.6 : modèle bilan de liaison descendante.

L_{pmax} se calcule de cette manière [26]:

$$L_{pmax} = P_{tx, RB} - S_{UE} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CL} - L_{BPL} + G_a - L_j [dB] \dots (2.18)$$

Avec :

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

f Sensibilité du récepteur de l'équipement utilisateur :

La seule variable inconnue dans l'équation (2.18) est la sensibilité de l'équipement utilisateur, elle est écrite comme suit [26] :

$$S_{UE} = N_t + N_f + 10 \log W_{RB} + \gamma = N_{RB, DL} + \gamma [dB] \dots \dots (2.19)$$

g SINR a la bordure de la cellule

L'estimation de SINR en (dB) sur le bord d'une cellule est la suivante [26] :

$$\gamma = P_{tx, RB} - L_{pmax} - N_{RB, DL} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CL} - L_{BPL} + G_a + L_j \dots (2.20)$$

h Limite du bilan de liaison

Voici l'équation de l'atténuation du système [26] :

$$LSA_{max} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_{BL} + L_{CL} - L_{BPL} - G_a + L_j [dB] \dots \dots (2.21)$$

Nous utiliserons LSA_{max} pour déterminer B_{IDL} . Lorsque la qualité d'uplink dépasse l'exigence on parle alors d'un système down Link limité. Le Bidl est calculé selon l'expression suivante :

$$B_{IDL} = 1 + \frac{P_{tx, RB} \times Q_{DL} \times F_c}{N_{RB, DL} \times LSA_{max}} \dots \dots (2.22)$$

Avec : H étant le facteur d'affaiblissement de propagation utilisé dans le dimensionnement de couverture et de capacité dont la valeur recommandée est 0.36.

i Les modes de transmission

Les modes de transmission disponibles sont les suivants :

- Single Input Multiple Output (SIMO), en utilisant une antenne TX dans la station de base et deux antennes RX à l'équipement utilisateur.
- TX diversité, en utilisant deux antennes TX et deux antennes RX dans la station de base.
- Open Loop Spatial Multiplexing (OLSM), en utilisant deux antennes TX et deux antennes RX à la station de base.

i.1 Cas de liaison descendante

Les techniques d'antenne :

- SIMO 1x2, 2x2 TX diversité, OLSM : 2x2.
- Schémas de modulation : QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
- Modèles de canaux : EPA5, EVA70, ETU 300.

i.2 Cas de liaison montante

Les techniques d'antenne :

- Branch RX diversity.
- Schémas de modulation : QPSK, 16-QAM.
- Modèles de canaux : EPA5, EVA70, ETU 300.

Le débit par RB se détermine comme suit [26] :

$$R_{RB} = \max \left[0, a_3 + (a_0 - a_3) \times e^{-\ln(2) \left[\frac{\gamma - a_1}{a_2} \right]^2} \right], \gamma < a_1 \dots \dots \dots (2.23)$$

Avec : $R_{RB} = a_0; \gamma \geq a_1$

a_0, a_1, a_2 et a_3 sont les paramètres empiriques

Le SINR γ est exprimée en dB [26] :

$$\gamma = a_1 - a_2 \sqrt{\frac{\ln \left(\frac{a_0 - a_3}{R_{RB} - a_3} \right)}{\ln 2}}, 0 \leq R_{RB} \leq a_0 \dots \dots \dots (2.24)$$

Les paramètres semi empiriques en down Link sont obtenus à partir du tableau suivant :

Type d'antenne	SIMO 1X2			Tx Div 2X2			OLSM 2X2		
	Epa5	Eva70	Etu300	Epa5	Eva70	Etu300	Epa5	Eva70	Etu300
A0 [Kbps]	808,2	808,4	708,8	777,6	777,2	775	1347,1	1199	989
A1 [dB]	27	29,34	27,75	25,92	27,17	27,7	34,03	34,99	31,93
A2 [dB]	16,03	15,9	15,34	16,01	15,38	15,49	18,37	18,16	16,48
A3 [Kbps]	-9,3	-3,88	-4,68	-13,8	-5,44	-6,2	-15,8	-8,46	-7,12

Tableau 2.7 : paramètres semi empiriques pour la liaison descendante.

Les paramètres semi empiriques pour l'uplink sont obtenus à partir du tableau suivant :

Mode de canal	Epa5	Eva70	Etu300
A0 [Kbps]	536,6	533,1	376,2
A1 [dB]	20,76	23,91	20,15
A2 [dB]	13,28	13,74	12,41
A3 [Kbps]	0	0	0

Tableau 2.8 : paramètres semi empiriques pour la liaison montante.

j Rayon de la cellule

La perte de trajet maximum autorisé est utilisée pour calculer le rayon de la cellule en utilisant un modèle de propagation. L'équation pour calculer la distance en kilomètres R est la suivante :

$$R = 10^\alpha \dots \dots \dots (2.25)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{L_{pmax} - A + 13,8 \times 2 \log(Hb) + ah_m}{44,9 - 6,55 \log(H_b)} \dots \dots \dots (2.26)$$

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

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

Tableau 2.9 : Atténuation fixe dans le modèle de propagation de Hata-Okumura.

k Nombre de sites :

Le nombre de sites à déployer peut-être facilement calculé à partir de la zone de la cellule et de la valeur d'entrée de la zone de déploiement Zd (zone de déploiement). Deux types différents de sites (omnidirectionnel, tri-sectoriel).

Pour deux modèles de cellules hexagonales, les zones du site peuvent être calculées comme suit :

$$d = \sqrt{3} \times R[\text{km}] \dots \dots \dots (2.27)$$

$$S_{s1} = \frac{[3\sqrt{3}R^2]}{2} = 2,6 \times R^2 \dots \dots \dots (2.28)$$

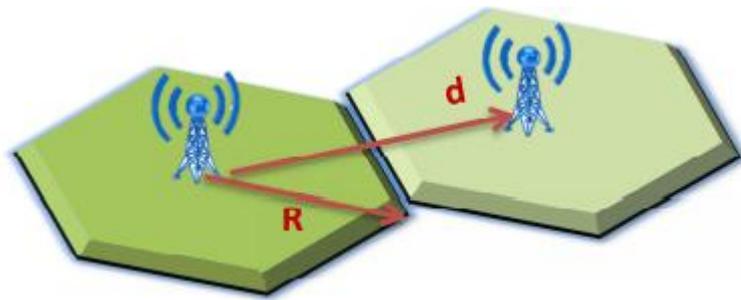


Figure 2.7 : Modèle hexagonales de cellule omnidirectionnel.

Et pour un site à 3 secteurs :

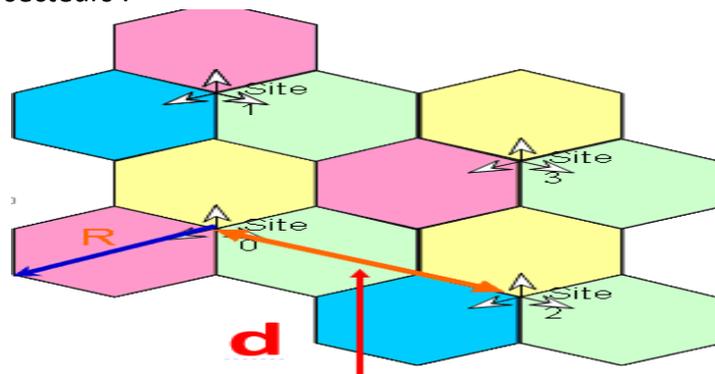


Figure 2.8 : Modèle hexagonales de cellule tri-sectoriel [10].

$$d = \frac{3}{2} R \dots \dots \dots (2.29)$$

$$S_{s3} = \frac{(9\sqrt{3} \times R^2)}{8} = 1,95 \times 2,6 \times R^2 \dots \dots \dots (2.30)$$

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

$$N_s = \frac{S_z}{S_s} \dots \dots \dots (2.31)$$

Sz : c'est la surface totale de la zone, elle dépend du type de zone comme le montre le tableau suivant :

Type de zone	Surface de la zone (Km^2)
Urbaine dense	50
Urbaine	400
Suburbaine	200
Rural	300

Tableau 2.10 : valeurs références des surfaces de la zone.

2.2.5 Dimensionnement de capacité

Le dimensionnement de la capacité obtient l'information d'entrée aux phases après le dimensionnement de l'interface radio : dimensionnement de la liaison de transmission et dimensionnement eNodeB. La méthode est spécifiée pour une certaine charge de fond, appelée charge du système. La méthode de dimensionnement trouve la capacité maximale

que la cellule cible peut supporter momentanément, compte tenu de la charge du système dans les cellules environnantes. Il est improbable que toutes les cellules d'un système soient complètement chargées en même temps que celles observées dans les réseaux réels de différentes technologies.

a Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink

Voici les étapes à suivre pour évaluer les besoins en capacité : -

- Estimer le débit de cellule.
- Faire une analyse complète de la demande de trafic (répartition géographique des abonnés et leurs consommations). La distribution SINR est le principal indicateur d'une couverture suivant la capacité : plus nous avons d'utilisateurs plus l'interférence et les bruits augmentent ce qui réduit la couverture cellulaire et force le rayon de la cellule à devenir plus petit.

a.1 Débit de la cellule

Nous cherchons à déterminer le nombre d'eNodeB nécessaire pour suffire à la capacité. Ces derniers sont déterminés par les opérateurs de réseau en fonction du trafic. Le débit de la cellule qui est nécessaire pour le calcul du nombre de site se calcule par la formule suivante :

$$T_{cell} = Q_{UL} \times R_{avg,UL} \dots \dots \dots (2.32)$$

Avec :

$$R_{avg,UL} = R_{RB} \times (n_{RB} - n_{pucch}) \dots \dots \dots (2.33)$$

Nrb: nombre total de blocs de ressources de la bande passante

Npucch: C'est le nombre de blocs de ressources attribués aux canaux de contrôle PUCCH illustré par la figure suivante :

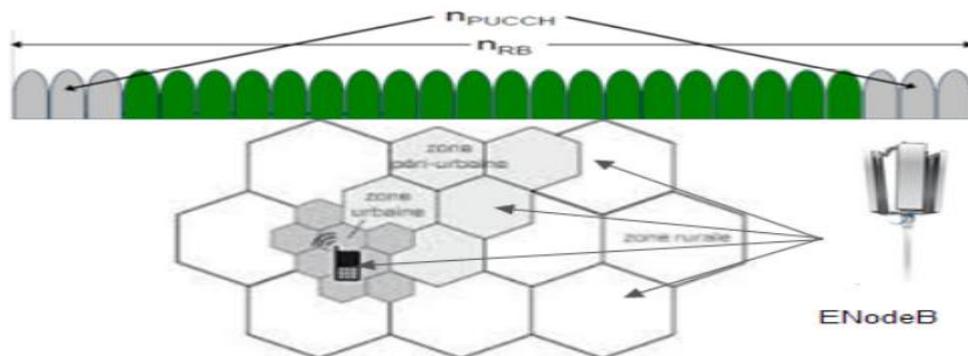


Figure 2.9 : illustration du calcul de dimensionnement de capacité.

b Calcule de dimensionnement de capacité down Link

b.1 SINR

La capacité de liaison descendante est basée sur le SINR à l'emplacement moyen dans une cellule, désignée γ_{DL} , moy comme un rapport linéaire. Le SINR moyen est exprimé dans l'augmentation moyenne du bruit. Ceci est similaire à la marge d'interférence, mais le SINR est

évalué à un emplacement moyen au lieu du bord de la cellule, le SINR moyen résultant, γ_{DL} , moy est représenté dans l'équation suivante :

$$\gamma_{DL,moy} = \frac{P_{t,RB}}{(B_{IDL} N_{RB,DL} H L_{sa,max})} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dans l'équation, H est le facteur d'atténuation moyen. C'est le rapport entre l'atténuation du signal (linéaire) moyenne dans la cellule et l'atténuation du signal (linéaire) à la distance de la gamme de la cellule de l'antenne. H dépend de la géométrie du site, du modèle d'antenne, de l'exposant de propagation des ondes et de la hauteur de l'antenne de la station de base. Une valeur de 0.36 est recommandée pour le dimensionnement.

b.2 Débit Cellulaire

Le débit de l'usager par cellule est donné par la formule suivante :

$$R_{avg,DL} = n_{RB} \times R_{RB,DL} \dots \dots \dots (2.35)$$

Le débit de la cellule se calcul comme suit :

$$T_{cell,DL} = Q_{DL} \times R_{avg,DL} = Q_{DL} \times n_{RB} \times R_{RB,DL} \dots \dots \dots (2.36)$$

b.3 Nombre des sites décidé

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

$$T_{site} = T_{cell} \times 3 \dots \dots \dots (2.37)$$

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

$$N_{site} = \frac{T_{user}}{T_{site}} \times N_{abonnés} \dots \dots \dots (2.38)$$

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

$$N_{abonnés} = \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i) \times (1 + \beta_i) \times d \times surface) \dots \dots \dots (2.39)$$

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

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le principe de dimensionnement des eNodeB, qui fait intervenir deux composantes : la couverture et la capacité.

Chapitre 3 Simulation LTE sur ATOLL

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une simulation sur la planification et le dimensionnement d'un réseau LTE dans la commune d'Ouled yaich. En utilisant les informations des chapitres précédents et le logiciel ATOLL, nous avons la possibilité d'obtenir les données nécessaires à notre étude (modèle de propagation, rayon des cellules, emplacement des eNodeB, etc).

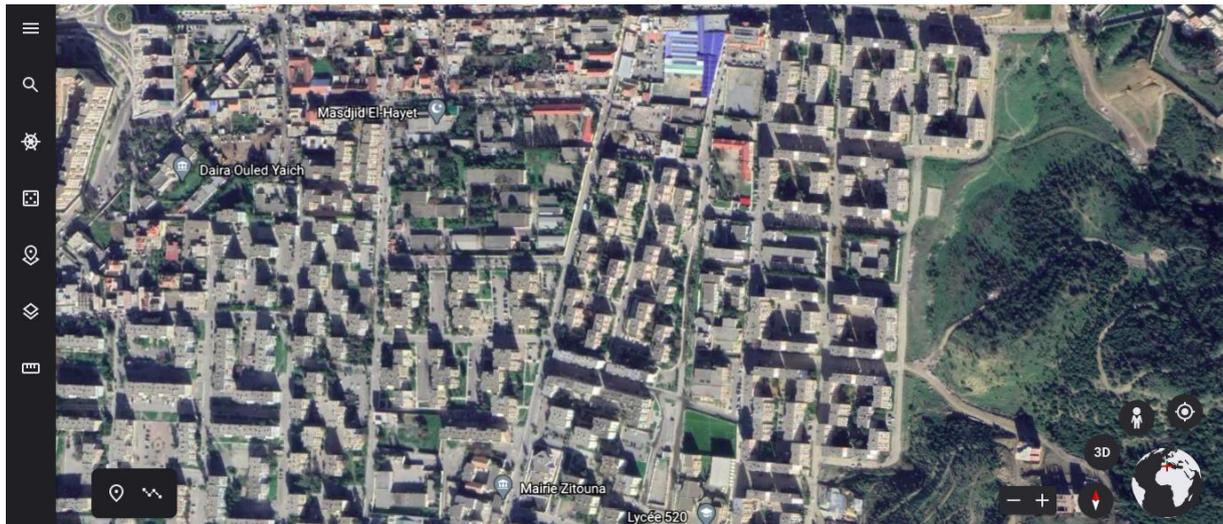


Figure 3.1 : Commune d'Ouled yaich

3.2 Présentation générale du logiciel ATOLL

Atoll est un logiciel professionnel développé par la société Forsk, dédié à la planification radio des réseaux sans fil. Cet outil intègre plusieurs technologies, et il est destiné à aider les opérateurs de télécommunication à planifier et déployer les équipements radio. Cet outil est caractérisé par [26] :

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

3.3 Organisation de la procédure du dimensionnement

Nous commençons par donner l'organigramme de simulation mis en œuvre dans le logiciel Atoll pour réaliser une planification d'un réseau LTE de façon générale (figure 3.1).

Dans les paragraphes qui suivent dans ce rapport, nous expliquons en détail les réflexions, et manipulations effectuées.

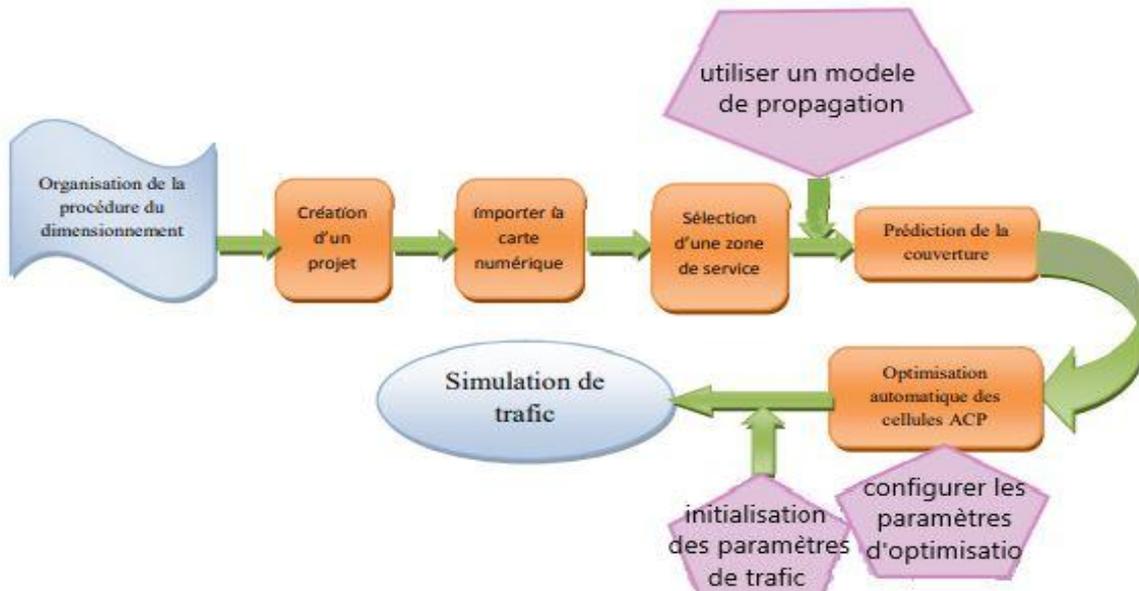


Figure 3.2 : organigramme de simulation

3.4 Étude d'un cas général

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés au cas général qui concerne la commune d'Ouled yaich. Les fichiers permettant cela sont des documents cartographiques.

3.5 Création d'un projet

3.5.1 Présentation de la région à planifier à l'intérieur d'un polygone

La figure 3.3 présente la carte de la zone géographique considérée, il s'agit de la commune d'Ouled yaich située dans la ville de Blida, qui couvre une superficie de plus de 17.31 km²



Figure 3.3 : la carte de la commune d'Ouled yaïch (Blida).

3.5.2 Définition de la zone de calcul :

Il convient de définir la zone à couvrir. Dans notre cas, nous avons choisi de délimiter seulement la zone concernée.



Figure 3.4 : la zone de couverture.

3.5.3 Utilisation d'un modèle de propagation

Atoll propose plusieurs modèles de propagation et permet aussi de calibrer un modèle spécifique si besoin ; afin d'avoir une bonne étude, on a choisi d'utiliser le modèle standard de propagation (SPM) proposé par atoll.

Le SPM a été développé sur la base des formules de perte de chemin de HATA. Ce modèle empirique convient aux prévisions d'affaiblissement sur le trajet. Il détermine

l'évanouissement à grande échelle de la force du signal reçu sur une distance de 1 à 20 km. Par conséquent, il convient à la caractérisation des canaux mobiles des technologies cellulaires populaires telles que le LTE.

Modèle de propagation principal	Rayon de calcul principal (m)	Résolution principale (m)
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20
Standard Propagation Model	6 000	20

Figure 3.5 : modèle standard de propagation.

3.5.4 Création des sites

Ainsi, pour la région sélectionnée, nous avons atteint le nombre total de 9 sites. Dans la fenêtre d'Atoll on clique sur l'icône "ajouter un émetteur ou site" et on clique sure Ctrl + clique droit de la souris sur l'endroit où on veut implémenter les sites.

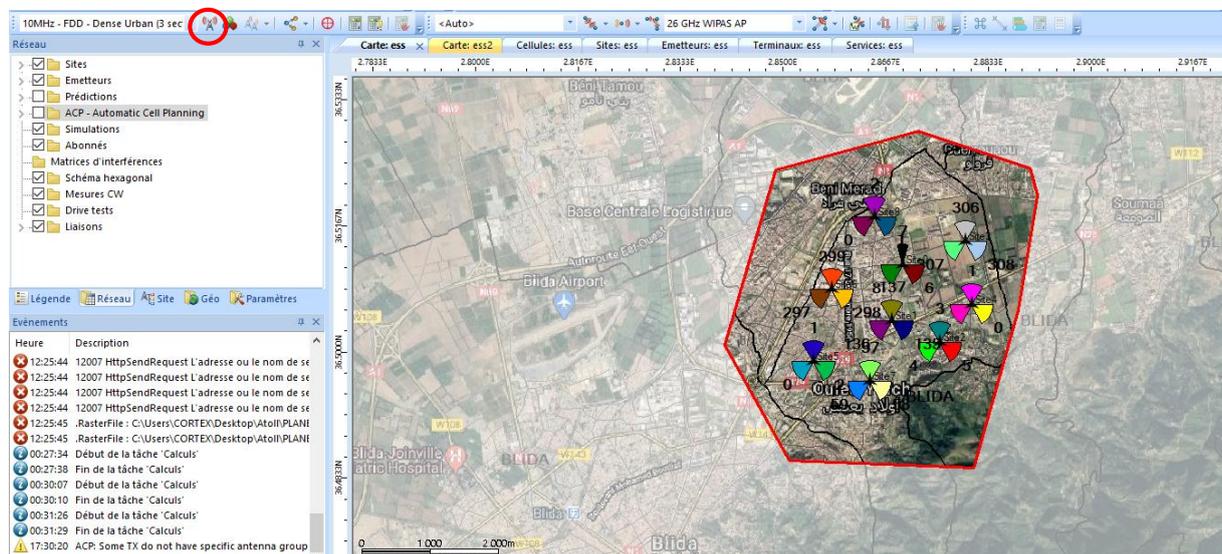


Figure 3.6 : l'emplacement des sites, secteurs et cellules dans le polygone.

On aura ce tableau qui nous montre les données suivantes :

PathLoss_{dB}	Perte de trajet totale rencontrée par le signal de l'émetteur au récepteur (W)
TxPower_{dB}	Puissance transmise par l'antenne de l'émetteur (dBm)
TxGains_{dB}	Gain de l'antenne de l'émetteur (dB)
TxLosses_{dB}	Pertes de l'émetteur (dB)
RequiredSINR_{dB}	SINR minimum requis pour que le signal soit reçu au niveau du récepteur avec la qualité ou la force requise (dB)
RxGains_{dB}	Gain de l'antenne du récepteur (dB)
RxLosses_{dB}	Pertes du récepteur (dB)
RxNoise_{dB}	Bruit du récepteur (dBm)

Tableau 3.1 : bilan de liaison.

Il faut que $SINR \geq RequiredSINR_{dB}$

$$SINR = \frac{AveRxPower}{Interference + RxNoise} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$AveRxPower_{DL} = \frac{AveTxPower}{LinkLoss_{DL}} = \frac{MaxNodeBTxPower}{CellBandwidth} \times \frac{AllocatedBandwidth}{LinkLoss_{DL}} \dots (3.3)$$

MaxNodeBTxPower est la puissance de l'eNodeB qui est dans notre cas de 20 watts (43dBm).
On résume dans ce tableau les paramètres utilisés dans la simulation.

Puissance d'émission (dBm)	43
Pertes câbles en réception (dB)	1,2
Pertes connecteurs en réception (dB)	0,5
Pertes diverses en réception (dB)	2
Perte équivalente à la noise rise dû aux répéteurs (dB)	0
Gain équivalent du TMA (dB)	3,7
Pertes UL dues à la configuration (dB)	0
Longueur de câbles en réception (m)	20
Facteur de bruit (dB)	4
Pertes émission (dB)	0,5

Tableau 3.2 : Paramètres de la simulation.

3.6.2 Paramètres de l'antenne

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

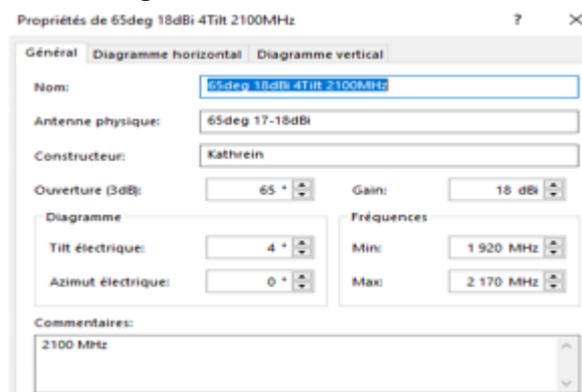


Figure 3.8 : paramètres d'antenne.

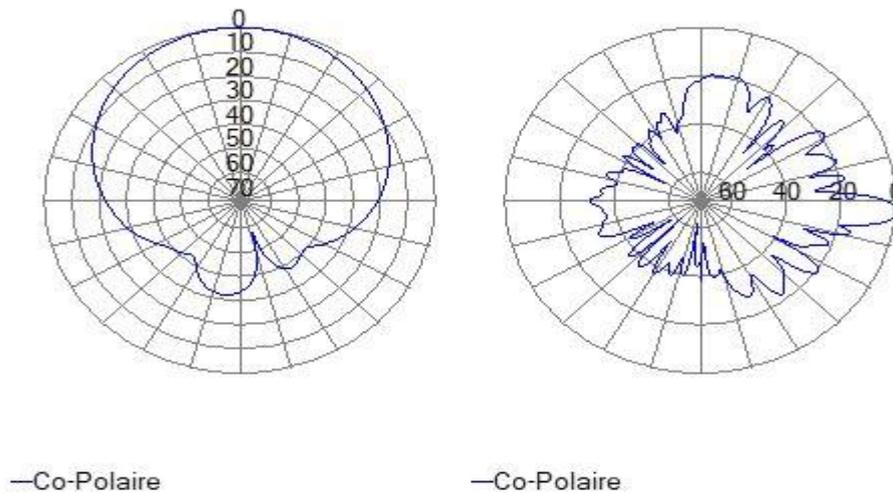


Figure 3.9 : polarisation d'antenne.

3.7 Plan de fréquence

En LTE, il est possible d'utiliser un plan de fréquence 1x1 ou 1x3 (fractionnaire). Nous adoptons dans ce travail le plan de fréquence 1x1, c'est-à-dire la même fréquence et la même bande pour tous les sites et émetteurs.

- **Bande de fréquence utilisée est :** E-UTRA Band 1 - 10MHz,
- **Numéro de canal :** 50
- **Méthode de duplexage :** FDD
- **Bande UL (MHz) :** 1920 – 1980
- **Bande DL (MHz) :** 2110 – 2170
- **Nombre de RB :** 50

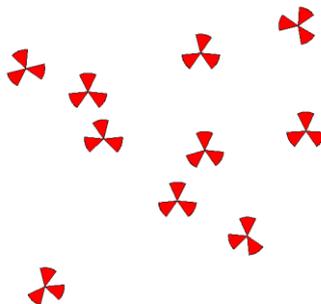


Figure 3.10 : plan de fréquence 1x1.

3.8 Plan PCI utilisé

Pour distinguer les cellules, d'une manière que dans le réseau 3G avec la technologie WCDMA, en LTE chaque cellule (secteur) possède un **PCI** (physical cell identifier) différent. Ceci va permettre aux UE's de distinguer les signaux provenant de cellules différentes.

Dans les systèmes LTE, les cellules sont codées avec un code de synchronisation primaire (PSC) et code de synchronisation secondaire (SSC), où le PSC a trois valeurs et le SSC à 168 valeurs, totalisant 504 PCI.

Pour éviter les fortes interférences, nous devons donc planifier des PCI différents pour chaque cellule d'une manière manuelle ou automatique en utilisant le logiciel Atoll. Les PCI sont affichés en jaune sur la figure suivante.

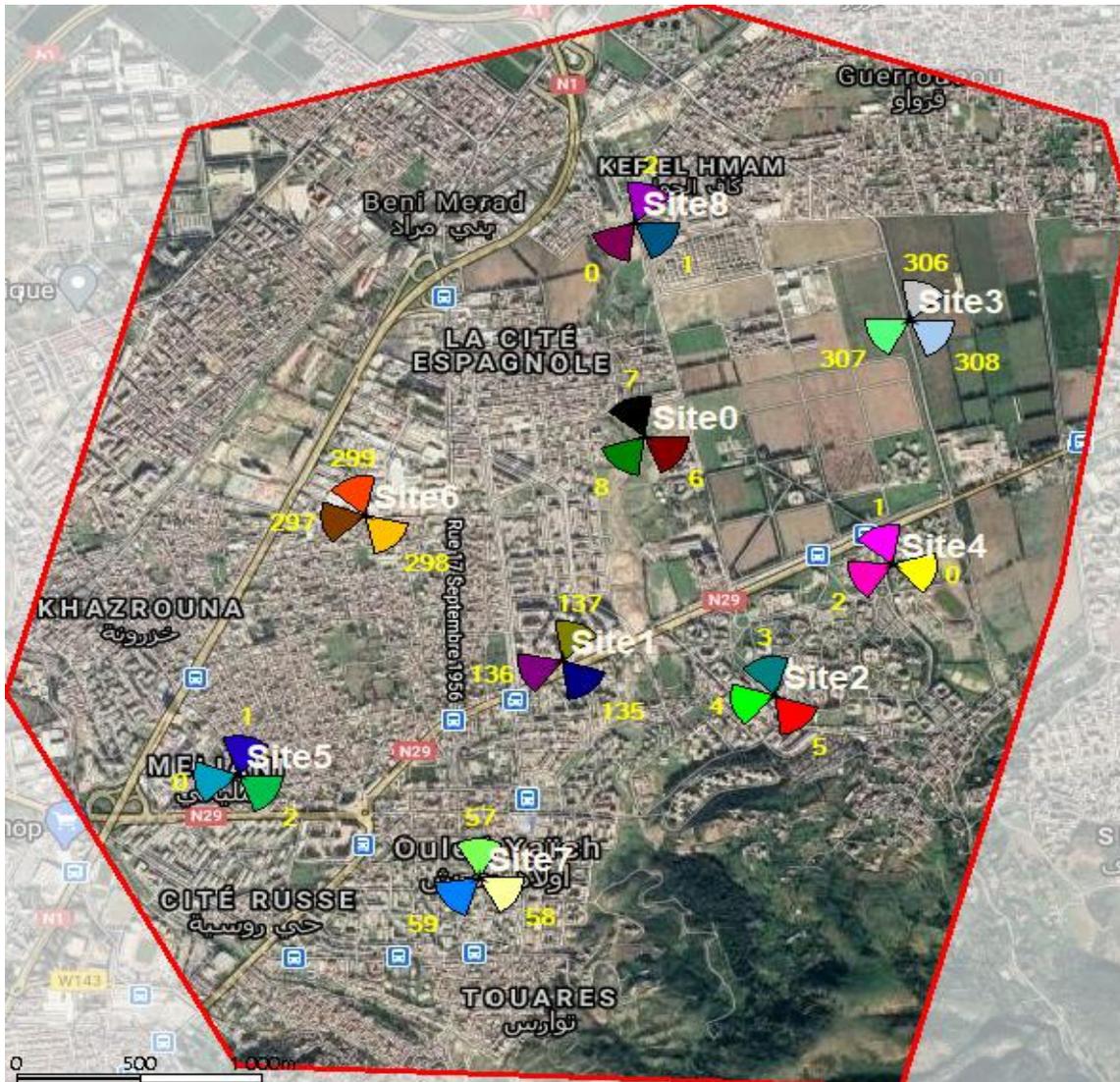


Figure 3.11 : Affectation des PCI.

On peut distinguer deux problèmes sur la planification des PCI :

1. **Une collision PCI** se produit entre deux ou plusieurs cellules intra-fréquence qui utilisent un PCI identique mais qui sont insuffisamment isolées. Dans ce cas, les UE dans la zone de chevauchement des deux cellules ne peuvent pas mettre en œuvre la synchronisation ou le décodage du signal. Le principe est de respecter une certaine distance pour la réutilisation du PCI.

2. **Une confusion PCI** se produit entre une cellule détectée et une cellule voisine si les deux cellules ont la même fréquence et PCI et si la puissance reçue du signal de référence (RSRP) des deux cellules atteint le seuil du Handover intercellulaire. La confusion PCI peut conduire à des échecs de Handover UE ou à des Call drop.

3.9 Plan de PRACH utilisé

Le canal PRACH (Physical Random Access Channel), c'est Le canal utilisé pour transmettre la séquence de préambule qui est nécessaire pendant l'accès aléatoire UE. Pour cela des séquences Zadoff-Chu (ZC) sont utilisées.

Avec la planification PRACH, on alloue des indices de séquence ZC et spécifie les valeurs Ncs pour les cellules en fonction de la fonction de cellule. Différents indices des séquences ZC sont alloués pour générer une séquence de préambule différente pour les cellules voisines. De cette manière, les interférences provoquées par la même séquence de préambule de cellules voisines sont réduites.

3.10 Plan des cellules voisines

Le réseau LTE nécessite un hard Handover rapide, de sorte que la planification des cellules voisines est très importante.

Contenu de la planification des cellules voisines LTE :

- Cellule voisine intra-fréquence,
- Cellule voisine inter-fréquence,
- Cellule voisine inter-RAT

Les cellules voisines sont des cellules géographiquement proches. La distance entre eNB est petite (0,3 - 1 km) dans les zones urbaines, et donc un grand nombre de cellules voisines sont recommandées

Si la cellule adjacente d'une cellule devant un lac, une mer ou une large route est également en face du lac, de la mer ou d'une large route, la cellule adjacente est configurée comme sa cellule voisine.

Cellule	Voisine	Raison (allocation automatique)	Importance	Type de relation (allocation automatique)	Nombre	Distance (m)
Site0_1(0)	Site0_2(0)	Co-Site	0,647862	Inter-porteuse	6	0
Site0_1(0)	Site0_3(0)	Co-Site	0,659448	Inter-porteuse	6	0
Site0_1(0)	Site6_1(0)	Adjacente	0,469548	Inter-porteuse	6	1 186
Site0_1(0)	Site8_1(0)	Adjacente	0,357499	Inter-porteuse	6	980
Site0_1(0)	Site8_2(0)	Adjacente	0,345505	Inter-porteuse	6	980
Site0_1(0)	Site8_3(0)	Adjacente	0,375104	Inter-porteuse	6	980

Tableau 3.3 : Exemples de cellules voisines de la cellule Site0_1.

3.11 Prédiction de la couverture

Le but de cette phase est d'assurer un fonctionnement optimal du réseau. Une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture débit ou exigences de qualité.

Après avoir déployé le réseau, on utilise l'outil Atoll pour réaliser plusieurs prédictions afin de mieux connaître la propagation des signaux émis par les émetteurs et de détecter les endroits où le niveau de signal ou la qualité sont dégradés.

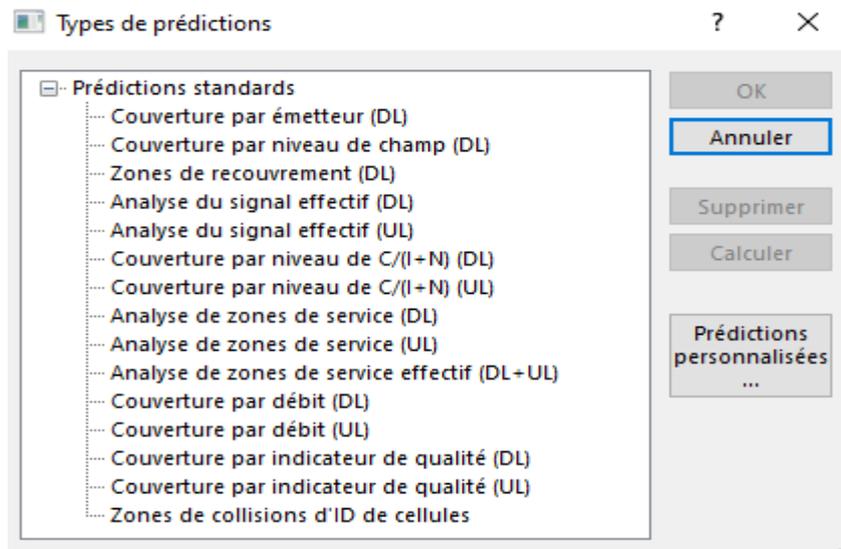


Figure 3.12 : différents types de prédictions.

3.11.1 Prédiction de la couverture par niveau de champ (DL)

Cette prédiction permet d'estimer la puissance reçue par un mobile en chaque point de la zone de calcul.

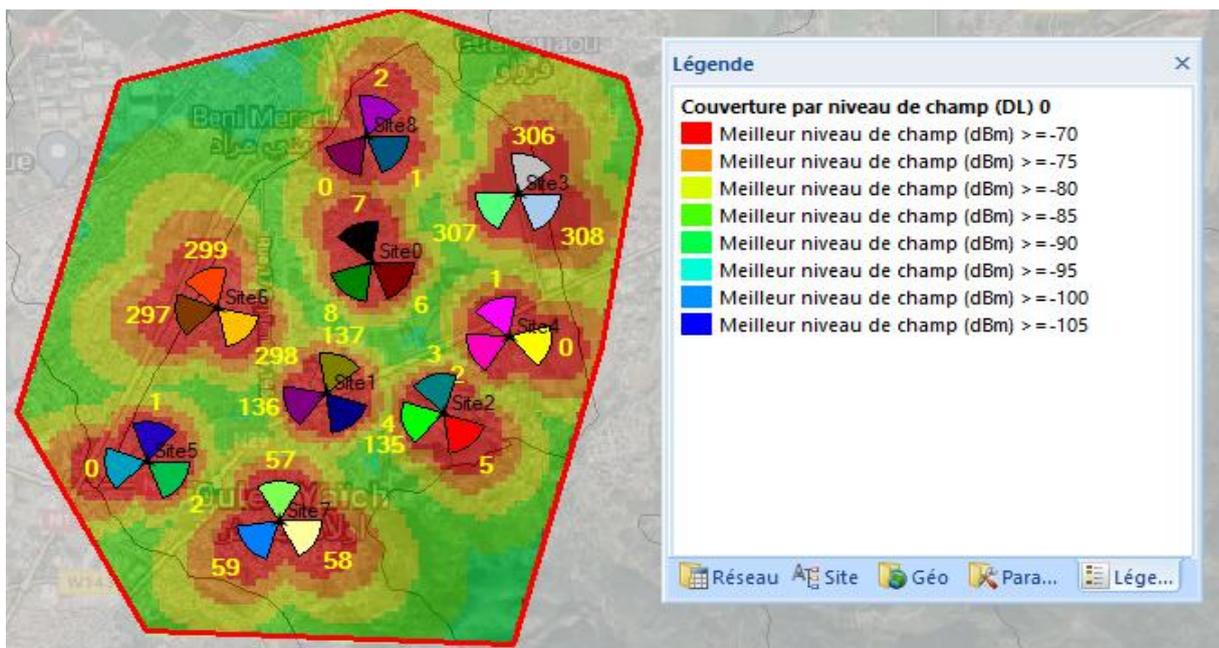


Figure 3.13 : Prédiction de couverture par niveau de champ.

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

3.11.2 Prédiction de la couverture par émetteur (DL)

Cette prédiction nous permet de déterminer les limites des différentes cellules du réseau LTE afin de préciser la zone de couverture du site sur lequel nous voulons appliquer le principe de l'optimisation. La figure suivante montre la transmission de chaque site avec ses 3 secteurs.

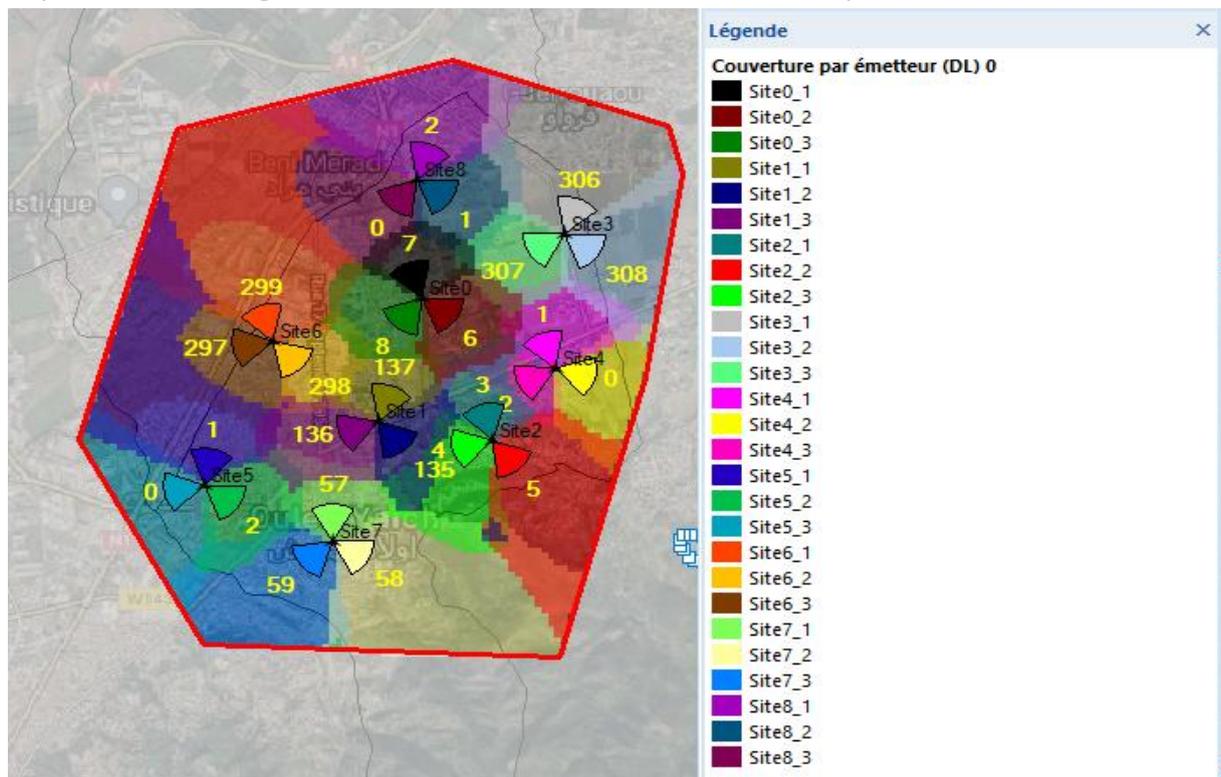


Figure 3.14 : prédiction de la couverture par émetteur.

3.11.3 Prédiction de la couverture par débit (DL+UL)

Pour calculer le débit offert par notre réseau, nous devons précéder notre prédiction par une simulation basée sur une carte de trafic pour estimer la distribution des abonnés et la qualité de leur service.

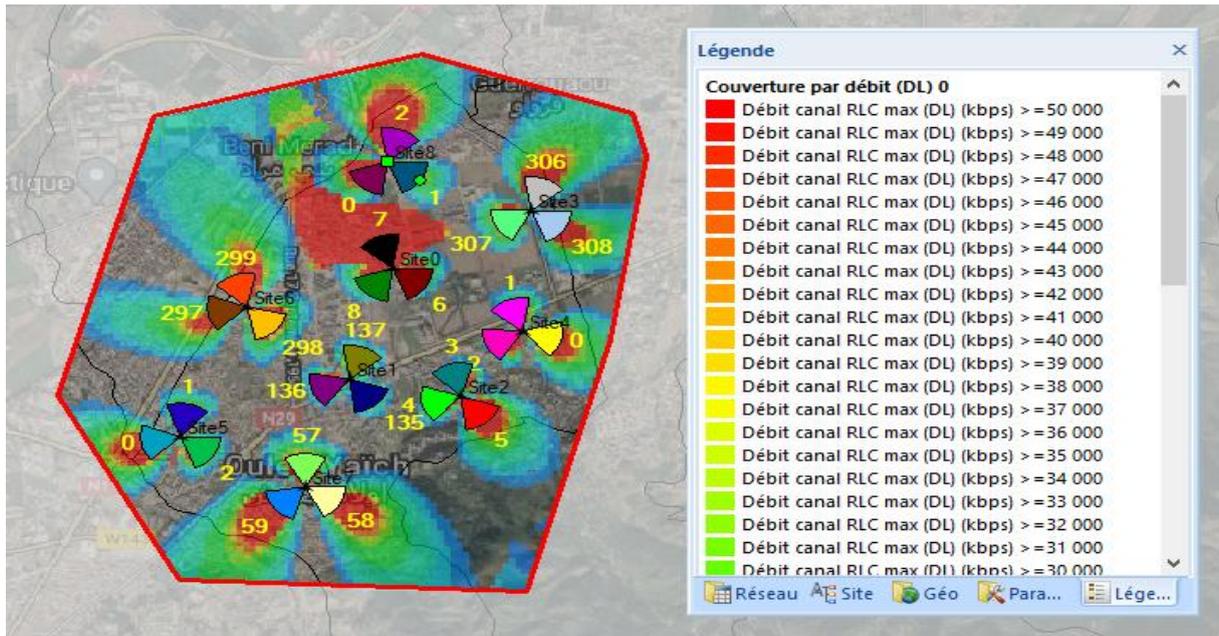


Figure 3.15 : Prédiction de la couverture par débit (DL).

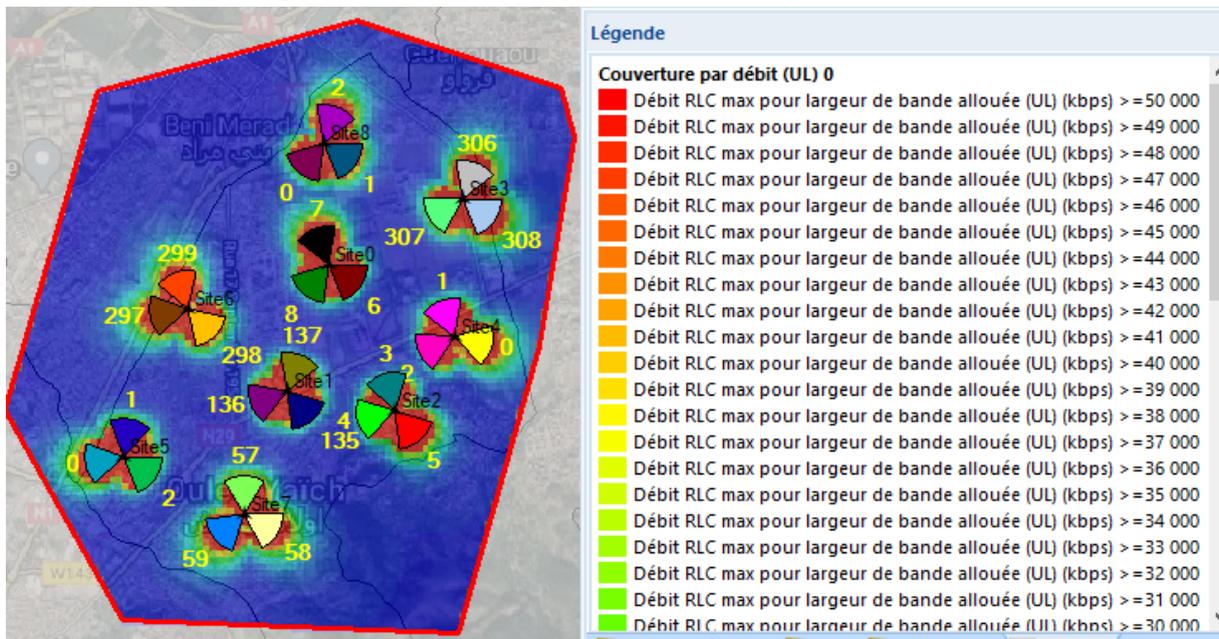


Figure 3.16 : Prédiction de la couverture par débit (UL).

Cette carte de trafic présente la quantité de trafic maximale qu'un émetteur peut servir dans une zone.

La prédiction de la couverture par débit est faite pour la voie montante (Up Link) et pour la voie descendante (Down Link). La figure 3.15 et 3.16 représente les deux cas, où chaque couleur désigne un intervalle de débit selon la légende. Nous avons introduit quelques paramètres qui sont nécessaires pour cette prédiction, comme le débit de chaque site pour les 2 voies. On a pour la voie montante 50 Mbit/s et pour la voie descendante 50Mbit/s pour chaque secteur selon la norme de LTE.

Le résultat de la simulation montre que la plupart de nos sites LTE assurent un mauvais pourcentage de satisfaction d'abonnés servis.

Après avoir effectué la simulation, nous calculons la prédiction du débit moyen offert par le site en question : nous avons fait des statistiques pour ces figures qui se présentent de suite :

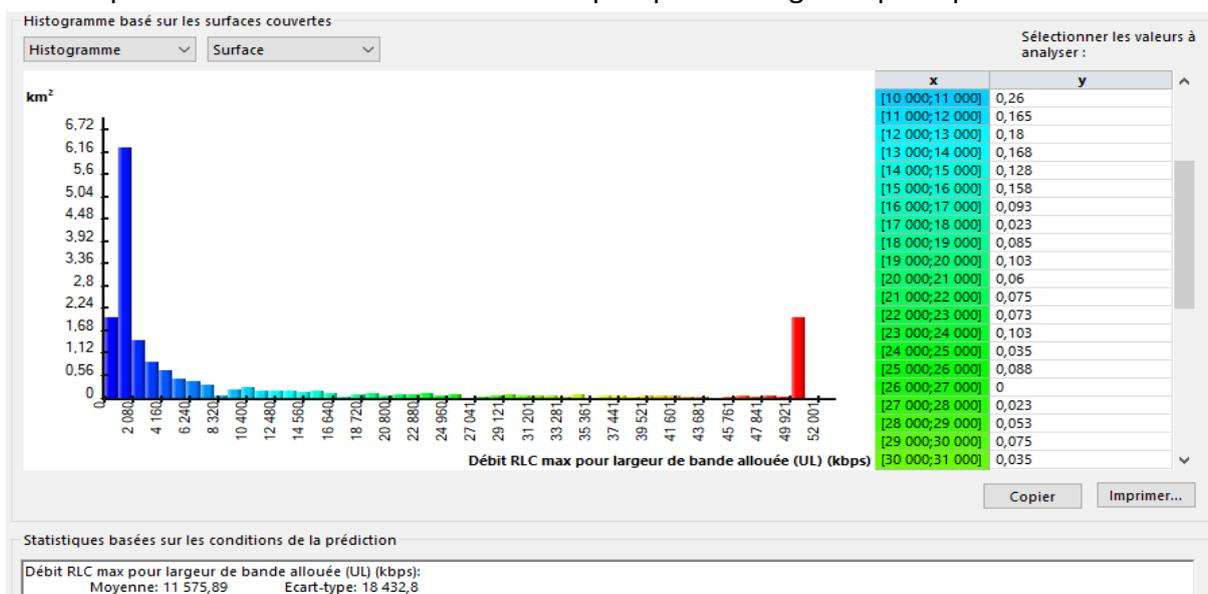


Figure 3.17 : Résultat de calcul du débit (UL).

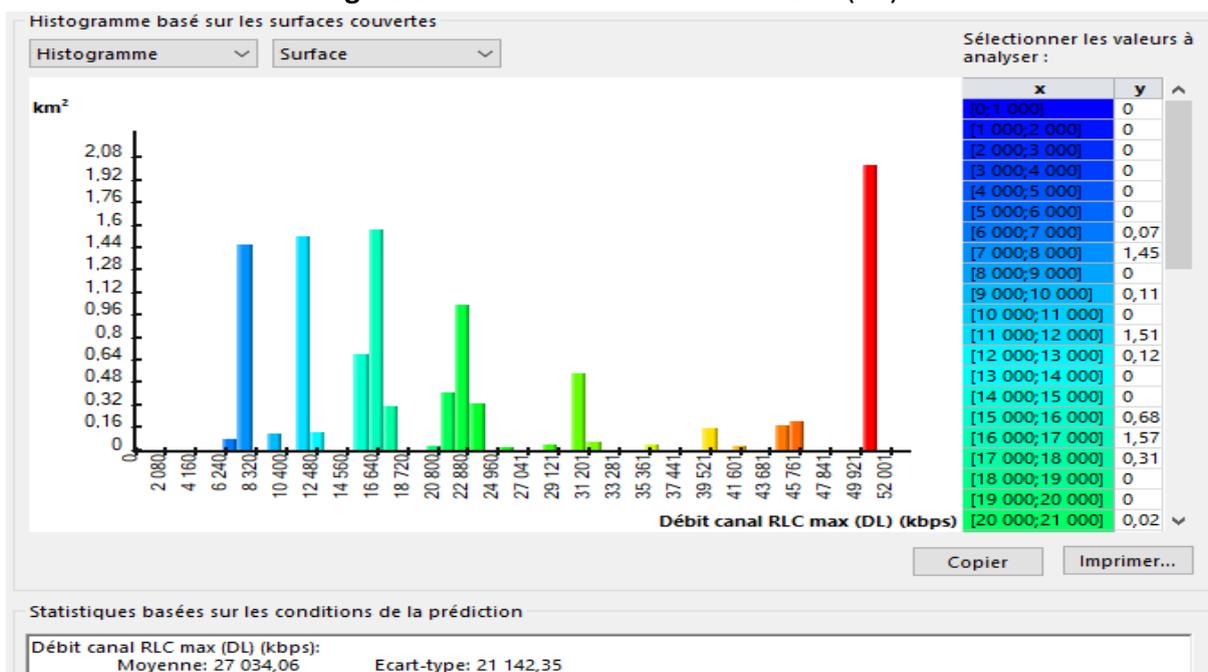


Figure 3.18 : Résultat de calcul du débit (DL).

Pour la voie descendant, on remarque que la zone n'est pas bien couverte. Le débit se dégrade en fonction de kilométrage, c.-à-d., que l'augmentation de débit implique la diminution de rayon de cellule. Dans le cas de la voie montante, on constate que le débit est variable, pour des intervalles différents on a des superficies différentes. Le débit vari entre [0, 10Mbits/s] peut couvrir jusqu'au 6,16 Km2 (couleur bleu sur la figure). On à un autre intervalle qui porte un débit important peut atteindre 52Mbits/s pour une zone de 1,96 Km2.

3.11.4 Prédiction de l'analyse de signal effectif RSRP en DL

Le RSRP c'est le signal de référence de la puissance reçue

Le RSRP est un type de mesure d'indication de la puissance du signal reçu en terme simple le RSRP mesure uniquement la partie utilisable de signal en exclut les bruits et les interférences sur les réseaux connecter.

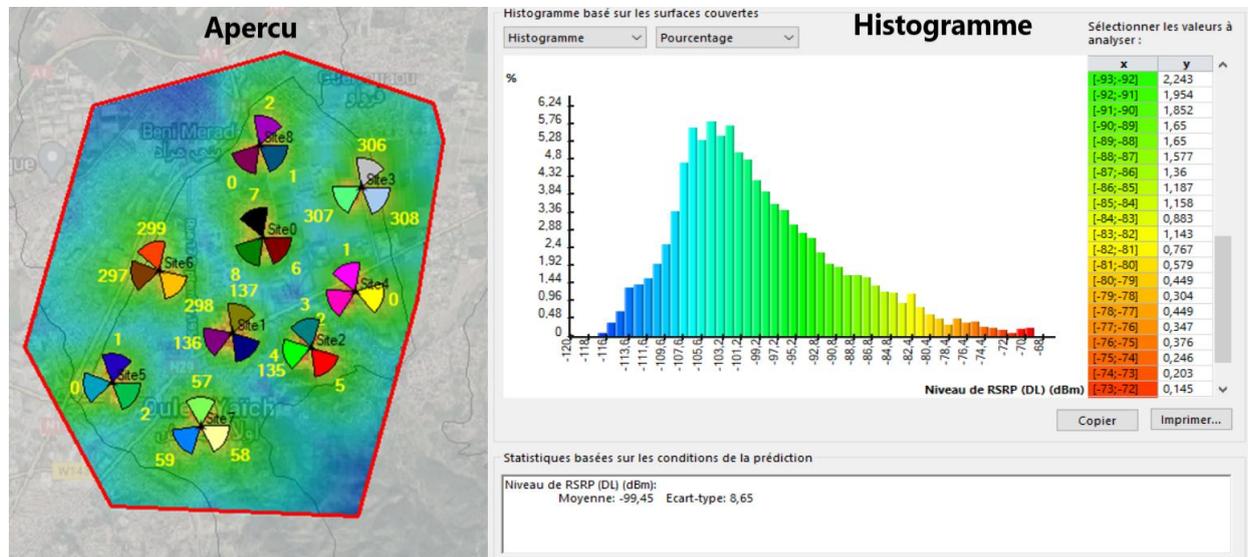


Figure 3.19 : prédiction du signal effectif RSRP.

On remarque que le niveau de signal RSRP est mauvais sur la surface couverte avec une moyenne de -99,45 dBm ; nous avons des trous de couverture (black spot) ou le niveau est ≤ -90 dBm (la couleur vert d'eau et bleu dans la figure), c'est problèmes seront traiter par la suite.

3.11.5 Prédiction de couverture par niveau de C/ (I+N)

RSRQ indique la qualité de signal de référence reçue. Il l'utilise comme information supplémentaire pour prendre une décision fiable de transfert ou de sélection de cellules lorsque le RSRP n'est pas suffisant $RSRQ = RSRP / RSSI$

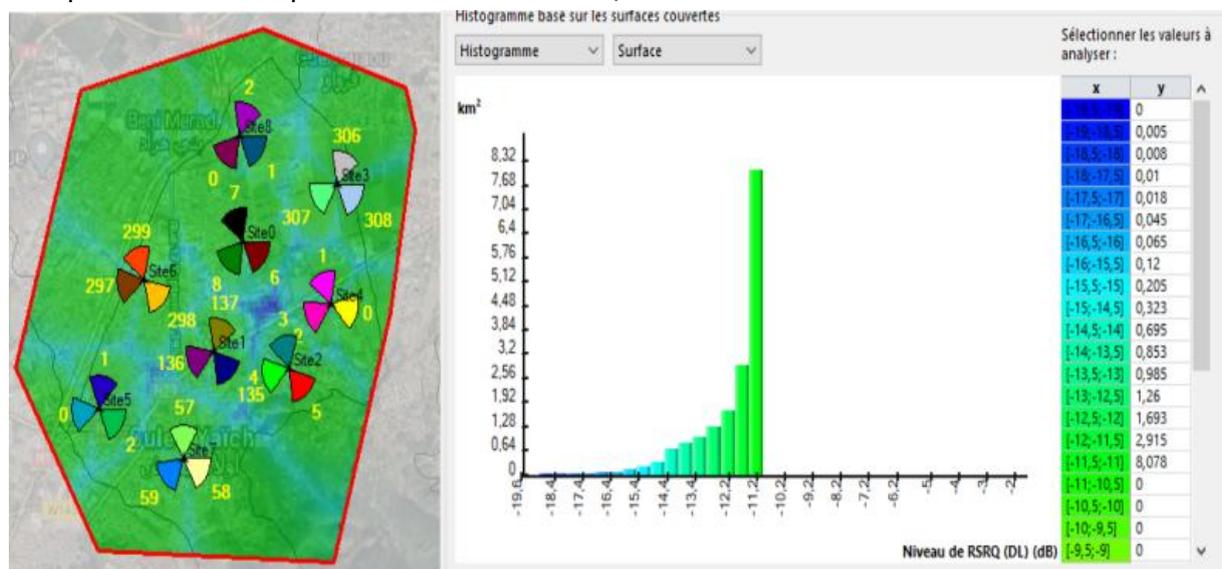


Figure 3.20 : prédiction de la couverture par niveau de C/ (I+N) et son histogramme.

On remarque que le niveau de signal RSRQ est mauvais sur la surface couverte ; nous avons des trous de couverture (black spot) ou le niveau entre -12 et -15 dBm (la couleur jaune et vert dans la figure), c'est problèmes seront traiter par la suite.

3.11.6 Prédiction de zone de recouvrement (overlapping zone)

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

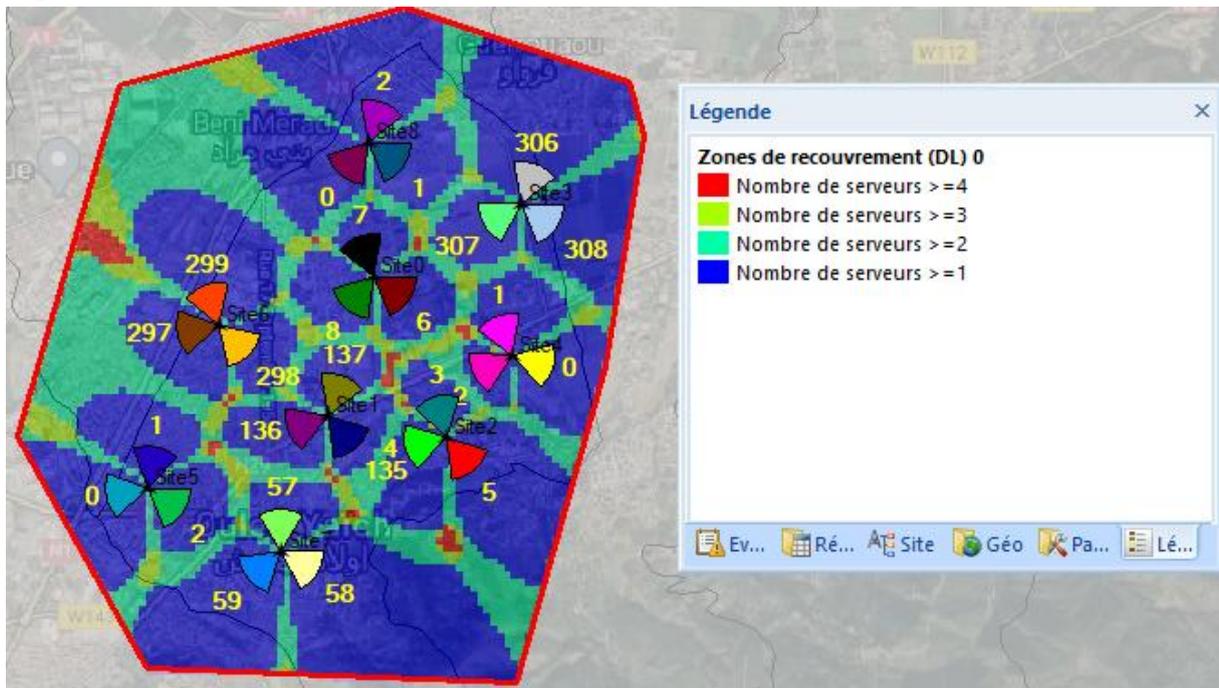


Figure 3.21 : prédiction par zones de recouvrement.

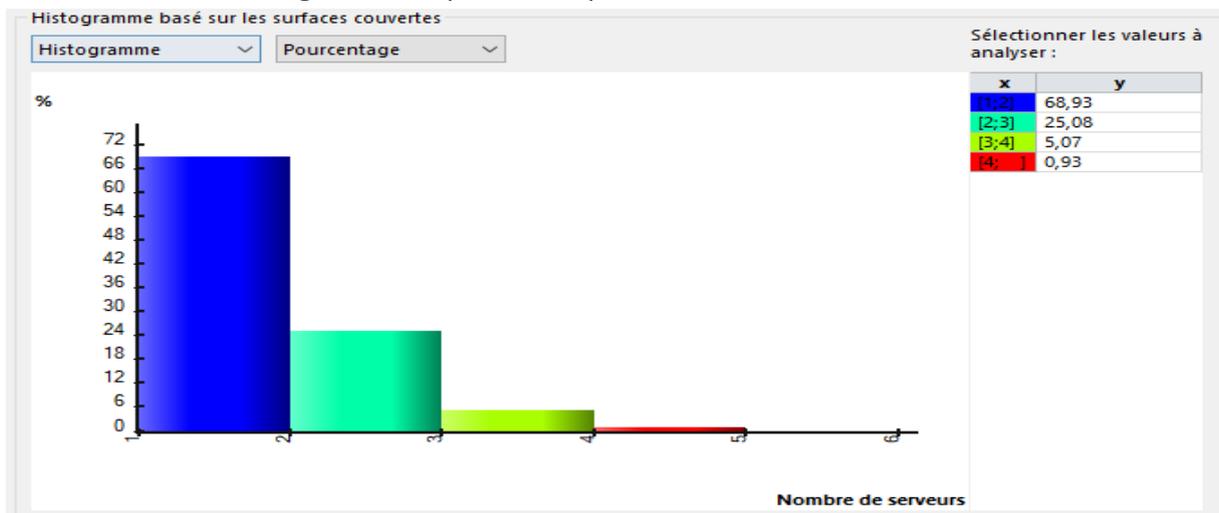


Figure 3.22 : Histogramme de la zone de recouvrement.

On constate d'après la figure 3.21 et l'histogramme de la figure 3.22 que la plus grande partie de la surface de recouvrement et couverte par un seul émetteur (68.93% de la surface). En bordure des cellules on a deux, ou trois émetteurs ce qui correspond aux zones d'intersection des cellules.

3.12 Optimisation du réseau LTE

L'optimisation en réseau LTE est une stratégie pour améliorer la qualité, faciliter la gestion et réduire les coûts de l'infrastructure du réseau. Au cours du déploiement initial, l'objectif est souvent de fournir une couverture maximale au titre des contraintes budgétaires. Une fois le réseau initial est déployé ; l'amélioration du réseau :

- vise à combler les trous de couverture et de fournir une capacité maximale par l'ajout de sites, pendant cette phase, le rôle d'optimisation est de sélectionner l'emplacement idéal des nouveaux sites.
- Lancement de l'optimisation automatique des cellules(ACP)

3.12.1 Optimisation par l'ajout des sites

Après la prédiction, les trous de couverture sont définis dans la figure 3.18, une installation des nouveaux sites est nécessaire afin d'obtenir une bonne couverture et la qualité requise.

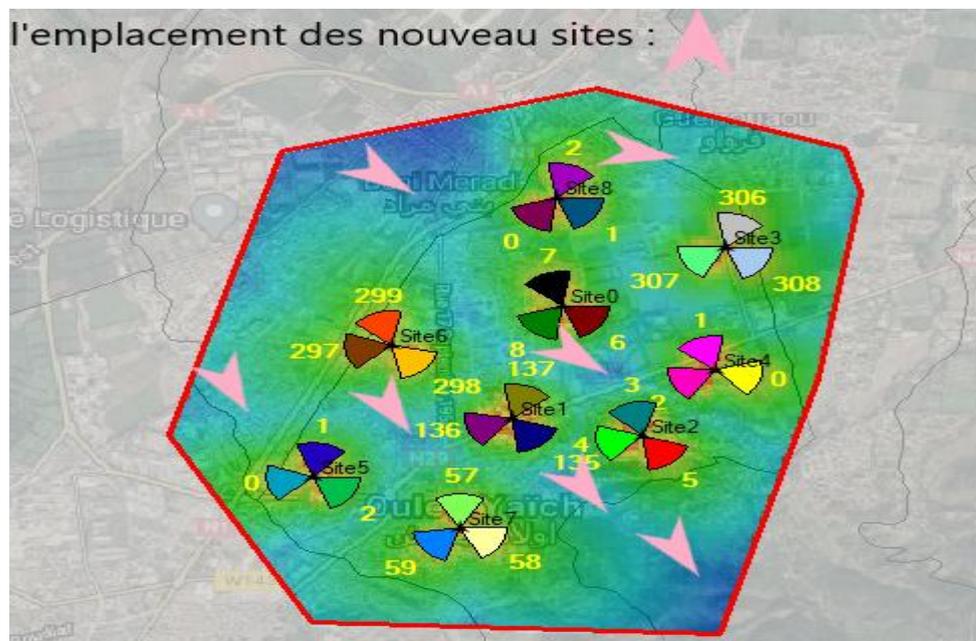


Figure 3.23 : Prédiction du signal effectif RSRP + trous de couverture.

On va ajouter des sites où nous avons remarqué des trous de couverture (manuellement)

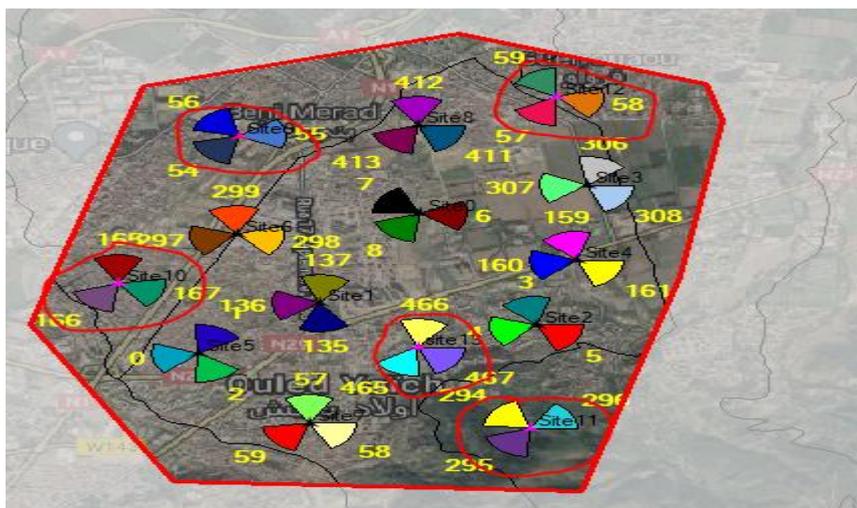


Figure 3.24 : Implémentations des nouveaux sites.

Maintenant on doit faire l'allocation automatique de PCI (physical cell identifier) se dernier permet l'identifiant d'une cellule au sein de la couche physique du réseau LTE. Le PCI lui-même n'est pas un identifiant unique, car un nombre limité d'identifiants sont disponibles.

$$PCI = PSS + 3 \times SSS$$

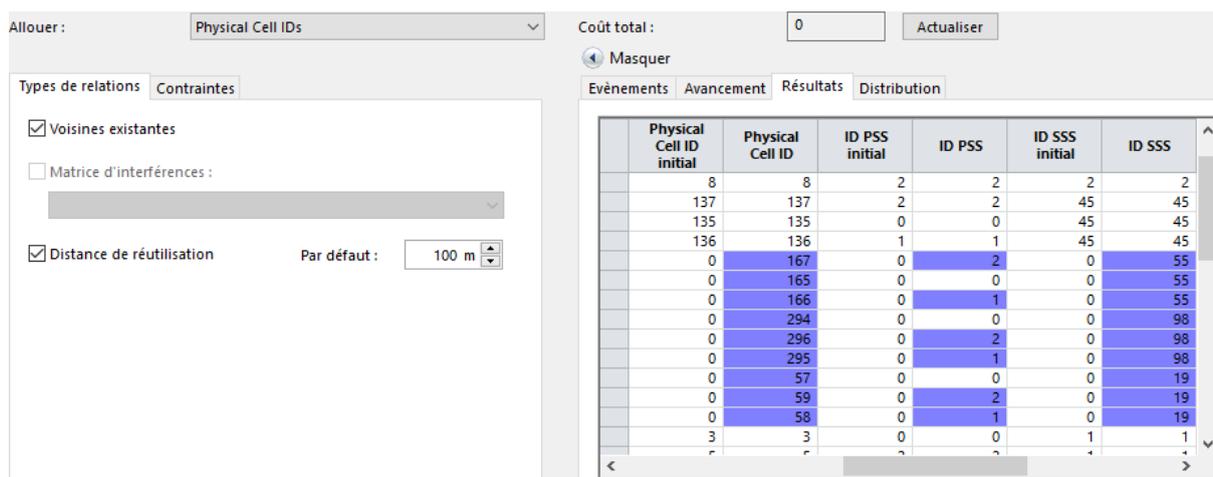


Figure 3.25 : allocation automatique de PCI.

Ensuite on fait l'allocation automatique de PRACH. Le canal physique PRACH sert à transmettre les demandes, lors de l'établissement ou du rétablissement de la connexion avec un nœud radioélectrique.

Le mobile choisit un préambule aléatoirement parmi la liste des préambules et transmet sa demande via le canal physique PRACH avec une puissance initiale P.

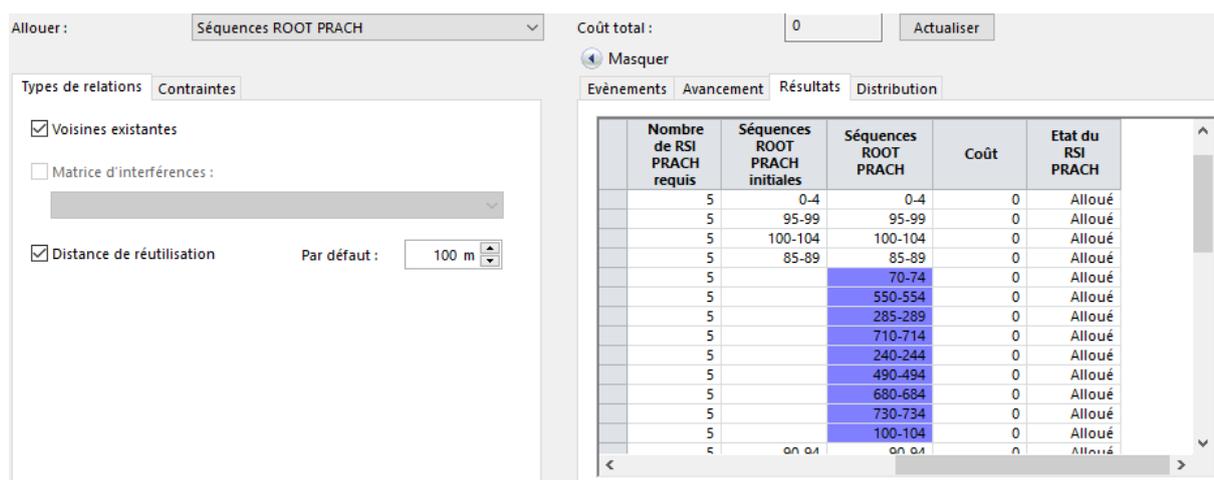


Figure 3.26 : allocation automatique de PRACH.

3.12.2 Optimisation automatique des cellules (ACP)

Une fois l'interprétation des prédictions de base faite, et l'ajout des sites (régler les trous de couverture) réalisé, on passe à l'étape qui permet de relocaliser ou ajuster les paramètres des sites pour augmenter la couverture, afin d'optimiser les résultats. Cette relocalisation se fait grâce à la procédure ACP (Automatique celles planning), peut être utilisée soit avec les réseaux déjà existants ou avec des réseaux des phases initiales de planification.

L'ACP calcule l'amélioration qu'il peut apporter au réseau de la manière suivante :

- Lors de l'optimisation d'un réseau, en phase de planification sous Atoll l'ACP détecte d'éventuelles zones aveugles et essayer de les éliminer en procédant à un déplacement de site.
- Sélection du type d'antenne pour chaque émetteur : L'ACP sélectionne la meilleure antenne à partir du groupe d'antennes attribué à cet émetteur.

Le changement que l'ACP peut apporter :

- Azimuts (orientation des secteurs) pour les nouveaux sites.
- Inclinaison électrique
- L'inclinaison mécanique de l'antenne (michanical tilt)

3.13 Résultat d'optimisation des sites LTE :

Le tableau de la figure 3.27 montre les corrections automatiques d'optimisation faites sur les sites après l'application de l'ACP afin d'obtenir une meilleure couverture :

Tx Name	Antenna		Electrical Tilt (deg)				Azimuth (deg)					Mechanical Tilt (deg)				
	Pattern	Physical Antenna	Use	Current	Min.	Max.	Use	Current	Variation	Step (°)	Min. Inter Sector (°)	Use	Current	Min.	Max.	Step (°)
Site0_1	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	302	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	5	1
Site0_2	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	95	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0	5	1
Site0_3	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	220	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	5	1
Site10_1	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	111	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	5	1
Site10_2	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	0	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	5	1
Site10_3	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	220	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	5	1
Site11_1	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	309	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	3	0	5	1
Site11_2	65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz	65deg 17-18dBi	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	62	20	5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	5	1

Figure 3.27 : application de l'ACP.

La prochaine étape consiste donc à refaire les différentes prédictions de couverture pour noter les éventuelles anomalies qui devront être corrigées par l'ACP. Les figures suivantes nous indiquent les différents changements et les améliorations qui nous donnent une meilleure couverture pour : RSRP, qualité C/ (I+N) et la zone de recouvrement. Les résultats d'optimisation sont illustrés dans les figures ci-dessous :

3.13.1 Optimisation de couverture par niveau de champ

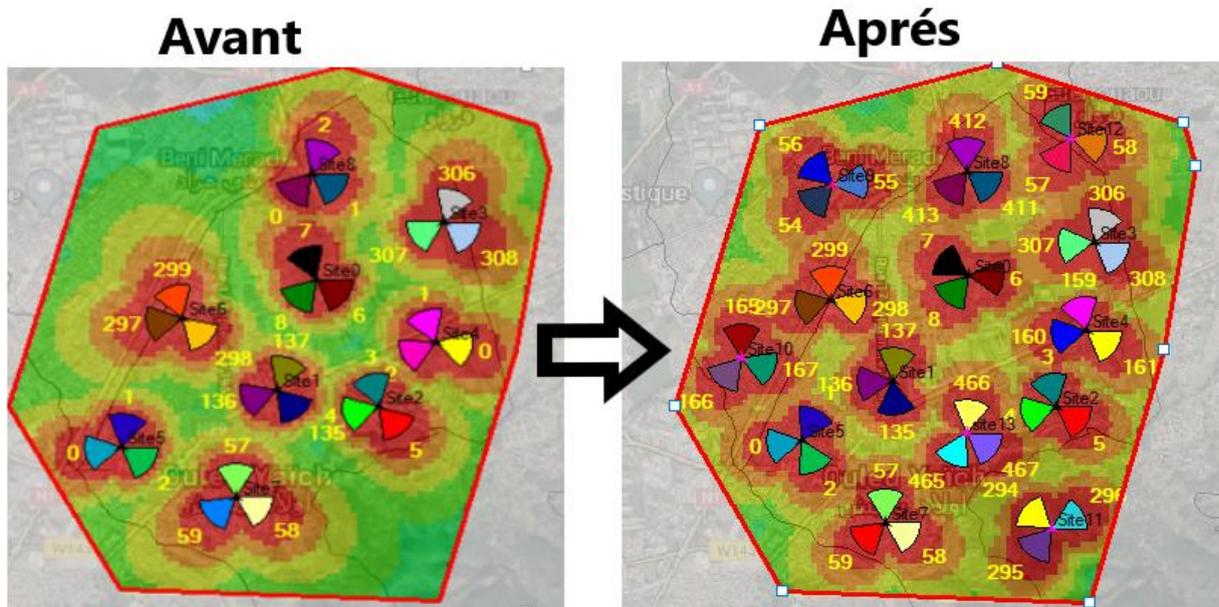


Figure 3.28 : le niveau de champ avant et après l'optimisation.

On remarque qu'après l'optimisation le niveau de champ a augmenté qu'induit une bonne couverture, car la majorité de la zone a une couleur rouge qui veut dire un meilleur niveau de champ ≥ -70 dBm

3.13.2 Optimisation de niveau de signal effectif RSRP

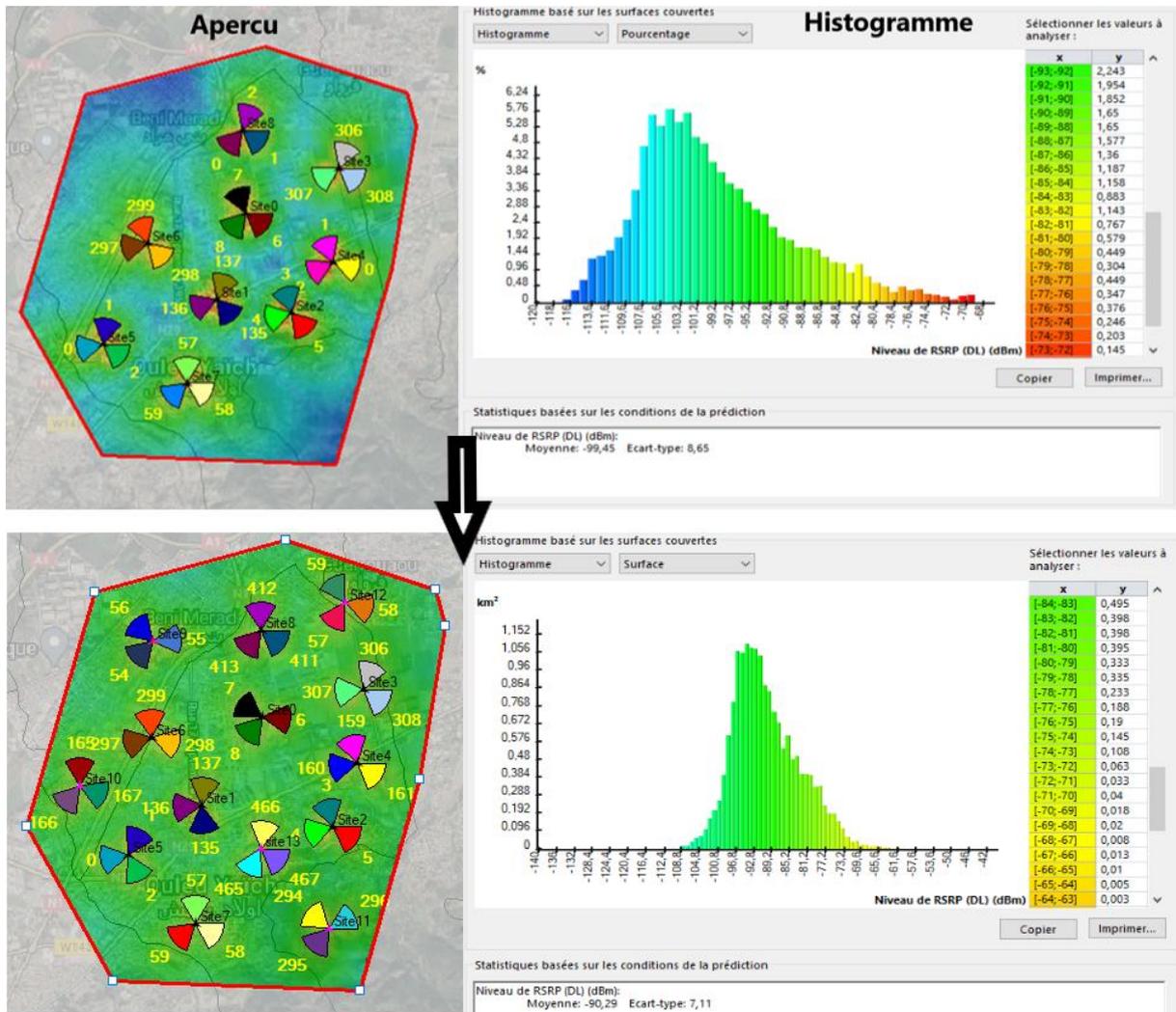


Figure 3.29 : le niveau de signal RSRP avant et après l'optimisation.

On constate une bonne amélioration du RSRP sur la surface couverte avec une moyenne de 90%.

3.13.3 Optimisation par niveau de C/ (I+N)

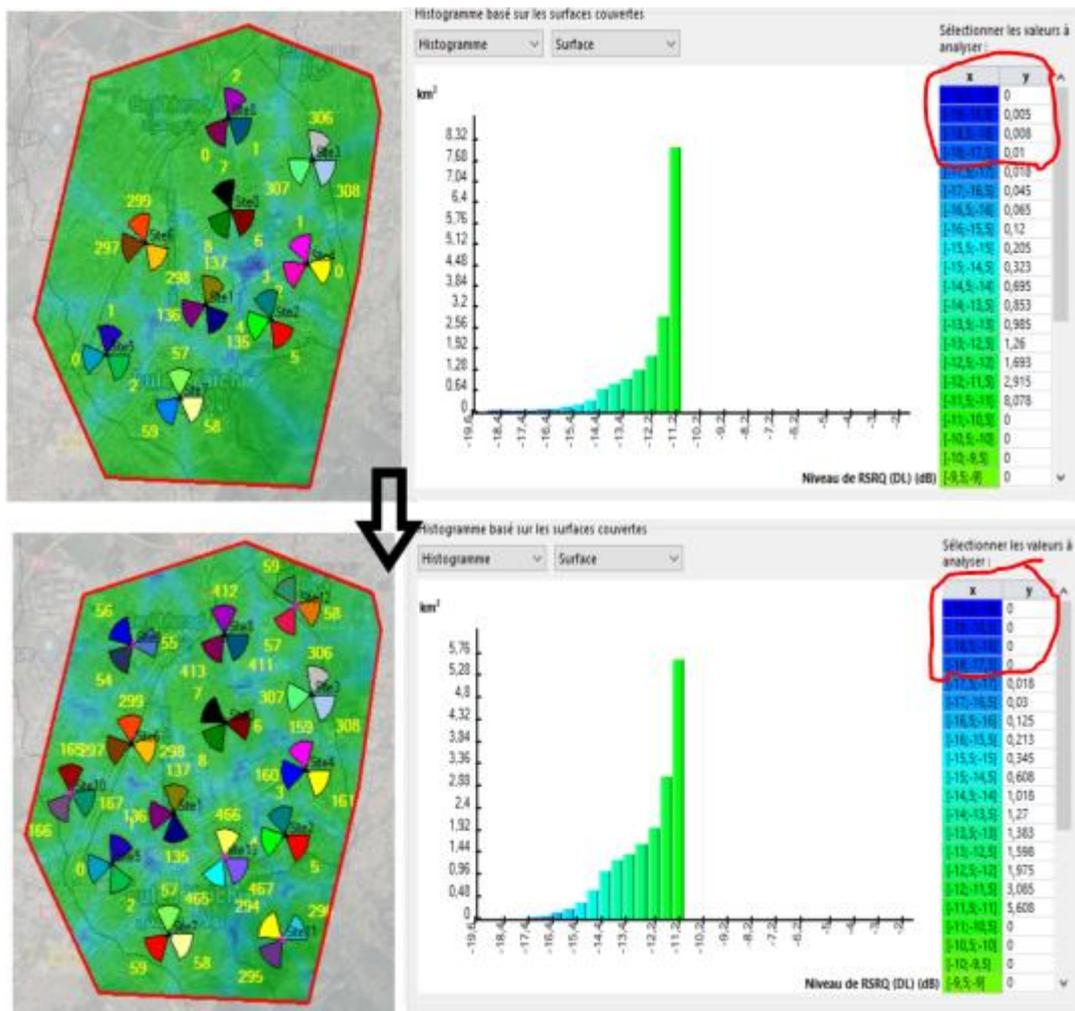


Figure 3.30 : le niveau de C/ (I+N) avant et après l'optimisation.

On remarque la disparition des zones comportant des trous de couverture dans les intervalles [-19,5 à -17,5].

3.13.4 Optimisation par zone de recouvrement

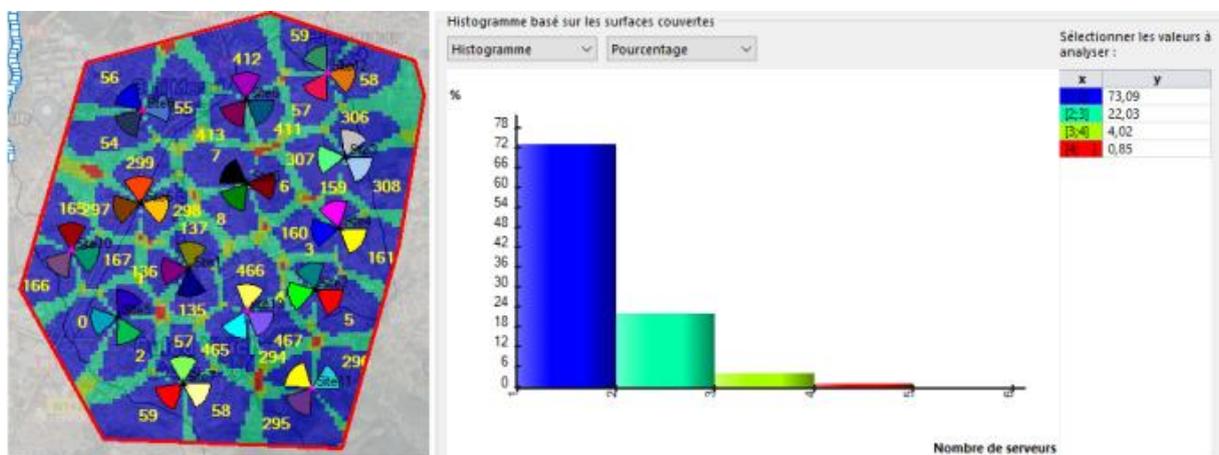


Figure 3.31 : Zone de recouvrement après l'optimisation.

Après l'optimisation de la zone de recouvrement, on remarque que le recouvrement a réduit à 4% pour un nombre supérieur ou égale à 2 serveurs, ce qui permet d'éviter le maximum d'interférences.

3.13.5 Optimisation de débit fourni en DL

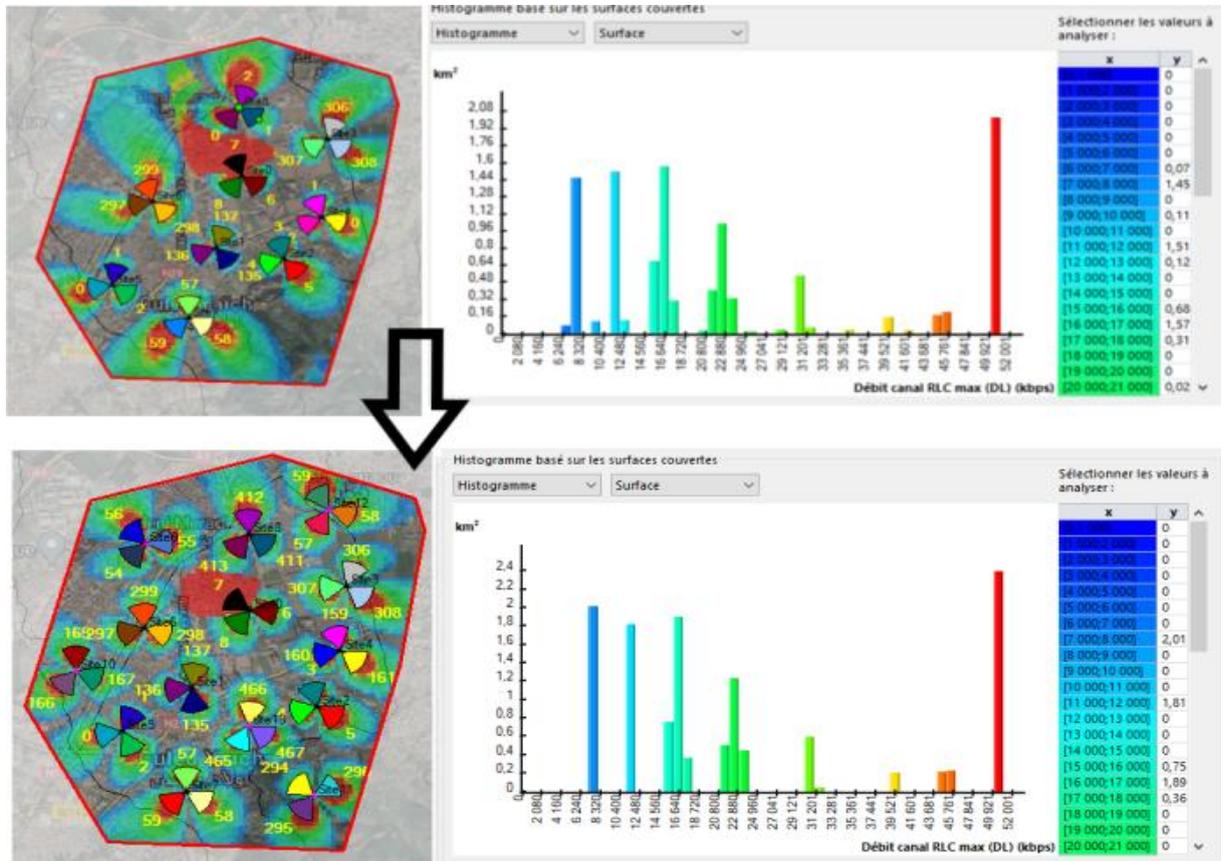


Figure 3.32 : le débit fourni en DL avant et après l'optimisation.

On remarque que le débit a été amélioré après l'application des actions proposées pour améliorer la couverture.

3.13.6 Optimisation de débit fourni en UL

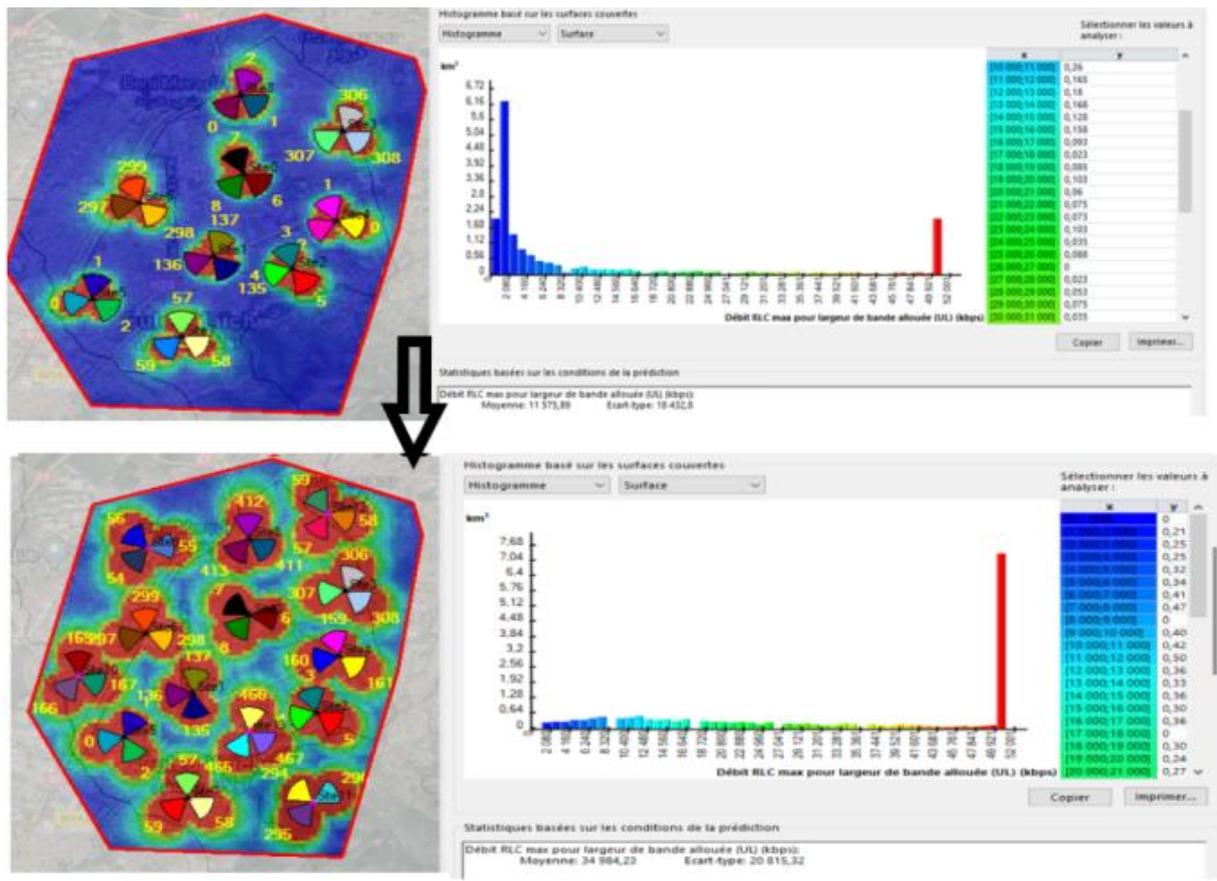


Figure 3.33 : le débit fourni en UL avant et après l’optimisation.

On remarque une grande amélioration de débit en Up Link avec une augmentation de 23 Mb/s.

3.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné et déployé un réseau LTE sur une zone géographique, en exposant des captures d’écran qui témoignent des différentes étapes des applications réalisées sur le logiciel de planification Atoll.

Nous avons aussi présenté l'amélioration des performances des sites ainsi que leur couverture par l'optimisation de certains paramètres tels que tilts, l’azimutetc.

IV. Conclusion générale

L'objectif de notre travail de fin d'études et de procéder à une étude de dimensionnement et planification cellulaire d'un réseau LTE sur une zone géographique précise la commune de ouled yaich wilaya de Blida.

Nous avons fait une étude détaillée sur le réseau LTE, ces caractéristiques, ainsi sa qualité de service.

Au court de ce mémoire nous avons présenté les différentes générations de la téléphonie mobile de la première génération (1G) jusqu'à quatrième génération (LTE) ainsi l'architecture des réseaux (UMTS). Cependant nous avons présenté les performances de réseau LTE (architecture, caractéristique, qualité de service) ainsi une simulation LTE concernant l'étude de planification et dimensionnement sur logiciel ATOLL qui nous a permis de mieux comprendre les principes, les problèmes à résoudre, l'optimisation de (débit, couverture, capacité et l'emplacement des sites) et de prendre en considération le bilan de liaison. Pour obtenir des estimations très proches de la réalité et de faciliter le travail sur le terrain.

V. Bibliographie :

- [1] C. DEMOULIN, M. VAN DROOGENBROECK. Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. Revue de l'AIM, N04, 2004.
- [2] 3GPP Specification Release Numbers. (2019). Repéré à <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3gpp/standards>
- [3] Y.Bouguen, E.Hardouin, E.Wolff, F.Pujolle, et A.Maloberti. LTE et les réseaux 4G. © Groupe Eyrolles. Paris, (2012).
- [4] rapport sur l'observatoire du marché de la téléphonie mobile en Algérie Autorité de Régulation de la poste et des Communications Electroniques. Alger, (2017).
- [5] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php.
- [6] T.Halone, "GSM, GPRS and EDGE Performance/ Evolution towards 3G\UMTS".
- [7] N.Halfaoui, et R.Karaouzene. Étude Comparative entre les réseaux cellulaires 3G et 4G Perspectives vers la 5G. Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie. (2016).
- [8] L.Chihi. Migration d'un réseau mobile 3G vers le 4G. Université Virtuelle de Tunis, Tunisie, (2015).
- [9] Décret exécutif n° 13-405. (2013). Journal Officiel De La République Algérienne, (60). Repéré à https://www.arpce.dz/fr/doc/reg/de/2013/De_3G_ATM.pdf
- [10] FDD-LTE Radio Network Principle, student book. ZTE Corporation.
- [11] M.Rumney, "taking LTE MIMO from standards to starbucks", 2009.
- [12] M.Coupechoux et P.Martins, "Vers les systèmes radio mobiles de 4e génération De l'UMTS au LTE", Springer-Verlag France, 2013.
- [13] S.Ahmadi, "LTE-Advanced", Elsevier, 2014.
- [14] <https://lafibre.info/4g/lte-la-couche-physique-13298/>
- [15] P.Lescuyer ET T.Lucidarme:"EVOLVED PACKET SYSTEM (EPS) ", John Wiley & Sons, 2008.
- [16] <https://www.eetimes.com/wireless-data-rates-part-2-high-order-and-multi-carrier-modulation/>
- [17] <http://wireless-communications-systems.blogspot.com/2013/04/adaptive-modulation.html>
- [18] J.Chavarría, "LTE Handover Performance Evaluation Based on Power Budget Handover Algorithm", Université Polytechnique de Catalogne, 2014.
- [19] H.FIKRI, "déploiement de réseau LTE", pfe université de fes, 2013.
- [20] H.Hanen, S.Saidane, "Dimensionnement des réseaux Radio 3G et 4G", Université de Tunis, 2012/2013.
- [21] : A.syed," Dimensioning of LTE Network ", these master, 2009.
- [22] P.Rouault, B.Tabaries, "UMTS: Universal Mobile Telecommunication System", Montpellier, 2004.
- [23] Coverage and Capacity Dimensioning, RECOMMENDATION, Ericsson, 2009–2010.
- [24] <https://suatmimurnani.wordpress.com/category/technology>

- [25] M.COULON, "canal de propagation", institut de recherche informatique de Toulouse, 2007.
- [26] LTE Features Atoll 3.4.0, FORSK, 2019.
- [27] A.A.Kassab, A.M.Morsy, M.Saad,M.Tantawy, M.Morsy Mohamed,H.Abdelmoety Kamel, "Long Term Evolution (LTE) Access Network Coverage and Capacity Dimensioning", Cairo 2013.