Dédicace i
Remerciement ii
Résumé iii
Table des Matières iv
Liste des Figures et des Tableaux vii
Liste de Abriviations et Acronymes ix
Introduction générale 2

CHAPITRE I : GEBERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES

I.1 INTRODUCTION 4
I.2 DEFINITION D'UN RESEAU CELLELULAIRE 4
I.2.1 Radio téléphonie cellulaire 4
I.2.2 Concept cellulaire 4
I.3 EVOLUTIONS DES RESEAUX CELLULAIRES 5
I.3.1 La première génération (1G) 5
I.3.2 La deuxième génération (2G) 6
I.3.2.1 Le standard GSM 7
I.3.3 La génération (2.5G) 8
I.3.3.1 Le standard GPRS 9
I.3.3.2 Le standard EDGE 11
I.3.4 La troisième génération (3G) 11
I.3.4.1 Le réseau UMTS 12
I.3.4.2 HSPA 13
I.3.4.3 Les évolutions HSPA + ... 14
I.3.5 La quatrième génération (4G) 15
I.3.5.1 Réseau LTE 15
I.3.5.2 LTE-Advanced 16
I.4 CONCLUSION 17

CHAPITRE II: LE RESAU DE LA QUATRIEME GENARATION LTE

II.1 INTRODUCTION 18
II.2 ARCHITECTURE GENERALE DU RESEAU LTE 18
II.2.1 Réseau d'accès (Access Network) 19
II.2.1.1 Caractéristiques du réseau d'accès 19
II.2.1.2 Les entités du réseau d'accès (E-UTRAN) 21
II.2.2 Réseau cœur (Core Network) 21

II.2.2.1 Caractéristiques 21
II.2.2.2 Les entités du réseau cœur 23
II.3 INTERFACES ET PROTOCOLES 24
II.3.1 Architecture générale 24
II.3.2 Evolutions des différents nœuds dans le LTE 25
II.3.3 Les interface réseau de l'E-UTRAN 27
II.3.3.1 L'Interface S1 28
II.3.3.2 Interface S1 Felxibility 28
II.3.3.3 Interface X2 29
II.4 LES PROTOCOLES DE L'INTERFACE RADIO 30
II.4.1 Les canaux radio 30
II.4.1.1 Canaux logiques 30
II.4.1.2 Canaux de transport 31
II.4.1.3 Canaux physique 31
II.4.2 La couche PHY 31
II.4.2.1 L'OFDMA et SC-FDMA 32
II.4.2.2 Structure de la trame LTE 32
II.4.2.3 Concept de bloc de ressources 33
II.4.2.4 La technologie MIMO 34
II.5 CONCLUSION 35

CHAPITREIII : PLANIFICATION D'UN RESEAU LTE : ZONE DE TLEMCEN VILLE

III.1 INTRODUCTION 36
III.2 DEFINITION D'UNE PLANIFICATION RADIO 36
III.3 PROCESSUS DE PLANIFICATION LTE 36
III.3.1 Pré-planification 37
III.3.2 Planification 37
III.3.3 Vérification 37
III.3.4 Optimisation 37
III.4 PRE-PLANIFICATION 38
III.4.1 Bandes de fréquences 38
III.4.2 Nombre d'eNodeB requis 39
III.5 PLANIFICATION AVEC ATOLL 39
III.5.1 Les étapes de configuration à suivre 40
III.5.2 Modèle de propagation 40
III.5.3 Création nouveau projet 41
III.5.4 Importer les cartes numériques 42

III.5.5 Zone géographique à planifier 44
III.5.6 Cordonnées de système 46
III.5.7 Ajout des sites 46
III.5.8 Choix de la bande de fréquence 48
III.5.9 Etude de prédictions 49
III.5.9.1 Prédictions de la couverture par niveau de signal 50
III.5.9.2 Prédictions de la couverture par transmission 50
III.5.9.3 Prédictions de la couverture par débit 51
III.5.9.4 Prédictions de la couverture par niveau de C/I 53
III.6 CONCLUSION 54

CHAPITREIV : OPTIMISATION DU RESEAU LTE : ZONE DE TLEMCEN VILLE

IV.1 INTRODUCTION 55
IV.2 L'AUTO OPTIMISATION 55
IV.3 DIFFERENTS PHASES D'OPTIMISATION 55
IV.4 RESULTAT D'OTIMIZATION 55
IV.4.1 La phase de la couverture 56
IV.4.2 La phase de la qualité 58
IV.4.3 La phase de la zone de couverture de chaque antenne 58
IV.4.4 La phase de la capacité (Débit) 58
IV.5 COMPARAISON DES RESULTATS 60
IV.5 CONCLUSION 63
Conclusion générale 65
Bibliographie 66

Liste des Figures

Figure I.1 : Architecture du réseau GSM. 8
Figure I.2 : Architecture du réseau GPRS. 10
Figure I.3 : L'évolution vers l'HSUPA (3G+). 14

Figure II.1 : Architecture général du LTE. 19
Figure II.2 : Architecture de l'E-UTRAN 21
Figure II.3 : Vue globale du réseau cœur EPC 22
Figure II.4 : Architecture de l'EPS – Les connectivités dans le plan usager et contrôle. 24
Figure II.5 : Différence entre UMTS et EPS sur le lien descendant du plan Usager. 26
Figure II.6 : Le modèle d'une interface E-UTRAN. 27
Figure II.7 : La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex. 29
Figure II.8: Le modèle de la couche PHY du Downlink Shared Channel. 31
Figure II. 9**:**La différence OFDMA et SC-FDMA……..……32
Figure II.10: Structure de la trame LTE……..…33
Figure II.11 : Le duplexage FDD……33
Figure II.12 : Le duplexage TDD. 33
Figure II.13 : Bloc de ressources 34
Figure II.14: Schéma représentatifs des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO 34

Figure III.1 : Processus de planification…….....37
Figure III.2 : Choix du modèle COST-Hata. 41
Figure III.3 : Lancement de l'outil ATOLL. 41
Figure III.4 : L'interface de démarrage d'ATOLL. 42
Figure III.5 : Choix de projet. 42
Figure III.6 : Importer la carte numérique d'Alger. 43
Figure III.7 : Zoom sur la Wilaya de Tlemcen. 43
Figure III.8 : Carte avec clutter classes et clutter height. 44
Figure III.9 : Zone géographique à planifier. 45
Figure III.10: Tableau représente la légende de Tlemcen ville. 45
Figure III.11 : Choix du système de coordonnées. 46
Figure III.12: Ajout des sites sur la zone sélectionnée. 47
Figure III.13 : Motif hexagonal. 47
Figure III.14 : Les caractéristiques d'antenne utilisée. 48
Figure III.15 : Choix de la bande de fréquence utilisée. 48

Figure III.16 : Lancement de la prédiction. 49
Figure III.17 : Différents types de prédictions. 50

Figure IV.1 : Optimisation de la couverture par niveau de signal. 57
Figure IV.2 : Statistique de l'optimisation de la couverture par niveau de signal. 57
Figure IV.3 : Optimisation de la couverture par débit : (a) en Uplink, (b) en Downlink. 59
Figure IV.4 : Statistique de l'optimisation de la couverture par débit : (a) en Uplink, (b) en Downlink…..60
Figure IV.5 : Comparaison entre les résultats de la couverture avant et après optimisation. 61
Figure IV.6 : L'état actuel des eNodeB existant dans la wilaya de Tlemcen. 62

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Exemples de systèmes cellulaires 1G..... ……...……6
Tableau I.2 : Les différentes générations des normes de téléphonie mobile ……17

Tableau III.1: Les bandes de fréquence FDD…….……38
Tableau III.2 : Les bandes de fréquences TDD. ..... ……..38
Tableau III.3 : Nombres de sites nécessaires dans quelques communes de Tlemcen…….….39

Tableau IV.1 : Latitude et longitude des sites à déplacer. 56
Tableau IV.2 : Coordonnées GPS des eNodeB de la wilaya de Tlemcen. 62

A

ACK: Acknowledgement.
AMC: Adaptive **M**odulation and **C**oding.
AMPS: Advanced Mobile Phone Service.
AMR: Adaptive **M**ulti-**R**ate.
AMRC : Accès Multiple à répartition de Code.
AMRF: Accès Multiple Répartition en Fréquence.
AMRT : Accès Multiple à répartition dans le Temps.
ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes.
ATM: Asynchronous Transfer Mode.

B

BCCH: Broadcast **C**ontrol **Ch**annel.
BCH: Broadcast **Ch**annel.
BER: Bit **E**rror **R**ate.
BPSK: Binary Phase Shift Keying
BSC: Base Station Controller.
BSS: Base Station Subsystem.
BTS: Base Transceiver Station.
BW: Band**w**idth.

C

CCCH: Common **C**ontrol **Ch**annel.
CDMA: Code Division Multiple Access.
CP: Cyclic **P**refix.
CPC: Continuous Packet Connectivity.
CQI: Channel **Q**uality **I**ndicator.
CRNC: Controlling Radio Network Controller.

D

DCHSDPA: Dual Carrier – HSDPA.
DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone.
DL: Downlink.
DL-SCH: Downlink Shared Channel.
DSL: Digital Subscriber Line.
DTCH: Dedicated **T**raffic **C**hannel.
DL-SCH: Downlink **Sh**ared.
DFT: Discrete **F**ourier **T**ransform.
DCCH: Dedicated Control Channel DL Downlink.

E

EDGE: Enhanced Data rates for GPRS Evolution.
E-AGCH: E-DCH Absolute Grant Channel carrying absolute grants.
E-DCH: Enhanced Dedicated Channel.
E-DPDCH: E-DCH Dedicated Physical Data Channel.
E-DPCCH: E-DCH Dedicated Physical Control Channel.
E-HICH: E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel carrying ACK/NACK.
E-RGCH: E-DCH Relative Grant Channel carrying relative grants.
E-TACS: Extent-Total Access Communication System.
E-TFCI: E-DCH Transport Format Combination Indicator.
E-UTRAN: Evolved UTRAN.
EPC: Evolved Packet Core.

EIRP: Effective **I**sotropic **R**adiation **P**ower.
EPS: Evolved Packet System.
ENB: Evolved **N**ode B.

F

FDD:frequency division duplex.
FDMA: Frequency Division Multiple Access.

G

GGSN: Gateway GPRS Support Node.
GMSC: Gateway Mobile Services Switching Center **GSM:** Global System for Mobile Communication.
GPRS: General Packet Radio Service.
GSM: Global System for Mobile communication.
GSN:GPRS support nodes.
3GPP: 3rd Generation Partnership Project

H

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request.
HSS: Home Subscriber Server.
HLR: Home Location Register.
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.
HSPA: High Speed Packet Access.
HSPA+: High Speed Packet Access+.
HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.
HSOPA: High Speed OFDM Packet Access.
HS-DSCH: High Speed Dedicated Shared Channel.
HS-SCCH: High Speed Shared Control Channel.
HS-PDCCH: High Speed Physical Dedicated Control Channel.
HS-PDSCH: High Speed Physical Dedicated Shared Channel.

I

IMEI: International Mobile Equipment Identity.
IMS: IP Multimedia Subsystem.
IMSI: International Mobile Subscriber Identity.
IMT-2000 : International Mobile Telecommunications - 2000 : Normes : spécifications techniques approuvées par un organisme reconnu à activité normative, pour application répétée ou continue.

J

JTACS: Japanese Total Access Communication System.

L

LTE: Long Term Evolution.

M

MBMS: Multimedia **B**roadcast **M**ulticast **S**ervice.
MCCH: **M**ulticast **C**ontrol **C**hannel.
MTCH: **M**ulticast **T**raffic **Ch**annel.
MCH: Multicast **Ch**annel.
MAC: Medium **A**ccess **C**ontrol.
MME: Mobility Management Entity.
MIMO: Multiple-Input Multiple-Output**.**
MMS: Multimedia Message Service.
MISO: Multiple **I**nput **S**ingle **O**utput.

Rapport-Gratuit.com

MSC: Mobile Switching Center.

N

NMT-450: Nordic Mobile Telephone.
NMT-900: Nordic Mobile Telephone.
Les valeurs numériques indiquent les bandes de fréquences utilisées. Le NMT-900 fut introduit en 1986 car il supportait plus de canaux que le précédent réseau NMT-450.
NTT: Nippon Telegraph and Telephone Corporation.
NTACS: Narrowband JTACS.
NSS: Network Station Subsystem.
Nack: Negative Acknowledgement.

O

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

P

PTP : Services point à point.
PTMP: Services point à multipoint.
P-CSCF: Proxy CSCF
P-GW: Packet Data Network Gateway
PAPR: Peak-to-Average Power Ratio
PCRF: Policy Control and Charging Rules Function
PDCP: Packet Data Convergence Protocol.
PS: Packet Switched.
PSTN: Public Switched Telephone Network.

Q

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.
16QAM: Quadrative Amplitude Modulation.
QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.
QoS: Quality of Service.

R

RLC: Radio Link Control.
RNC: Radio Network Controller.
RSN: Retransmission SequenceNumber.
Rdiocom2000: est le réseau de téléphonie mobile français lancé en 1986.
RACH: Random Access Channel.

S

SMS: Short Message Service.
SIM: Subscriber Identity Module.
SGSN: Serving GPRS Support Node.
SGSN: Serving GPRS Support Node.
SAE: System **A**rchitecture **E**volution.
SC: **S**ingle **C**arrier.
SINR: **S**ignal **I**nterferance-plus-**n**oise **R**atio.
S-GW: Serving **G**ate**w**ay.
SIMO: Single **I**nput **M**ultiple **O**utput.
SISO: Single **I**nput **S**ingle **O**utput.
SNR: Signal to **N**oise **R**atio.
S-SCH: **S**econdary **S**ynchronization **Ch**annel.
SC-FDMA: Single Carrier – Frequency Division Multiple Access.

T

TACS: Total Access Communication System.
TDMA: Time Division Multiple Access.
TDD: time division duplex.
TDM: Time Division Multiplexing.
TTI:Transmission Time Interval.

U

UAProf: User Agent Profile.
UMTS : Universal Mobile Telecommunication System.
UMTS Forum : forum sur l'UMTS regroupant des industriels et des opérateurs mobiles
UTRAN : UMTS Terrestrial Radio Access Network : réseau d'accès UMTS.
UIT : Union Internationale des Télécommunications.
UE: User **E**quipment.
UL: Up**l**ink.
UML: Unified **M**odeling **L**anguage.
UL-SCH: **U**p**l**ink **S**hared **ch**annel.
UMB: Ultra Mobile Broadband.

V

VOIP : la voix sur réseau IP, également appelée téléphonie IP ou téléphonie sur Internet, est l'une technique qui permet de communiquer par voix à distance via le réseau Internet, ou tout autre réseau

W

WCDMA: Wideband-Code Division Multiple Access.
WAP: Wireless Application Protocol.
WGS 84: World Geodetic System 1984.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le réseau radio mobile est aujourd'hui un domaine en pleine effervescence. Pendant la dernière décennie, les évolutions de télécommunications ont explosé une nouvelle gamme de service qui a écarté les services classiques à fin de satisfaire l'augmentation du nombre des utilisateurs et les exigences de taux de données élevés.

Cette motivation, laisse les générations mobiles se succèdent et se développent de la technologie GSM vers un système de paquets tout IP optimisé dénommé LTE (Longue Term Evolution).

Algérie télécom se trouve, devant ces technologies, obliger de répondre à la croissance continue du trafic, avec une faible latence, une meilleure fiabilité, et une meilleure efficacité spectrale par rapport à les précédentes générations.

Ces exigences ont stimulé les évolutions réseaux pour mettre aujourd'hui le premier pas vers la quatrième génération avec LTE. Une problématique se pose pourquoi la technologie LTE ?

Plusieurs raisons ont poussé le groupe 3GPP à élaborer la norme LTE parmi lesquelles on peut citer :

- La demande croissante de débit et de qualité de service.
- La nécessité d'assurer la continuité de la compétitivité du système 3G vis-à-vis des technologies concurrentes (WiMAX).
- L'optimisation des systèmes à commutation de paquets.
- La réduction de la complexité

A ce stade, ils doivent réduire le cout d'investissement et augmente la qualité de service pour assurer la rentabilité.

Pour le faire il doit passer par les phases primordiales : dimensionnement et planification, et enfin une optimisation qui consistent à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées, ce qui garantit une étude fiable du réseau avant la réalisation.

La planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser de façon optimale, en respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Ce processus qui peut être a la fois long et couteux a lieu avant la mise en opération du réseau.

Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G) et de troisième génération (3G), une série de recherches ont été menées et visent à minimiser les couts des équipements, tout en maintenant une communication de qualité et une capacité élevée.

Toutefois, ces dernières années, les recherches portent surtout sur l'analyse des réseaux de quatrième génération (4G), dont l'objectif est d'offrir toute une gamme de services (l'accès rapide à l'Internet, le commerce électronique, la vidéo conférence, la télémédecine, l'apprentissage à distance, etc.) ayant chacun ses caractéristiques et contraintes particulières

C'est dans ce cadre, se déroulera notre projet fin d'étude effectué en collaboration avec Algérie Télécom et Orascom télécom Algérie – Oran-. Au cours de notre rapport, nous avons quatre chapitres à mettre en œuvre.

Nous entamerons le travail par un premier chapitre généralité sur les réseaux cellulaires et les étapes majeures du développement des réseaux mobiles, de leurs premiers pas à leurs dernières évolutions.

Une deuxième partie permet de présenter la génération 3.9 (LTE). Elle sera consacrée pour détailler son architecture et les différents protocoles et interfaces.

La partie suivante nous élaborons la planification du réseau LTE du début jusqu'à la fin, toutes les étapes et toutes les méthodes qu'il faut faire pour avoir un nombre bien définis de sites pour atteindre les besoins des abonnées et ensuite la création des sites. Ainsi, nous validons notre solution par une simulation avec ATOLL qui est un logiciel professionnel à destination des opérateurs, commercialisé par la société Forsk.

Ensuite nous optimisons le résultat donné par ATOLL afin d'obtenir une meilleures couverture dont ces trois phases (optimisation de couverture par qualité, par transmission et par débit), on satisfait tous les besoins des clients et on minimise des dépenses de capital et des couts d'exploitation en réduisons le nombre des sites mais en garde toujours une bonne couverture.

Et enfin, une conclusion récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LES RESAUX CELLULAIRES

I.1 INTRODUCTION :

La téléphonie cellulaire n'est rien d'autre qu'un système de communication sans support matériel ayant pour but d'assurer la communication entre les abonnés mobiles par la présence des stations radio formant ainsi des cellules.

La téléphonie révolutionna nos moyens de communiquer permettant enfin de dialoguer à longue distance. Malgré des débuts difficiles, la téléphonie était devenue au même titre que l'eau courante ou l'électricité un service de base. Avec les progrès de l'informatique et des codages numériques, une nouvelle génération se profile ; la télécommunication mobile devenant ainsi un service de masse.

Ce chapitre présente, dans un premier temps, les étapes majeures du développement des réseaux mobiles, de leurs premiers pas dans les années 1970 à leurs dernières évolutions. Avant ça nous allons d'écrire de façon général le réseau radio mobile ou d'autre terme réseau cellulaire.

I.2 DEFINITION D'UN RESEAU CELLELULAIRE :

Par définition, un réseau cellulaire est un système de télécommunication qui doit répondre aux contraintes de la mobilité de l'abonné dans le réseau, par l'étendue du réseau et par les ondes radio qui lui sont allouées.

Un système de réseau cellulaire couvre l'ensemble d'infrastructures spécialement destinées aux équipements d'acheminement de communication vers les mobiles et où les ondes radio, dans le cas d'un réseau cellulaire servent de lien entre le terminal de l'abonné et l'infrastructure de l'opérateur [1].

I.2.1 Radio téléphonie cellulaire :

Un système de radiotéléphonie mobile autrefois analogique et maintenant numérique assurant la totalité des services proposés par le réseau fixe, plus celui de la mobilité: possibilité de maintenir une communication en cours de déplacement (hand over) et la possibilité d'appeler et d'être appelé lorsque l'on se trouve à l'étranger (Roaming international) [1].

I.2.2 Concept cellulaire :

L'introduction de concept cellulaire amène le grand progrès et la nouvelle technique pour remédier aux inconvénients laissés par la téléphonie classique. La téléphonie cellulaire rassemble tous les postes radio à deux canaux, l'un pour l'émission et l'autre pour la réception en évitant les interférences probables.

Le concept cellulaire permet aussi d'atteindre des capacités importantes illimitées au moyen d'un grand nombre des stations radio dont chacune couvre une surface géographique appelée « *cellule* ».

Ce concept consiste à diviser un territoire en cellules dont chacune est couverte par une station radio ou station de base (BTS) du réseau. Et ainsi la réutilisation d'une même fréquence

que celle des cellules différentes, c'est-à-dire qui sont adjacentes ou sécantes afin d'éviter les phénomènes d'interférences sur le signal utile reçu par le terminal mobile pour la station de base [1].

I.3 EVOLUTIONS DES RESEAUX CELLULAIRES :

Les systèmes mobiles comptent déjà un certain nombre d'évolution qui ont été marquées par la progression des techniques d'accès adoptés. Dans cette section, nous présentons rapidement les différentes générations de réseaux mobiles ainsi que les méthodes d'accès adoptés.

I.3.1 La première génération (1G) :

Apparue au début des années 1970, la première génération opérait dans la bande de fréquence 890- 915 MHZ et 953-960 MHZ. Cette génération comprenait des systèmes et des plates-formes de communications analogiques essentiellement dédiés à la transmission de la voix.

Le qualificatif analogique caractérise la méthode utilisée pour véhiculer l'information sur ces systèmes. Les concepts clés de cette génération sont la réutilisation de fréquence, à travers l'utilisation de la technique d'accès réseau AMRF (Accès Multiple Répartition en Fréquence).

Dans le cas de cette techniques d'accès, les terminaux mobiles partagent la bandes de fréquences disponible en allouant une partie de cette bande, appelées canal de trafic à chaque unité mobile. Des limites de capacité et de fiabilité ont caractérisé cette première génération, certains systèmes qui l'ont marqué sont présentés dans le tableau (I.1) à travers la spécification des bandes de fréquences allouées sur les liens montant et descendant ainsi que la largeur du canal de transmission et la zone géographique de déploiement [2].

La première génération de téléphonie mobile (notée 1G) possédait un fonctionnement analogique et était constituée d'appareils relativement volumineux. Il s'agissait principalement des standards suivants :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux Etats-Unis, constitue le premier standard de réseau cellulaire. Utilisé principalement Outre-Atlantique, en Russie et en Asie, ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.
- **TACS** (Total Access Communication System) est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).
- **ETACS** (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS développé au Royaume-Uni utilisant un nombre plus important de canaux de communication [3].

Système	Bande Dsc	Bande Mnt	Canal	Région
AMPS	824-849	869-894	30	US
TACS	890-915	935-960	25	EU
E-TACS	872-905	917-950	25	UK
NMT-450	453-457.5	463-467.5	25	EU
NMT-900	460-465.5	935-960	12.5	EU
C-450	460-465.5	460-465.5	10	Allemagne, Portugal
RMTS	450-455	460-465	25	Italie
Rdiocom2000	192.5-199.5 215.5-233.5 165.2-168.4 414.8-418	200.5-200.5 207.5-215.7 169.8-173 424-428	12.5	FRANCE
NTT	925-940 915-918.5 922-925	870-885 860-863.5 867-870	25/6.25 6.25 6.25	Japan
JTACS/NTACS	915-925 898-901 918.5-922	860-870 843-846 863.5-867	25/12.5 25/12.5 12.5	Japan

Tableau I.1 : *Exemples de systèmes cellulaires 1G [2].*

Ces systèmes devaient offrir un service de téléphonie en mobilité. Ils ne parvinrent pas à réellement franchir les frontières de leurs pays d'origine et aucun système ne s'imposa en tant que véritable norme internationale.

Cette hétérogénéité résultait principalement des cloisonnements nationaux en vigueur à l'époque dans le domaine des télécommunications. Elle impliquait de fait l'incompatibilité des systèmes et l'impossibilité d'itinérance internationale (aussi appelée *roaming*). Cet échec relatif fut primordial dans la reconnaissance par les différents pays de la nécessité de définir des normes de téléphonie mobile à l'échelle internationale [3]. Les réseaux cellulaires de première génération ont été rendus obsolètes avec l'apparition d'une seconde génération entièrement numérique.

I.3.2 La deuxième génération (2G) :

Apparue au début des années 90, elle caractérise, de façon générale, les systèmes mobiles numériques. L'usage de la technologie numérique a en effet, permis résoudre les problèmes de capacité et de sécurité inhérents aux systèmes 1G. Les performances affichées permettent de supporter certain service mais demeurent insuffisantes quant aux applications avancées.

Nous ne retiendrons ici que les trois instances qui connaissent le plus de sucées :

- **IS-136** (AMPS numérique) et le **GSM** : fondés sur la technique d'accès AMRT (Accès Multiple à répartition dans le Temps) qui consiste à diviser la bande de fréquence disponible en canaux. Ces canaux sont répartis en un certain nombre de tranches de temps. On attribue ainsi à chaque utilisateur une tranche de temps qui permet l'accès au canal pour la durée de cette tranche de temps.
- **IS-95 CDMA** : basée sur la technique d'accès CDMA ou encore AMRC (Accès Multiple à répartition de Code) qui consiste à attribuer à chaque terminal mobile un identifiant unique qui lui permet d'accéder au système [2].

Ces systèmes, dans leurs versions initiales, donnaient accès au service voix en mobilité, mais aussi aux messages textes courts plus connus sous le nom de SMS (*Short Message Service*). En complément, ces systèmes permettaient des transferts de données à faible débit. Les progrès technologiques réalisés dans la conception de circuits hyperfréquences et de dispositifs de traitement numérique du signal permirent une réduction drastique de la taille des terminaux, autorisant une réelle mobilité [2].

I.3.2.1 Le standard GSM :

a) Présentation du standard GSM :

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée « Global System for Mobile communications » en 1991.

En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande (parfois noté tri-bande), les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour Multimedia Message Service).

b) Architecture du réseau GSM

Dans un réseau GSM, le terminal de l'utilisateur est appelé station mobile. Une station mobile est composée d'une carte SIM (Subscriber Identity Module), permettant d'identifier l'usager de façon unique et d'un terminal mobile, c'est-à-dire l'appareil de l'usager (la plupart du temps un téléphone portable).

Rapport-Gratuit.com

Les terminaux (appareils) sont identifiés par un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé IMEI (International Mobile Equipment Identity). Chaque carte SIM possède également un numéro d'identification unique (et secret) appelé IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Ce code peut être protégé à l'aide d'une clé de 4 chiffres appelés code PIN.

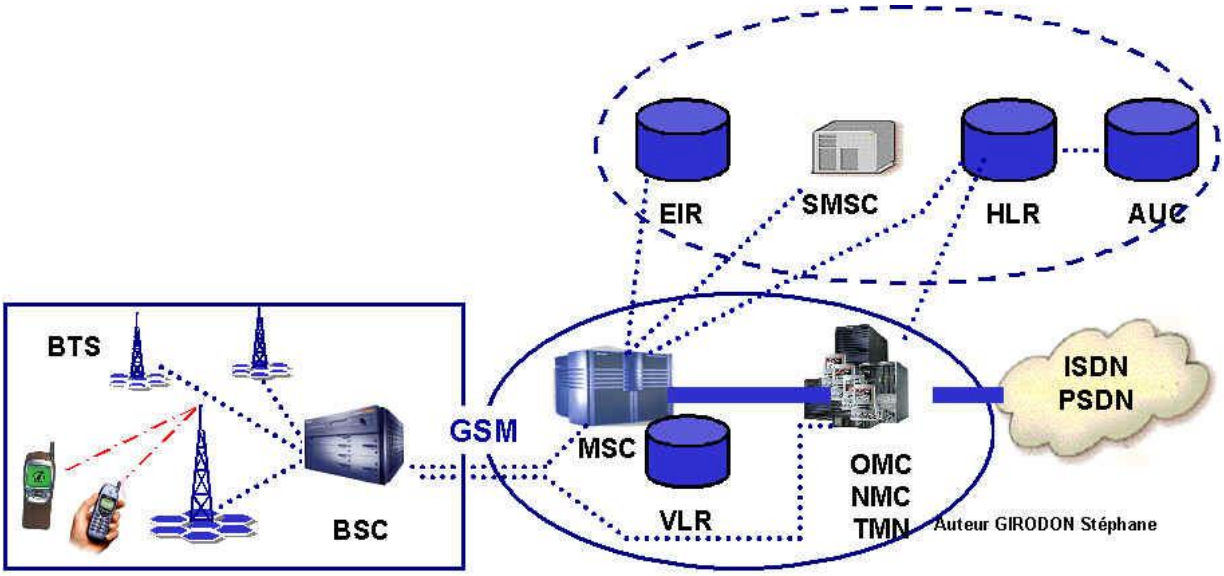


Figure I.1: *Architecture du réseau GSM.*

La carte SIM permet ainsi d'identifier chaque utilisateur, indépendamment du terminal utilisé lors de la communication avec une station de base. La communication entre une station mobile et la station de base se fait par l'intermédiaire d'un lien radio, généralement appelé interface air (ou plus rarement interface Um). L'ensemble des stations de base d'un réseau cellulaire est relié à un contrôleur de stations (en anglais Base Station Controller, noté BSC), chargé de gérer la répartition des ressources. L'ensemble constitué par le contrôleur de station et les stations de base connectées constituent le sous-système radio (en anglais BSS pour Base Station Subsystem).

Enfin, les contrôleurs de stations sont eux-mêmes reliés physiquement au centre de commutation du service mobile (en anglais MSC pour Mobile Switching Center), géré par l'opérateur téléphonique, qui les relie au réseau téléphonique public et à internet. Le MSC appartient à un ensemble appelé sous-système réseau (en anglais NSS pour Network Station Subsystem), chargé de gérer les identités des utilisateurs, leur localisation et l'établissement de la communication avec les autres abonnés. Le réseau cellulaire ainsi formé est prévu pour supporter la mobilité grâce à la gestion du handover, c'est-à-dire le passage d'une cellule à une autre. Finalement, les réseaux GSM supportent également la notion d'itinérance (en anglais *roaming*), c'est à-dire le passage du réseau d'un opérateur à un autre [2].

I.3.3 La génération (2.5G) :

La rencontre des deux domaines, Internet et les systèmes de communication, a permis d'étendre leurs perspectives conjointement.

- D'une part, les terminaux mobiles peuvent se doter de la capacité de se connecter à la toile sans restriction de débit, de temps ou de lieu.
- D'autre part, Internet et ses services dérivés peuvent être exploités par des usagers mobiles.

Cette génération n'est donc que le fruit de l'évolution de la deuxième génération et le GPRS (General Packet Radio Service) constitue un exemple typique de l'évolution du GSM en adoptant des méthodes de modulation de haut niveau et des techniques de codage efficace dans le cadre de la méthode d'accès AMRT pour offrir des débit nettement plus intéressants [2].

Les principaux standards de téléphonie mobile 2G+ sont les suivants :

- **GPRS** (**General Packet Radio Service**) est une norme pour la téléphonie mobile dérivée du GSM permettant un débit de données plus élevé. On le qualifie souvent de 2,5G. Le G est l'abréviation de *génération* et le 2,5 indique que c'est une technologie à mi-chemin entre le GSM (2^{e}génération) et l'UMTS (3e génération) [2].
- **EDGE (Enhanced Data Rates for GPRS Evolution)** est une norme de téléphonie mobile, une évolution du GPRS [2].

I.3.3.1 Le standard GPRS :

a) Présentation du standard GPRS

Le standard GPRS (*General Packet Radio Service*) est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation GSM++ (ou GMS 2+). Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2.5G pour classifier le standard GPRS [4].

Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s). Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire.

Le standard 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. Ainsi, le standard GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment internet) utilisant le protocole IP ou le protocole X.25.

Le GPRS permet de nouveaux usages que ne permettait pas la norme GSM, généralement catégorisés par les classes de services suivants :

- Services point à point (PTP), c'est-à-dire la capacité à se connecter en mode client/serveur à une machine d'un réseau IP,

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Services point à multipoint (PTMP), c'est-à-dire l'aptitude à envoyer un paquet à un groupe de destinataires (*Multicast*).
- Services de messages courts (SMS)
- La notion de Qualité de Service (noté QoS pour Quality of Service), c'est-à-dire la capacité à adapter le service aux besoins d'une application

b) Architecture du GPRS

L'intégration du GPRS dans une architecture GSM nécessite l'adjonction de nouveaux nœuds réseau appelés GSN (GPRS Support Nodes) situés sur un réseau fédérateur (back one) :

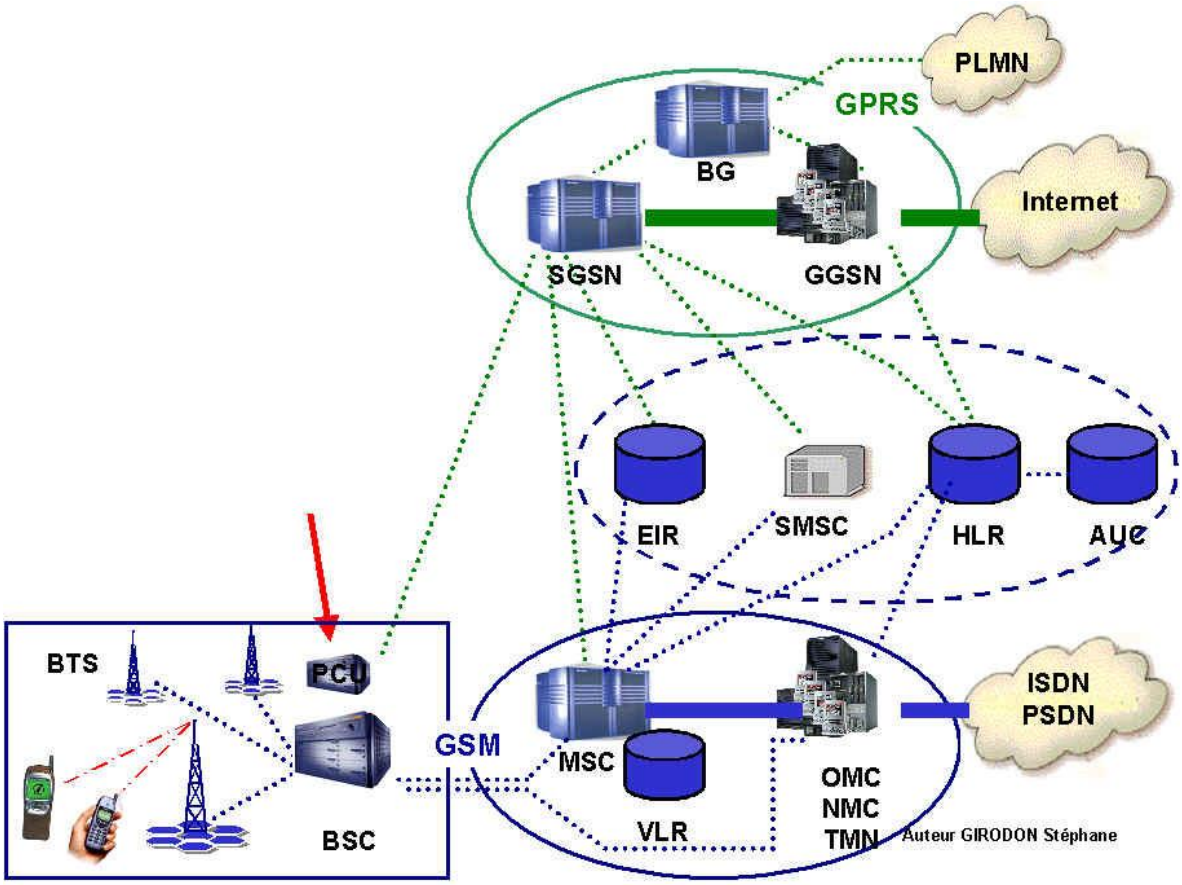


Figure I.2 : *Architecture du réseau GPRS* [5].

- le SGSN (Serving GPRS Support Node, soit en français Nœud de support GPRS de service), routeur permettant de gérer les coordonnées des terminaux de la zone et de réaliser l'interface de transit des paquets avec la passerelle GGSN [5].
- le GGSN (Gateway GPRS Support Node, soit en français Noeud de support GPRS passerelle), passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le GGSN est notamment chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion [5].

I.3.3.2 Le standard EDGE :

Le standard EDGE (Enhanced DataRates for GSM Evolution.) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE.

L'EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM (EDGE utilise la modulation 8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.

L'EDGE permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kbit/s pour les stations fixes (piétons et véhicules lents) et jusqu'à 144 kbit/s pour les stations mobiles (véhicules rapides) [5].

I.3.4 La troisième génération (3G) :

Cette génération a été conçue dans l'objectif de mettre les systèmes mobiles de deuxième génération en phase avec le marché en vue de faire face à l'émergence de l'internet à haute vitesse et du multimédia, en passant par l'amélioration des méthodes d'accès radio. Les réseaux appartenant à cette génération sont supposés être capables d'offrir un large éventail de services (données haute vitesse et multimédia) et opéreront dans la bande de fréquence de 2 GHz. L'organisme de standardisation IMT-2000 est destiné à former la base des systèmes mobiles de 3G qui consolidera les environnements mobiles incompatibles d'aujourd'hui en une infrastructure et radio continue [5].

La version européenne de l'IMT-2000 s'appelle UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Aux Etats-Unis, le standard est plutôt connu sous l'appellation de CDMA-2000. Les systèmes 3G sont caractérisés par les propriétés suivantes :

- Une grande souplesse pour intégrer les services et les applications évoluées.
- Une performance de débit offert atteignant 144 Kbps et même 384 Kbps.

La 3G est une norme technologique pour les téléphones mobiles et les ordinateurs portables, au même titre que les normes GSM ou EDGE. Elle est une évolution de ces dernières, puisqu'elle permet d'obtenir un débit de données plus important. La technologie 3G et 3G+ vous permet de profiter du très haut débit sur votre téléphone mobile ou sur votre PC portable. Vous pourrez ainsi accéder à la visiophonie, à la TV, ou plus simplement profiter d'un accès internet performant et confortable.

Il existe plusieurs formes de 3G dans le monde, le CDMA2000 surtout présent aux Etats-Unis, l'UMTS reposant sur les fondations du GSM en Europe et un dernier venu, qui n'est pas encore déployé commercialement : le TD-SCDMA chinois, demi-frère asiatique de l'UMTS, dont il partage certaines caractéristiques [3].

I.3.4.1 Le réseau UMTS :

L'UMTS repose sur la technique d'accès multiple W-CDMA, une technique dite à étalement de spectre, alors que l'accès multiple pour le GSM se fait par une combinaison de division temporelle TDMA et de division fréquentielle FDMA. (UMTS forum, 2010)

Lors de la CAMR de 1992 organisée par l'UIT à Torremolinos (province de Málaga en Espagne), les bandes suivantes avaient été désignées pour le système IMT-2000 (exploité sous le nom UMTS en France) :

- Duplex temporel TDD : 1 885,00 à 1 920,00 MHz (bande de 35 MHz) et 2 010,00 à 2 025,00 MHz (bande de 15 MHz) ;
- Duplex fréquentiel FDD : 1 920,00 à 1 980,00 MHz (uplink de 60 MHz) et 2 110,00 à 2 170,00 MHz (downlink de 60 MHz) ;
- Bandes satellites : 1 980,00 à 2 010,00 MHz (uplink de 30 MHz) et 2 170,00 à 2 200,00 MHz (downlink de 30 MHz).

La bande passante d'un canal est de 5 MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz. Les attributions de bandes en France sont réglementées par la décision no 00-0835 de l'ARCEP en date du 28 juillet 2000. Le texte a été publié au JORF sous la référence NOR ARTL0000422V.

Comme prévu par l'ARCEP lors de l'attribution des licences (en 2001 et 2002), la bande des 900 MHz actuellement utilisée pour le GSM sera réallouée à la 3G prochainement, avec une possible redistribution des fréquences si un 4e opérateur est retenu pour la dernière licence. (ARCEP, 2011)

a) Débits :

L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbits/s, mais fin 2004 les débits offerts par les opérateurs dépassent rarement 384 Kbits/s. Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 Kbits/s. Le débit est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de l'utilisateur :

- en zone rurale : 144 Kbits/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.) ;
- en zone urbaine : 384 Kbits/s pour une utilisation piétonne ;
- dans un bâtiment : 2 000 Kbits/s depuis un point fixe.

b) Application et services :

Grâce à sa vitesse accrue de transmission de données, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux. L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo.

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande, Télévision.

L'UMTS connaît deux évolutions majeures que nous présentons brièvement dans les sections suivantes :

- Le HSPA (*High Speed Packet Access*) ;
- Le HSPA+ (*High Speed Packet Access+*).

I.3.4.2 HSPA :

Les évolutions HSPA, aujourd'hui connues commercialement sous le nom de 3G+, furent introduites :

- HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) pour la voie descendante ;
- HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) pour la voie montante.

a) HSDPA, encore plus que la 3G :

De la même façon que les réseaux 2G ont connu une évolution en débits entre le mode GPRS et l'amélioration EDGE, les réseaux 3G UMTS ont un mode amélioré qualifié de **3,5G** (ou 3G+ chez certains opérateurs) sous la forme de la technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).

Le High Speed Downlink Packet Access (abrégé en HSDPA) est un protocole pour la téléphonie mobile parfois appelé 3,5 G, 3G+, ou encore turbo 3G dans sa dénomination commerciale. Il offre des performances dix fois supérieures à la 3G (UMTS R'99) dont il est une évolution logicielle. Cette évolution permet d'approcher les performances des réseaux DSL (Digital Subscriber Line). Il permet de télécharger (débit descendant) théoriquement à des débits de 1,8 Mbit/s, 3,6 Mbit/s, 7,2 Mbit/s et 14,4 Mbit/s. Il est basé sur la technologie de communication WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) définie par la norme WCDMA 3GPP Rel. 99 (3rd Generation Partnership Project Release 99). Il est le lien descendant du réseau vers le terminal à haut débit en mode paquets [5].

Elle est une amélioration radio du lien descendant qui permet d'offrir du très haut débit en téléchargement (jusqu'à 14,4 Mbps en théorie, 3,6 Mbps en pratique avec la *Release* 5. Avec la Release 6, le débit passe à 7,2 Mbps). Pour les transferts en voie montante, c'est le canal DCH de l'UMTS qui est utilisé (128 kbps en *Release* 5, 384 kbps en *Release* 6).

b) La technologie HSUPA :

Après l'HSDPA, la technologie HSUPA permet aux utilisateurs de téléphonie mobile de troisième génération de transmettre des contenus multimédias volumineux. L'accès à internet à haute vitesse via des mobiles est le défi des opérateurs pour ces prochaines années. Les utilisateurs devenant de plus en plus mobiles, les réseaux de téléphonie mobile doivent devenir aussi performants que les accès à internet par le réseau fixe. Si en l'an 2000, tout le monde pensait que la téléphonie mobile de troisième génération (3G ou UMTS) allait ouvrir la voie à la vidéoconférence, en 2007, après le flop de

cette application, les vrais besoins se sont révélés être dans l'échange de données entre mobile et fixe et vice-versa.

Le Consortium 3GPP, lancé en 1998, a anticipé les attentes des utilisateurs et a publié les spécifications de la technologie HSUPA dans la « *Release 6* » du standard UMTS. Ces nouvelles définitions font suite aux spécifications HSDPA dans la série HSPA. Pour sa part, le réseau de quatrième génération risque fort d'être basé sur la norme à venir HSOPA.

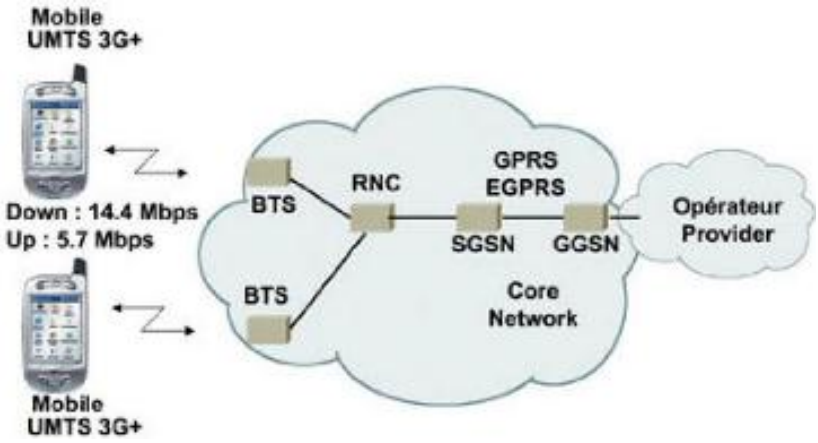


Figure 1.3 : *L'évolution vers l'***HSUPA** *(3G+)* [5].

L'architecture de l'HSUPA est conçue sur plusieurs principes dont l'Uplink Scheduling. Cet « UplinkScheduler » est situé dans le NodeB (Interface air - fixe du réseau UMTS) comme le « DownlinkScheduler » de la technologie HSDPA. La tâche de ce « Scheduler » est de contrôler les ressources montantes (de l'utilisateur au réseau) de chaque mobile demandeur et, si nécessaire, de limiter ou de bloquer certains trafics. Le mécanisme est basé sur la gestion de la disponibilité absolue ou relative. La part absolue est utilisée à l'initialisation du processus alors que la part relative est utilisée pour augmenter ou diminuer la puissance utilisée.

Le second principe est le protocole HARQ, employé pour effectuer une retransmission robuste lors d'erreurs de transmission. Ce protocole est utilisé par le NodeB qui, en cas d'erreurs dans la réception des paquets de données, peut demander la retransmission de ceux-ci. Pour chaque paquet reçu, le NodeB enverra un accusé de réception ACK dans le cas d'une réception sans erreur ou NACK dans le cas contraire.

Pour répondre aux besoins de certaines applications critiques, l'architecture HSUPA permet une réduction de l'intervalle du temps de transmission à 2 millisecondes, correspondant à 3 «Timeslots» contre 10 millisecondes normalement dans un lien radio standard composé de 5 «subframes». Toutefois, cette réduction de temps n'est pas obligatoire dans cette technologie.

I.3.4.3 Les évolutions HSPA + :

L'HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :

- les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;
- la gestion des utilisateurs *always-on.*

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008). L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voiedescendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateursur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DCHSDPA (*Dual Carrier – HSDPA*). Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés. De plus, lalargeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales.

La fonctionnalité MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) est également introduite pour améliorerles débits en voie descendante. Les utilisateurs *always-on* sont mieux pris en compte via des fonctionnalités regroupées sous le terme de CPC (*ContinuousPacketConnectivity*). Le HSPA+ intègre enfin une option d'architecture qui réduit la latence du système via la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données. Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G [5].

I.3.5 La quatrième génération (4G) :

I.3.5.1 Réseau LTE :

Dans l'industrie des télécommunications**,** LTE (Long Term Evolution) est le nom d'un projet au sein du 3GPP qui vise à produire les spécifications techniques de la future norme de réseau mobile de quatrième génération (4G).

Les réseaux mobiles de troisième génération actuels s'appuient sur le standard UMTS, dont les performances ont évolué depuis 2002 pour atteindre dans un premier temps des débits moyens de l'ordre de 250 Kbit/s. Avec la technologie HSDPA, évolution de l'UMTS, le débit crête théorique atteint 14 Mbit/s. Avec la quatrième génération, les industriels et les opérateurs cherchent à faire passer les débits aux alentours de 40 Mbits/s à l'horizon 2015-2016, 80 Mbits/s et peut être plus à plus long terme. On devrait donc atteindre des débits proches de ceux disponibles dans le fixe avec la fibre optique, avec la nuance que la bande passante sera mutualisée entre tous les utilisateurs présents simultanément dans la zone considérée.

L'état actuel du standard stipule :

- un débit enodB vers client (descendant) maximum de 326.4 Mbits/sec. (avec 4 antennes (MIMO)) et 172.8 Mbits/sec. (avec 2 antennes) pour chaque tranche de 20 MHz de spectre.

- un débit client vers enodB (ascendant) maximum de 86.4 Mbits/sec. pour chaque tranche de 20 MHz de spectre.
- le support de 200 clients actifs par cellule et par tranche de 5 MHz de spectre.
- une latence inférieure à 5 millisecondes pour les paquets IP de petit format.
- une flexibilité accrue dans l'attribution du spectre de fréquence (1,4 MHz jusqu'à 20 MHz). contrairement aux systèmes actuels où l'allocation se fait par tranche fixe de 5 MHz créant de nombreux problèmes de coexistence entre systèmes concurrents.
- taille des cellules de 5 km avec performances optimales, 30 km avec performances raisonnables et 100 km avec performances acceptables.
- coexistence avec les standards actuels, les clients pouvant passer d'un standard à un autre sans interruption de la communication ni intervention manuelle et ce d'une manière tout à fait transparente [5].

I.3.5.2 LTE-Advanced :

LTE-Advanced est une norme de réseau de téléphonie mobile de quatrième génération définie par l'organisme de normalisation 3GPP qui fait partie (avec le Gigabit WiMAX) des technologies réseaux retenues par l'Union internationale des télécommunications (UIT) comme norme 4G IMT-Advanced ; il représente la « vraie » 4G.

Le LTE Advanced, dont la normalisation de la première version (normes 3GPP release 10 - version 10), s'est achevée fin 2011 au sein de l'ETSI et du 3GPP est une évolution de la norme LTE qui lui permet d'atteindre le statut de « véritable norme 4G », tout en gardant une compatibilité ascendante complète avec le LTE, au niveau des terminaux (smartphones, tablettes, clés 4G) et au niveau du réseau, grâce aux fréquences identiques et aux codages radio (OFDMA et SC-FDMA) qui sont ceux déjà utilisés dans les réseaux LTE (accès radio EUTRAN).

Le LTE-Advanced sera capable de fournir des débits pics descendants (téléchargement) supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et à plus de 100 Mb/s pour un terminal en mouvement, grâce aux technologies réseaux intelligentes3 qui permettent de maintenir des débits plus élevés en tout point de la cellule radio, alors qu'ils baissent fortement en bordure des cellules UMTS et LTE [2].

Le tableau suivant présente les différentes générations des normes de téléphonie mobile :

Génération	Acronyme	Intitulé
1G	Radiocom 2000 NMT	Radiocom 2000 France Telecom Nordic Mobile Telephone
2G	GSM CDMA	Global System for Mobile Communication Code Division Multiple Access
2.5G	GPRS	General Packet Radio Service
2.75	EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution
3G	CDMA 20001Xev UMTS, WCDMA	Code division multiple access 2000 1x Evolution Universal Mobile Telecommunications System
3.5G (3G+)	HSDPA HSUPA	High Speed Downlink Packet Access (14,4 MBIT/S) High Speed Uplink Packet Access
3.75G	HSPA+	Evolution du « High Speed Packet Access »(21Mbit/s à 84Mbit/s : MIMO 2x2)
3.9G	LTE	Long Term Evolution(HIGH Speed OFDM packet Access)
4G	LTE Advanced	Perfoctionnement du «Long Term Evolution

Tableau I.2 : *Les différentes générations des normes de téléphonie mobile [2].*

I.4 CONCLUSION :

L'histoire des réseaux mobiles est jalonnée par trois étapes principales, auxquelles on donne couramment le nom de génération. On parle des première, deuxième et troisième générations de réseaux mobiles, généralement abrégées respectivement en 1G, 2G et 3G. Ces trois générations diffèrent principalement par les techniques mises en œuvre pour accéder à la ressource radio. L'évolution de ces techniques est guidée par la volonté d'accroître la capacitéainsi que les débitsofferts par le système dans une bande de fréquences restreinte. D'autres candidats, comme LTE (Long Term Evolution) ou 4G préparent également la période de ceux que certains appellent déjà la Super 3G.

Donc, dans ce chapitre on a présenté des généralités sur les différents réseaux cellulaires, et on a observé une amélioration remarquable dans le débit après chaque réseau qui apparut et aussi l'évolution dans la qualité de communication, surtout après l'apparition de UMTS. Dans le chapitre suivant on va étudier un réseau très important qui donne à le monde un saute vers le téléchargement assez rapide des données c'est le réseau LTE.

Rapport-Gratuit.com

CHAPITRE 2

LE RESEAU DE LA QUATRIEME GENERATION LTE

II.1 INTRODUCTION :

Dans le premier chapitre nous avons décrit les étapes majeures du développement des réseaux mobiles et son évolution dans le temps pour arriver au LTE. Ces rappels permettront de mieux appréhender le contexte d'émergence du LTE (*Long Term Evolution*), qui constitue un système dit de quatrième génération.

L'évolution à long terme est l'équivalent français du terme anglais LTE. Elle désigne un projet réalisé par l'organisme de standardisation 3GPP ouvrant à rédiger des techniques qui permettront d'améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux futures évolutions technologiques. Les buts poursuivis pour le LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permettra le transfert des données à très haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élève que dans l'UMTS et une latence plus faible.

Ce chapitre a pour but d'une part décrire l'architecture globale du réseau, en incluant non seulement le réseau cœur et le réseau d'accès, mais aussi d'autres blocs avec leurs caractéristiques, et cela dans le but de montrer la relation entre eux. Et d'autre part, les interfaces radio et interfaces protocolaires.

II.2 ARCHITECTURE GENERALE DU RESEAU LTE :

La figure ci-dessous décrit l'architecture globale du réseau LTE, en incluant non seulement le réseau Cœur et le réseau d'accès, mais aussi d'autres blocs, et cela dans le but de montrer la relation entre eux. Pour une simplification, la figure montre seulement les interfaces de signalisation. Dans des cas, les deux (signalisation et DATA) sont supportés par les interfaces (comme S1, S2 ou 3G PS Gi interfaces) mais, dans d'autres cas les interfaces sont dédiés pour les plans de contrôle, et ne supportent que la signalisation (comme les interfaces S6 et la S7).

Les nouveaux blocs spécifiés pour le LTE, connu aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN).

D'autres blocs sont également affichés, comme l'UTRAN (le réseau d'accès de l'UMTS), les deux parties PS et CS du réseau cœur, reliés respectivement, au réseau d'IP public (ou privé) et au réseau du téléphone. L'IMS (IP Multimedia Subsystem) est localisé au sommeil de la partie cœur et fournit l'accès aux réseaux IP publique et privé, et le réseau public du téléphone via les entités du réseau Media Gateway [6].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

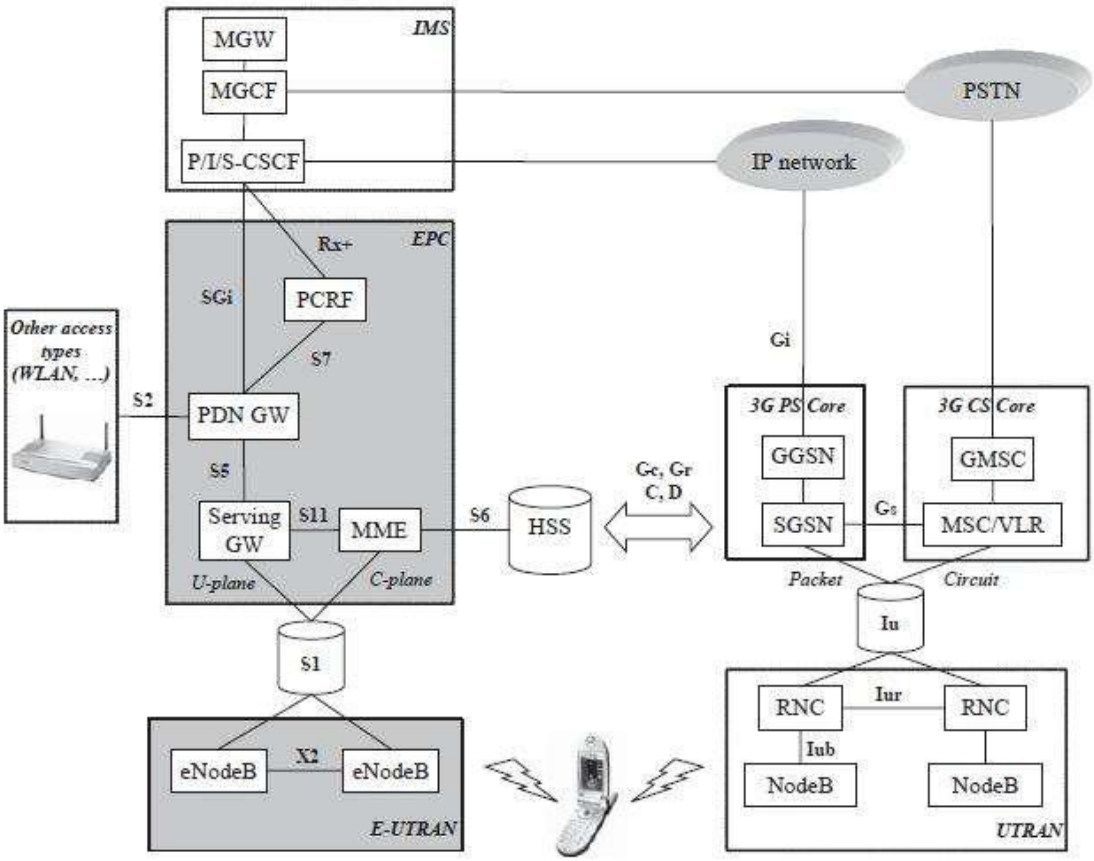


Figure II.1 : *Architecture général du LTE [6].*

II.2.1 Réseau d'accès (Access Network) :

II.2.1.1 Caractéristiques du réseau d'accès :

a) Débit de l'interface radio :

L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum instantané de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum instantané de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens montant. Les technologies utilisées sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division MultipleAccess) pour le sens montant. Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bits/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant [6].

b) Connexion permanente :

Le principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet. Mais 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'états opère en moins de 100 ms. Le réseau pourra recevoir le trafic de tout terminal rattaché puisque ce dernier dispose d'une adresse IP, mettre en mémoire ce trafic, réaliser l'opération de paging afin de localiser le terminal et lui demander de réserver des ressources afin de pouvoir lui relayer son trafic [6].

c) Délai pour la transmission de données :

Moins de 5 ms entre l'UE et l'Access Gateway, en 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, comme la voix sur IP et le streaming sur IP [6].

d) La mobilité

Assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer (le LTE ne permet que le hard handover et non pas le soft handover) dans des conditions où l'usager se déplace à grande vitesse [6].

e) Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G :

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. Il est clair qu'au début du déploiement de le LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre le LTE et la 2G/3G est toujours possible.

Le handover pourra aussi s'effectuer entre le LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs CDMA évolueront aussi vers le LTE qui devient le vrai standard de communication mobile de 4ème génération [6].

f) Flexibilité dans l'usage de la bande :

E-UTRAN doit pouvoir opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz [6].

g) Support du multicast :

Notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast [6].

h) Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales

Comme le LTE pourra opérer sur des bandes de fréquences diverses et notamment basses comme celle des 700 MHz, il sera possible de considérer des cellules qui pourront couvrir un large diamètre [6].

II.2.1.2 Les entités du réseau d'accès (E-UTRAN) :

La seule entité présente dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilé à un NodeB RNC. L'eNodeB est le responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.

A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentes les entités NodeB et RNC, l'architecture e-UTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/SGW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur.

L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et la MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et la SGW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre les eNodeBs adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'usager en mode ACTIF (Handover). Lorsque l'usager se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE [6].

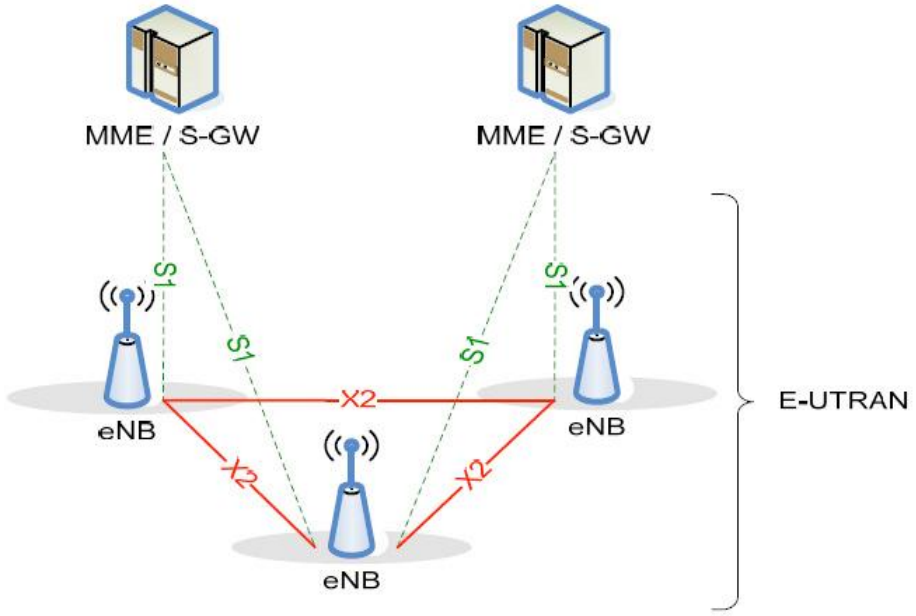


Figure II.2 : *Architecture de l'E-UTRAN [6].*

I.2.2 Réseau cœur (Core Network) :

I.2.2.1 Caractéristiques :

En effet, la SAE est le nom d'une étude où la 3GPP industrie développe une structure pour une évolution et migration des systèmes courants à un système qui supporte des technologies d'accès multiples, avec un plus haut taux de données et basé sur la commutation de paquets. Alors que l'EPC

(Evolved Packet Core) ou le CPE est le nom du réseau cœur évolué. À la différence des réseaux 2G et 3G où l'on distinguait les domaines de commutation de circuit (CS, Circuit Switched) et de commutation de paquet (PS, Packet Switched) dans le réseau cœur, ce nouveau réseau quand à lui ne possède qu'un domaine paquet appelé EPC. Ainsi, tous les services devront être offerts sur IP y compris ceux qui étaient auparavant offerts par le domaine circuit tels que la voix, la visiophonie, le SMS, etc.

L'EPC fonctionne en situation de roaming en mode « home routed » ou en mode « localbreakout ». Autrement dit lorsqu'un client est dans un réseau visité, son trafic de données est soit routé à son réseau nominal qui le relaye par la suite à la destination (home routed) ou directement routé au réseau de destinataire sans le faire acheminer à son réseau nominal (local breakout). Il est possible de faire acheminer le trafic de l'EPC vers l'accès LTE, CDMA-2000 (paquet), 2G (paquet) et 3G (paquet) et ainsi garantir le handover entre ces technologies d'accès.

L'EPC supporte les Default bearers et les Dedicated bearers, c'est-à-dire lorsque l'usager se rattache au réseau EPC, ce dernier lui crée un défaut bearer qui représente une connectivité permanente tant que l'usager est rattaché au réseau mais sans débit garanti. Quand l'usager souhaitera établir un appel qui requiert une certaine qualité de service telle que l'appel voix ou visiophonie, le réseau pourra établir pour la durée de l'appel un de dicated bearer qui supporte la qualité de service exigée par le flux de service et surtout qui dispose d'un débit garanti afin d'émuler le mode circuit.

Enfin, l'EPC supporte le filtrage de paquet par exemple pour la détection de virus et une taxation évoluée basée sur le service accédé par le client en termes du volume, de la session, de la durée, de l'événement, du contenu, etc.

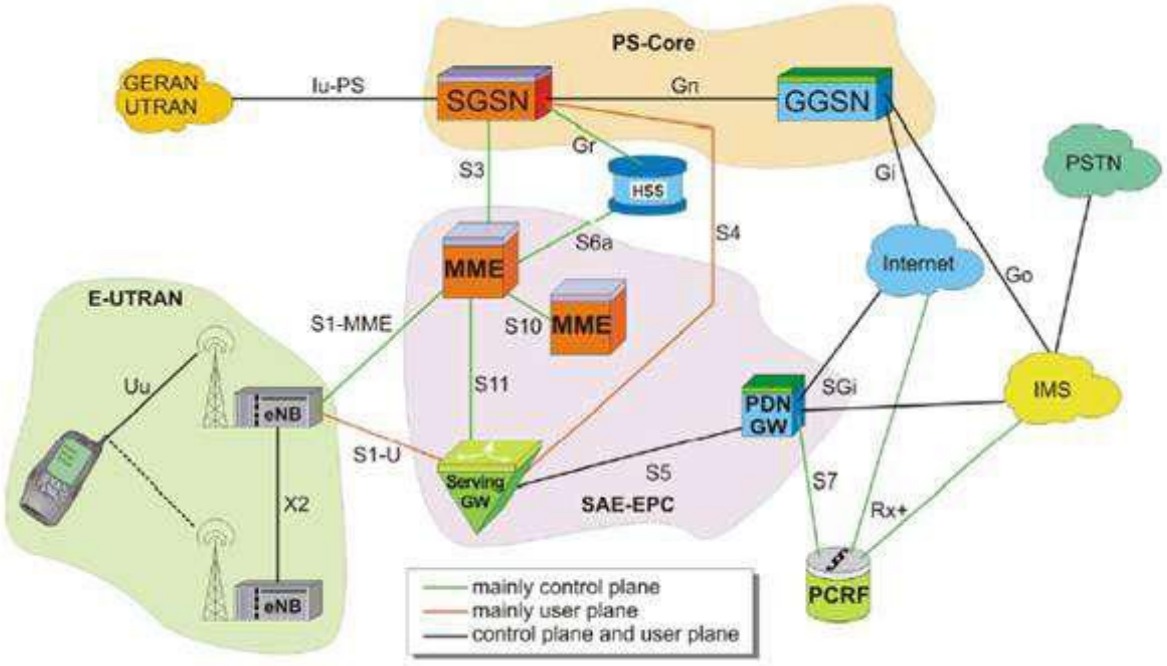


Figure II.3 : *Vue globale du réseau cœur EPC [7].*

II.2.2.2 Les entités du réseau cœur :

Le réseau cœur évolué EPS consiste comme le montre la figure en les cinq principales entités énumérées ci-dessous :

a) Mobility Management Entity :

Entité de gestion de mobilité, **MME :** la MME est le nœud principal de contrôle du réseau d'accès LTE/SAE. Elle manipule un certain nombre de fonctionnalités telles que [7]:

- Le suivi des UE Mode Inactif (idle).
- L'activation / désactivation du Bearer.
- Le choix du SGW pour un UE.
- Le handover Intra-LTE impliquant la location du nœud du réseau d'accès.
- L'interaction avec le HSS pour authentifier un utilisateur en attachement et implémentation des restrictions d'itinérance.
- Elle agit comme un licenciement pour la Non-Access Stratum (NAS).
- Elle Fournit des identités temporaires pour les UEs.

La SAE/MME agit en point de terminaison pour le chiffrement de protection des NAS de signalisation. Dans le cadre de cela, il s'occupe également de la gestion de la clé de sécurité. En conséquence, la MME est le point où l'interception légale de signalisation peut être effectuée.

- La procédure de Paging.
- L'interface S3 se terminant dans la MME fournit ainsi la fonction de plan de contrôle de mobilité
- entre les réseaux d'accès LTE et 2G/3G.
- Le MME/SAE termine également l'interface S6 pour le HSS pour l'itinérance UEs.
- La MME/SAE fournit un niveau considérable de fonctionnalités de contrôle global.

b) Serving Gateway (SGW) :

La passerelle de service SGW, est un élément plan de données au sein de le LTE/SAE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network, RAN et le réseau cœur. La SGW maintient également les chemins de données entre les eNodeBs et les passerelles PDN. De cette façon le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodeBs différentes, la SGW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu.

c) PDN Gateway (PGW) :

La passerelle LTE/SAE PDN assure la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE. L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l'accès à des PDNs multiples [7].

d) Home Subscriber Server (HSS) :

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé HSS. Le HSS est donc un HLR évolué qui Contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS. A la différence de la2G et de la 3G où l'interface vers le HLR est supportée par le protocole du monde SS7, MAP, l'interface S6 s'appuie sur le protocole du monde IP, DIAMETER. Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS appartenant au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE, IMS) [7].

e) Policy and Charging Rules Function (PCRF) :

La PCRF est le nom générique de l'entité au sein de le LTE SAE/EPC qui détecte les flux de service et applique la politique de tarification. Pour les applications qui nécessitent une politique dynamique de tarification ou de contrôle, un élément du réseau intitulé Applications Function, AF est utilisée [7].

II.3 INTERFACES ET PROTOCOLES :

II.3.1 Architecture générale :

La figure suivante présente une vue simplifié de l'architecture EPS. Tous les nœuds et interface du réseau y sont représentés. Elle met en lumière les interactions et signalisations au niveau usager ainsi que la connectivité data et l'aspect architectural.

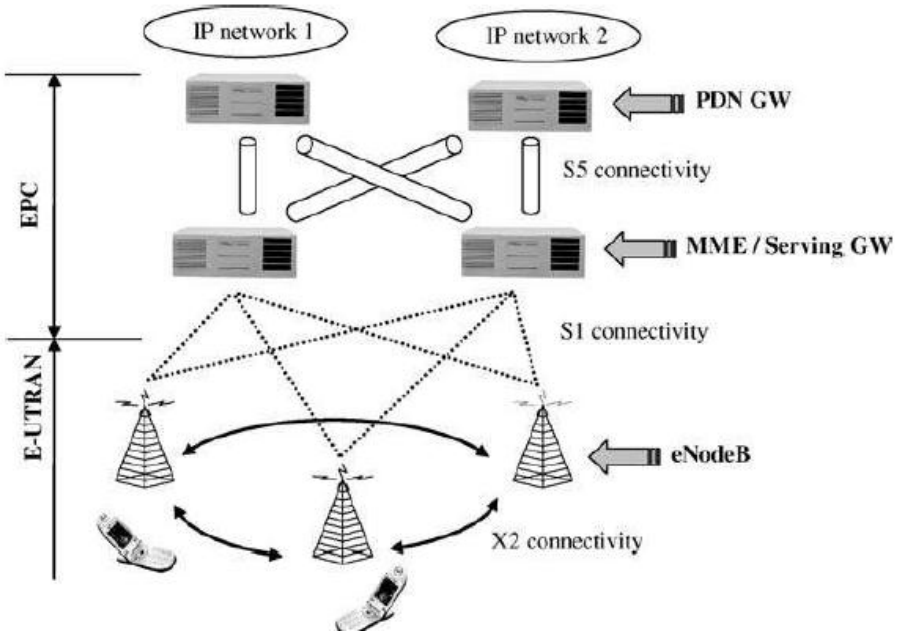


Figure II.4 : *Architecture de l'EPS – Les connectivités dans le plan usager et contrôle [8].*

L'interface X2 ne doit pas être vue comme une simple interface point-a-point entre deux eNodeBs, mais plutôt comme une interface maillée. Cette interface optionnel a été défini dans le but de transporter les paquets entre eNodeBs et de limiter les pertes de paquets dans le cas d'une mobilité d'utilisateur Intra E-UTRAN.

L'interface S1 à son tour, n'est pas une simple interface entre un eNodeB et un MME/Serving Gateway, puisque un eNodeB peut être connecté à un ou plusieurs MME. Cette flexibilité est connue sous le nom de S1-flex (équivalent à l'Iu-flex 3G/UMTS). Puisque le MME et le Serving GW sont déployés dans des boîtes physiques séparées, l'interface S1 est divisée en deux parties :

- L'interface S1-U (Pour le plan usager) qui transporte les données utilisateur entre l'eNodeB et le Serving GW.
- L'interface S1-C (Pour le plan de contrôle) qui transporte uniquement la signalisation entre l'eNodeB et le MME. [8]

II.3.2 Evolutions des différents nœuds dans le LTE :

L'eNodeB est l'unique nœud logique présent dans l'E-UTRAN. Les principaux fonctions que l'eNodeB supports sont les suivantes :

- Radio Bearer Management, qui inclut l'établissement et la libération des supports de données radio (Radio Bearer) ainsi que les fonctions de la gestion des ressources radio pour le contrôle de l'admission ainsi que l'allocation des supports de données. Cet ensemble de fonctions est sous le contrôle du MME à travers l'interface S1 pendant l'établissement, la libération et la modification de la session.
- L'interface radio de transmission et de réception qui inclut la modulation/démodulation ainsi que le codage/décodage du canal radio.
- La gestion dynamique des ressources radio en Uplink et Downlink et l'Ordonnancement (Scheduling) des paquets data – est la fonction la plus critique qui requière que l'eNodeB fait face à plusieurs contraintes dans le but d'être capable de multiplexer différents flots de données sur l'interface radio d'utiliser les ressources disponibles de façon optimal.
- Radio Mobility Management, qui s'occupe de la mobilité du terminal lorsqu'il est dans l'active state. Ceci doit être distingué du Mobility Management qui est une fonction gérée par le Packet Core.
- Chiffrement et compression des entête IP des données usager est la fonction c lé de la transmission de données sur l'interface radio. Elle répond aux besoins de sécurité sur l'interface radio et la transmission de paquets IP de façon optimal.
- Sécurité de la signalisation réseau, à cause de la sensibilité des messages de signalisation échangés entre eNodeB et le terminal ou entre le MME et le terminal. Toutes ces informations sont protégées contre l'écoute et l'altération.

- L'ordonnancement et la transmission des informations Broadcast, qui est présente de tous, ou presque, les réseaux cellulaire. L'ordonnancement et la transmission des messages de paging, cette fonction est essentielle pour pouvoir localiser le mobile.

L'eNodeB est défini par le 3GPP en utilisant le traditionnel modèle OSI en couche. De cette perspective, tous les fonctions décrit au-dessus sont gérées par les différents couches, comme la couche physique, la couche lien de donnés RLC/MAC ou la couche de signalisation Radio Resource Control. L'EPC quant à lui, comprends quatre noeuds logiques à savoir le HSS (Home Subscriber Server), le MME (Mobility Management Entity) et deux passerelles associées au plan usager Serving GW et PacketData Network GW. Chacun de ces entités supportes des fonctions évolués.

L'architecture de l'E-UTRAN a introduit des modifications sur la localisation des principales fonctions dans le réseau. Par conséquent, il y a quelques différences dans la façon les paquets sont gérés. Ces changements sont présentés dans la Figure 2.01, qui se focalise sur le lien descendant du plan Usager. La séparation entre le RNC et le NodeB dans l'architecture de l'UMTS implique que la gestion des paquets de données nécessite deux buffers séparés. Ce qui nécessite l'implémentation d'un mécanisme à fin d'éviter le NodeB buffer overflow ou le manque de donnée au niveau du NodeB.

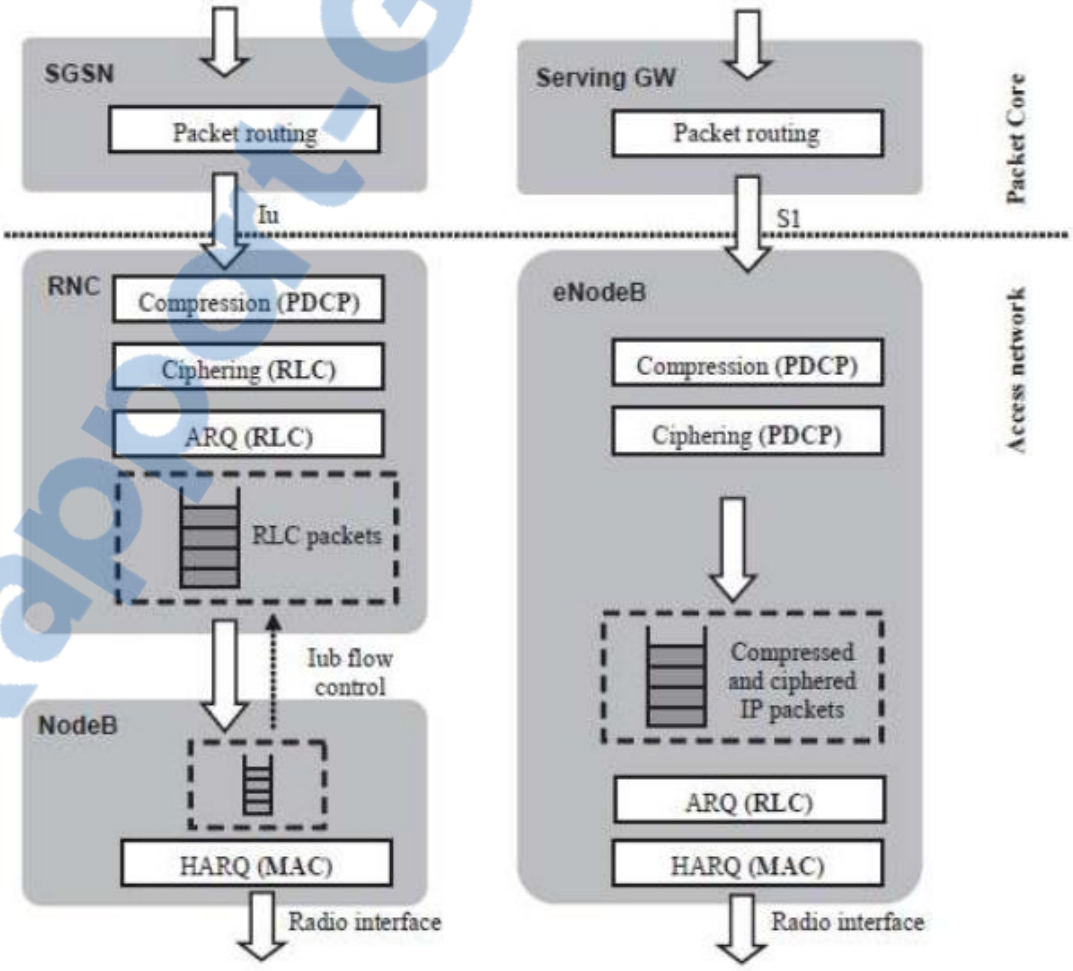


Figure II.5 : *Différence entre UMTS et EPS sur le lien descendant du plan Usager [8].*

Rapport-Gratuit.com

Dans le LTE, la compression et le chiffrement sont tous les deux supportés par la couche PDCP localisée dans l'eNodeB. Puisque, tous les mécanismes de retransmission sont localisés dans l'eNodeB, le traitement des paquets de données nécessite un seul buffer. Par ailleurs, et dans le cas de l'E-UTRAN les données du buffer peuvent être transférées entre eNodeBs, ce qui aide à minimiser les probabilités de pertes de paquets [8].

II.3.3 Les interface réseau de l'E-UTRAN :

Le but de cette partie est de fournir les informations général sur les interfaces réseau S1 et X2 de l'E-UTRAN. Ces deux interfaces suivent le même modèle qui est décrit dans la figure II.6. De même qu'en 3G/UTRAN, le modèle de l'interface réseau de l'E-UTRAN est composé de deux parties principales : la couche Radio Network – qui englobe les protocoles couches hautes de l'interface et la couche Transport Network – qui réfère uniquement à la façon dont les données de la couche Radio Network sont transportés. Cette séparation assure une indépendance entre les deux couches.

En plus de la séparation selon le modèle OSI, chaque interface est divisée en deux plans, le plan usager (*User plane*) et le plan de contrôle (*Control plane*).

Le plan usager transporte toutes les informations considérées comme des données utilisateur, du point de vue de l'interface. Ceci consiste en des données purement usager comme les paquets de voix et vidéos ou la signalisation de niveau application (comme SIP, SDP or RTCP). Avant la transmission sur l'interface, les différents paquets sont tous simplement envoyés à la couche Transport. C'est ce qui explique l'absence de tout protocole dans la couche Radio Network qui correspond au plan usager.

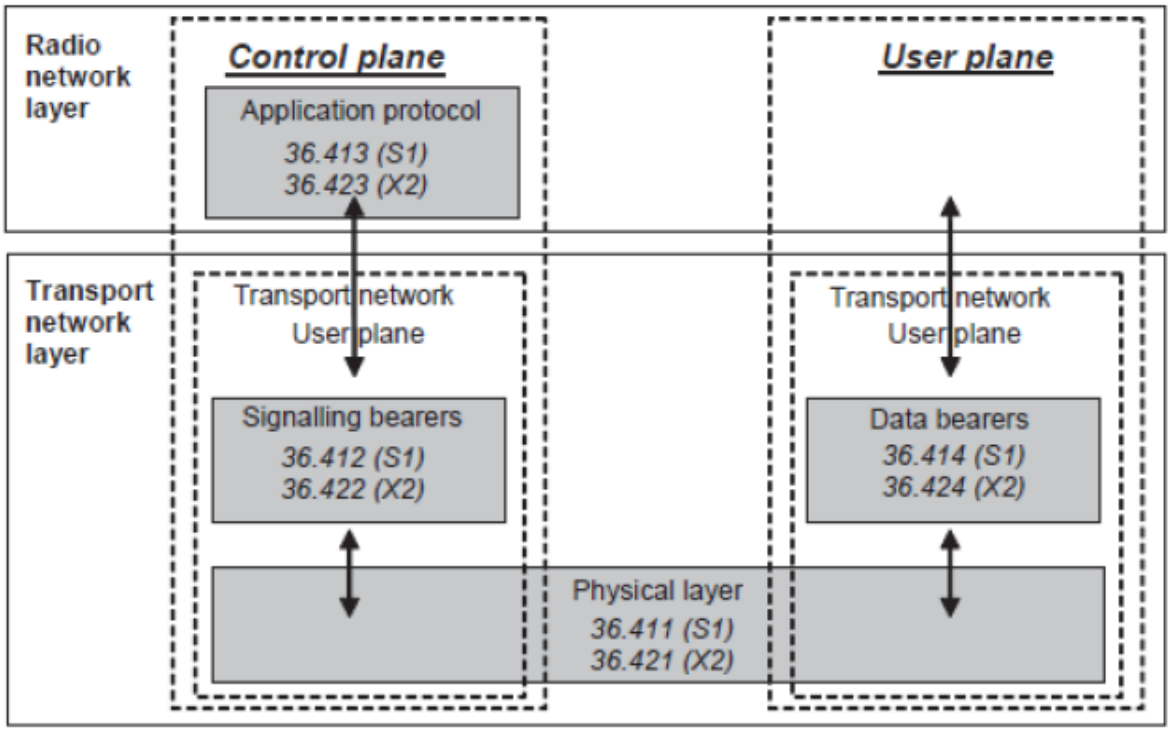


Figure II.6 : *Le modèle d'une interface E-UTRAN [9].*

Le plan de contrôle s'occupe tous les messages et les procédures strictement liés aux fonctionnalités prises en charge par les interfaces. Ceci inclut par exemple, les messages de contrôle pour la gestion du handover ou la gestion des porteuses (supports).

II.3.3.1 L'Interface S1 :

L'interface S1-U (ou S1 User plane interface – L'interface S1 pour le plan usager) transporte les paquets utilisateurs entre le eNodeB et le Serving GW. Cette interface utilise une simple pile de protocole de transport « GTP over UDP/IP » qui ne fait qu'encapsuler les données de l'usager. Il n'existe ni contrôle de flux ou contrôle d'erreur, ou tout autre mécanisme de garantie de livraison de données sur l'interface S-U.

L'interface S1-C (ou S1 Control plane interface – L'interface S1 pour le plan de contrôle) est utilisé pour la signalisation. Elle supporte un certain nombre de fonctions et procédures entre eNodeB et le MME.

L'interface S1-C doit fournir un haut niveau de fiabilité dans le but d'éviter les messages de retransmission et des retards dans l'exécution des procédures du plan de contrôle. Selon le déploiement du réseau de transport, il y a certains cas où le transport UDP/IP n'est pas suffisamment fiable. Par ailleurs, dans le cas où le réseau de transport n'appartient pas à l'opérateur mobile, il se peut que la qualité de service (QoS) ne soit pas garantie tout le temps. C'est pour cette raison que l'interface S1-C utilise une couche de transport de réseau, qui est mise en place de bout-en bout.

Dans l'architecture LTE, ce service est assuré par le SCTP (Stream Control Transmission Protocol). Dans l'interface S1, le SCTP est utilisé sur la couche réseau IP d'habitude. Il y a une seule association par instance de l'interface S1. Sur cette relation, un seul flux SCTP est utilisé pour toutes les procédures communes (procédure du paging par exemple) entre deux équipements. En ce qui concerne toutes les procédures dédiées -qui comprennent toutes les procédures qui s'appliquent à un contexte de communication spécifique - elles sont toutes prises en charge sur un nombre limité de flux SCTP.

Le réseau de transport des interfaces S1 et X2 fait usage de la couche réseau IP à la fois pour le plan usager et plan de contrôle. En plus des services basic garantie par ce protocole,

II.3.3.2 Interface S1 Felxibility :

Dans les réseaux 2G et 3G traditionnels, la connectivité entre le réseau cœur et le réseau d'accès a été définie selon une hiérarchie « un-à-plusieurs ». Dans la Release 5, un nouveau dispositif a été introduit, rendant flexible l'interconnexion entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Ce même principe a été introduit, dès le début, dans l'architecture du LTE. Ce standard porte le nom de «S1-flex». Comme présenté dans la figure II.7, l'interface S1-flex permet à un eNodeB de se connecter à plus d'un seul nœud MME ou Serving GW. De cette même figure, pour simplifier le MME et Serving GW sont combinés en un seul nœud, mais la S1 flexiblity s'applique à la fois au MME et le Serving GW.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

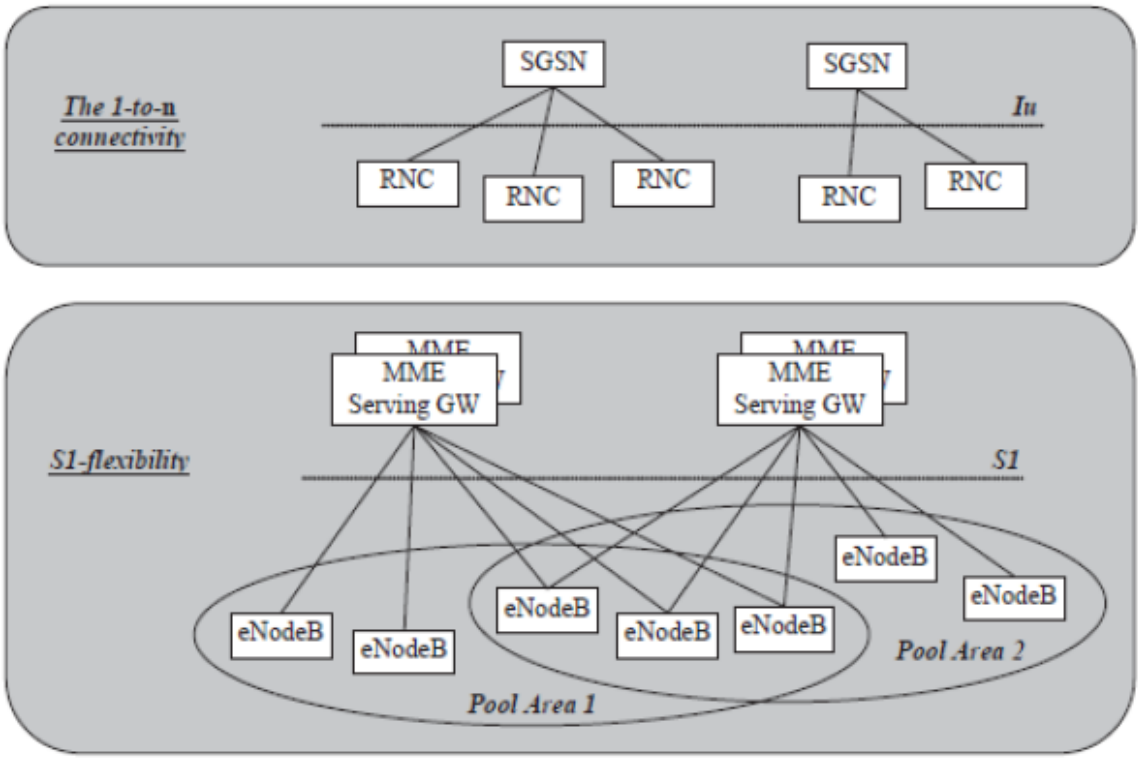


Figure II.7 : *La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex [9].*

Bien qu'un eNodeB puisse être connecté à plusieurs MME, un terminal mobile est associé à un unique MME à la fois. Ceci est dû au fait que les sessions d'un utilisateur sont toujours sous le contrôle d'un seul MME [9].

II.3.3.3 Interface X2 :

Le rôle l'interface X2-U (X2 User plane interface – L'Interface X2 du plan usager) est de transporter les paquets de données entre eNodeBs. Elle est utilisée dans une durée limitée en temps, quand le terminal se déplace d'un eNodeB à un autre. Par ailleurs, cette interface permet de transférer les paquets de données mis dans les mémoires tampons (buffers) entre eNodeBs. X2-U utilise le même protocole de tunneling GTP, déjà utilisé dans l'interface S1-U.

L'interface X2-C (X2 Control plan interface – l'interface X2 du plan de contrôle) est une interface de signalisation. Elle supporte un groupe de fonctions et procédures entre eNodeBs. Les procédures de l'interface X2-C sont très limité en nombre et ils sont toutes relative à la mobilité des usagers entre eNodeB, dans le but d'échanger les informations sur le contexte de l'usager entre les différents nœuds (porteuses alloués, sécurité…).

Par ailleurs, l'interface X2-C propose la procédure du « *Load Indicator* » dont le dut est de permettre à un eNodeB de signaler sa condition de charge aux eNodeBs voisins. Le but de cette procédure est d'aider à supporter la gestion du balancement de la charge ou d'optimiser les seuils du handover ainsi que les décisions du handover. Le besoin d'un transport de signalisation fiable entre les

noeuds est le même que dans l'interface S1-C. C'est pour cette raison que l'interface X2-C utilise aussi une couche de transport type « SCTP over IP » [9].

II.4 LES PROTOCOLES DE L'INTERFACE RADIO :

L'interface radio est distinguée de la transmission filaire par le coût et la rareté du spectre, ainsi le taux d'erreur très élevé de la transmission. A cause de ces caractéristiques, la pile protocolaire de l'interface radio est très spécifique. Il est composé des couches suivantes [9] :

- PHY (Physical Layer).
- MAC (Medium Access Control) en charge de l'ordonnancement des paquets et la répétition rapide.
- RLC (Radio Link Control) est responsable de la transmission fiable de données.
- PDCP (Packet Data Convergence Protocol) qui fournit le protocole de compression d'entête et implémente le cryptage de données.

L'interface radio E-UTRAN est décrite selon le modèle OSI. Avec une couche physique (Layer1) qui implémente la partie PHY et une couche liaison de données qui supporte le RLC et MAC.

II.4.1 Les canaux radio :

L'interface radio E-UTRAN doit être capable de transmettre des informations à haut débit et à faible temps de latence. Cependant, pas tous les flux d'information ne nécessitent la même protection face aux erreurs de transmission ou la manipulation de la Qualité de Service (QoS). Les messages de signalisations E-UTRAN doivent être transmis le plus rapidement possible en utilisant le meilleur schéma de protection contre les erreurs, car ils sont critiques dans le cas d'une mobilité radio. D'un autre coté, la voix et les données peuvent tolérés un frame loss raisonnable, due à la transmission radio. Dans le but d'être flexible et permettre différents schéma pour la transmission de données, les spécifications de l'E-UTRAN ont introduit plusieurs types de canaux :

- Les canaux **logiques** – ce qui est transmis.
- Les canaux de **transport** – comment est transmis.
- Les canaux **physiques**.

II.4.1.1 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 corresponds à un certain type de flux d'information.

II.4.1.2 Canaux de transport :

Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristique sont transférés à travers l'interface radio. Par exemple, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de codage canal, la protection CRC qui est utilisée, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio, etc. Cet ensemble d'information est connu sous le nom de 'Transport Format'.Comme décrit dans les spécifications, les canaux de transports sont classifié en deux catégories : les canaux de transport downlink et les canaux de transport uplink.

II.4.1.3 Canaux physique :

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

II.4.2 La couche PHY :

Le rôle de la couche PHY est de fournir des services de transport de données sur les canaux physique pour les couches RLC et MAC hautes. La figure suivante décrit le modèle en couche physique de l'eNodeB dans le cas d'un canal de transport SCH. Un modèle similaire existe pour l'uplink et les autres canaux de transport déjà cités. Lors de chaque TTI (Transmission Time Interval) la couche physique reçoit un certain nombre de 'Transport Blocks' pour la transmission. Chaque 'Transport Block ' lui sera ajouté une CRC (Cycle de contrôle de redondance) ou un ensemble de bits pour la détection des erreurs de transmission. Ensuite les blocs sont protégés avec un codage canal robuste. Cette phase est sous le contrôle du processus MAC HARQ (Hybrid ARQ) qui adapte le taux de codage canal en se basant sur les informations fournit par l'entité réceptrice.

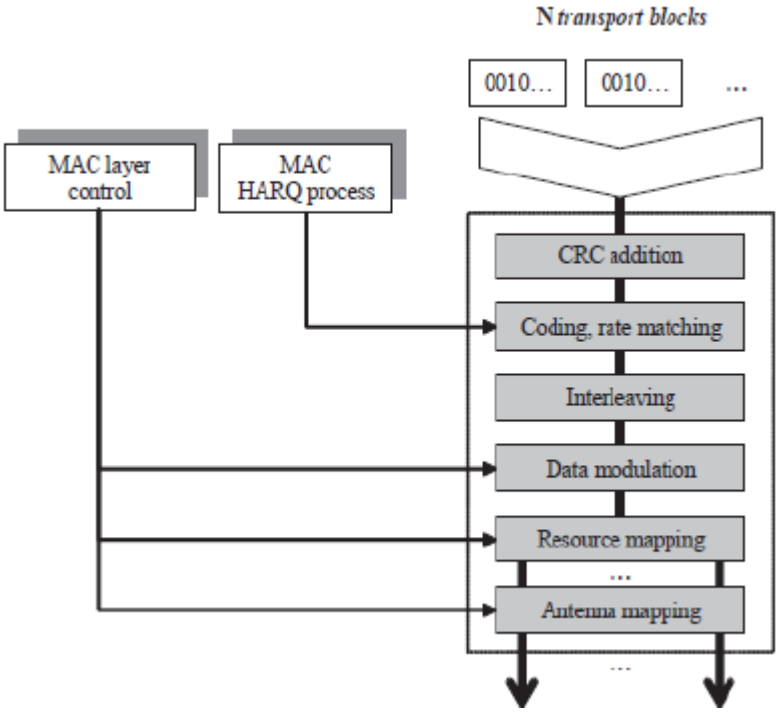


Figure II.8: *Le modèle de la couche PHY du Downlink Shared Channel [9].*

Le processus 'Interleaving' ou entrelacement permet d'améliorer la robustesse face aux erreurs de transmission radio. Ce processus permet au décodeur canal de récupérer exactement, les mêmes bits transmirent initialement. Le processus de modulation des données quant à lui, il est sous le contrôle de l'ordonnanceur MAC. Pour les opérations du CRC et entrelacement, la couche PHY utilise des paramètres statiques et des algorithmes spécifiés par le standard E-UTRAN [9].

II.4.2.1 L'OFDMA et SC-FDMA :

Le principe de l'OFDM consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonaux. Il est utilisé en voie descendante. L'espacement entre sous porteuses en LTE est fixé f = 15 kHz et 2048 pour IFFT. L'unité de temps dans la structure de trame est Ts = 1 / (2048 * 15000) secondes [4]. Dans un canal multi trajets, il y a risque d'interférence entre symboles OFDM. Pour ceci l'ajout d'un préfixe cyclique CP (5.21µsec) demeure nécessaire**.**

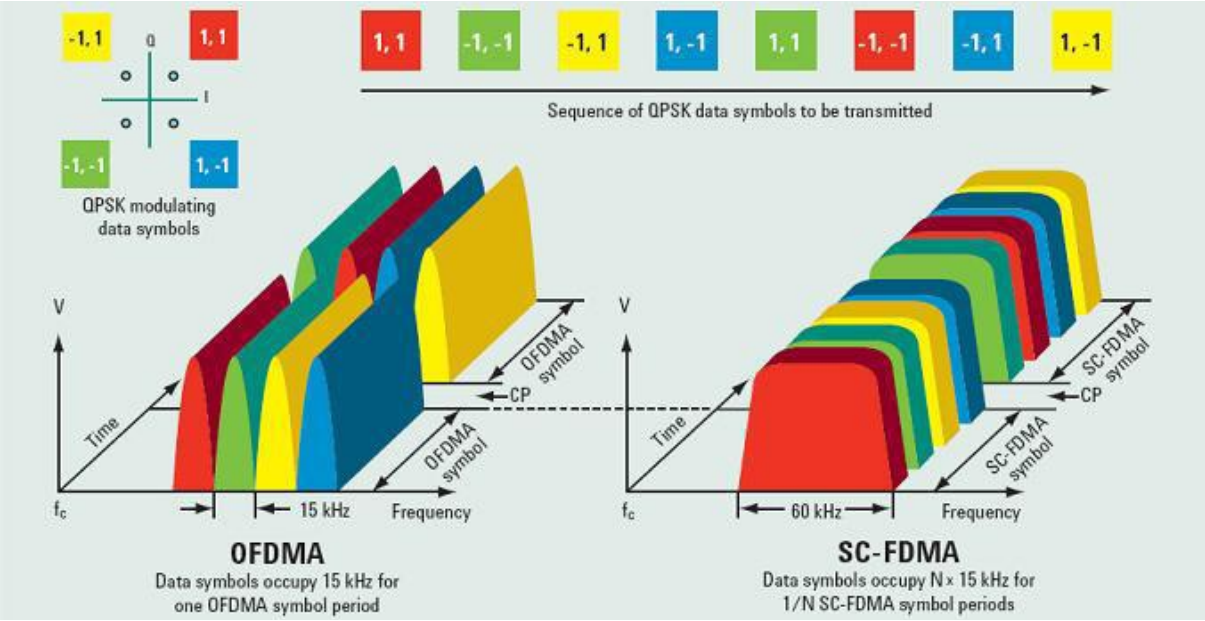


Figure II.9: *La différence OFDMA et SC-FDMA* [10].

L'OFDMA est la technologie d'accès multiple par rapport OFDM, est utilisé dans la liaison descendante LTE. C'est la combinaison de TDMA et FDMA essentiellement. Pour la voie montante, on en utilise un dérivé appelé SC-FDMA.

En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées, comme montre la figure II.9:

II.4.2.2 Structure de la trame LTE :

La trame générique du LTE a une durée de 10 ms, décomposée en 20 slots de 0,5ms chacun, numérotés de 0 à 19.

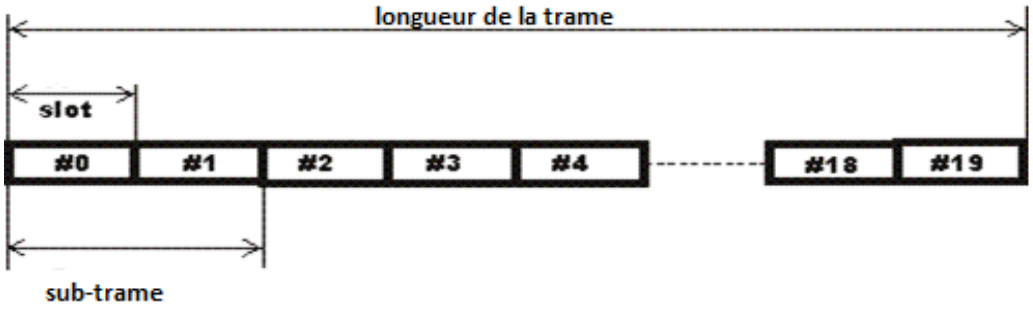


Figure II.10: *Structure de la trame LTE [11].*

Cette dernière est caractérisée par deux types de trame de deux modes de duplexage, FDD et TDD. Avec le FDD, la trame entière est alternativement dédiée à la réception et l'émission. La trame radio FDD offre un logement composé de 7 symboles OFDM.

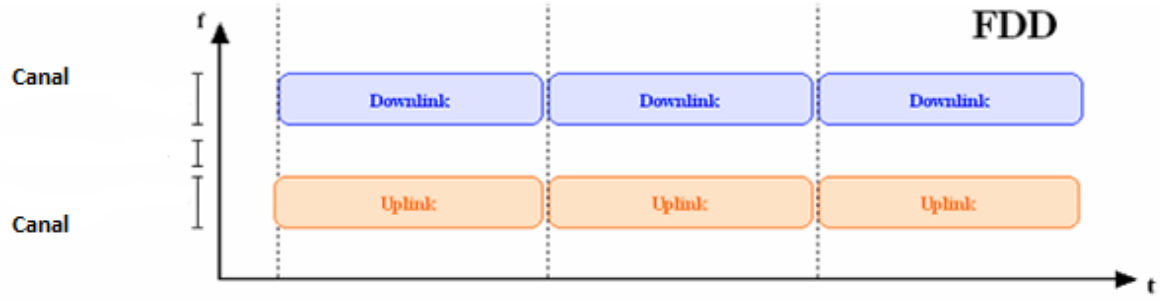


Figure II.11 : *Le duplexage FDD [12].*

Le TDD, une sous-trame est allouée à la réception et l'émission de manière indépendante. Une sous-trame est un ensemble de 2 slots consécutifs [12].

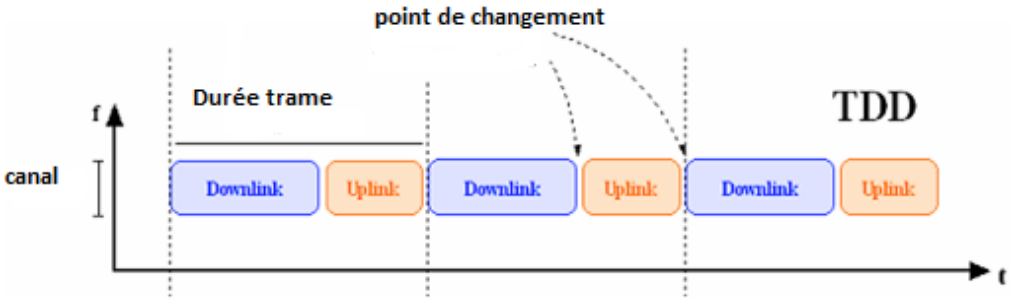


Figure II.12 : *Le duplexage TDD [12].*

II.4.2.3 Concept de bloc de ressources :

LTE est constitué de domaine de temps et de ressources dans le domaine fréquentiel. Le bloc de ressource est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE, qui est une grille, est composé par des éléments de ressource RE. Il est formé de 12 sous porteuses, largeurs de chacune est de 15KHz comme montre la figure II.13 [12].

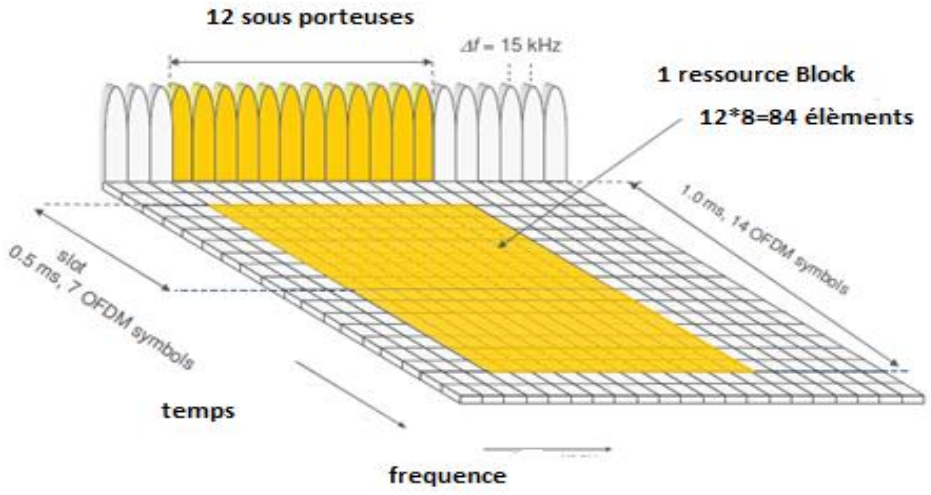


Figure II.13 : *Bloc de ressources [12].*

II.4.2.4 La technologie MIMO :

Le but de la technique MIMO étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elles se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur. Lorsqu'un tel système comprend, seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, nommé MISO. Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (voir figure II.14).

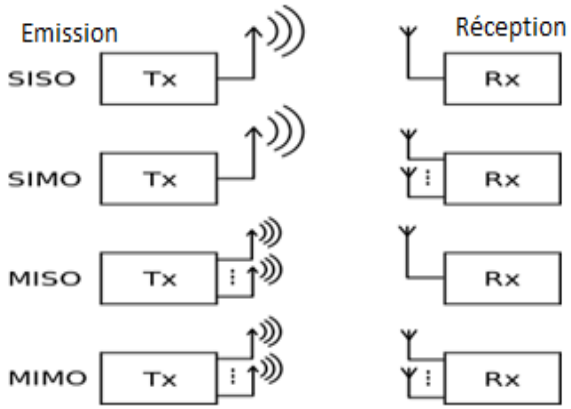


Figure II.14: *Schéma représentatifs des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO [13].*

La mise en place d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des débits importants. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité et a pour conséquence l'amélioration du rapport signal à bruit (SNR) et donc du taux d'erreurs binaires. Les systèmes MIMO exploitent les techniques de [14] :

- Diversité d'espace : diversité d'antenne.
- Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.

- Diversité temporelle : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal.

II.5 CONCLUSION :

Comme deuxième chapitre de notre mémoire il a été primordial pour nous, de nous faire une idée de l'architecture générale du système LTE. C'est dans cette optique qu'intervient ce chapitre. Après un bref historique de la technologie 4G, nous avons présenté l'architecture générale du réseau LTE en insistant que l'architecture protocolaire des interfaces S1 et X2, les objectifs techniques et les caractéristiques de réseau de cœur et de réseau d'accès, ainsi que les principales techniques utilisées dans la couche physique du réseau LTE.

En effet, une bonne connaissance des architectures permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, qui leur permettent de fournir en même temps des services de bonne qualité. Le chapitre suivant focalise sur une étude pratique de la planification et dimensionnement du réseau LTE dans la Wilaya de Tlemcen.

CHAPITRE 3

PLANIFICATION D'UN RESEAU LTE : zone de Tlemcen ville

Rapport-Gratuit.com

III.1 INTRODUCTION :

La planification est une discipline de l'intelligence artificielle qui vise le développement d'algorithmes produisant une liste de tâches à accomplir pour résoudre un problème donné. Les logiciels de planification qui incorporent ces algorithmes se nomment planificateurs. Classiquement, un planificateur prend trois entrées définissant ainsi le problème : une description de l'état initial de l'environnement, une description d'un but à atteindre, et un ensemble d'actions possibles. Il peut alors en extraire une solution.

Dans ce chapitre, nous allons entrainer comment planifier une zone selon l'outil de planification Atoll pour atteindre notre objectifs qui est la Planification et optimisation d'un réseau LTE au niveau la Wilaya de Tlemcen et cela par la planification des cellules nominales et dimension du réseau.

III.2 DEFINITION D'UNE PLANIFICATION RADIO :

La planification radio permet de répondre aux objectifs stratégiques des opérateurs, en termes de zones et population à couvrir. Le design radio commence par la définition des objectifs :

- Hypothèses générales sur le design de tout le réseau.
- Stratégie de déploiement (zones et populations).
- Prévisions en termes d'abonnées.
- Modèle du trafic.
- Distribution du trafic.
- Modèles de propagation.
- Qualité de service.
- Services à fournir (Voix, GPRS, HSDPA, LTE…).
- Hauteur et configuration d'un site standard.
- Technologie (OFDMA, MIMO..) et bande de fréquence.
- Réseau existant.

Après la définition des objectifs, nous avons utilisé des outils de planification pour simuler les scénarii de propagation, et ainsi produire un plan nominal radio. Ce plan nominal résume les objectifs de [15] :

- Couverture
- Qualité
- Capacité

III.3 PROCESSUS DE PLANIFICATION LTE :

Le processus de planification LTE est basé sur l'utilisation l'outil ATOLL. Il permet de réaliser de multiples prédictions. La figure suivante présente les étapes à suivre lors de la phase de planification:

Figure III.1 : *Processus de planification* [16].

III.3.1 Pré-planification :

La phase de planification préliminaire est la phase de préparation avant de commencer la planification réelle du réseau. On doit collecter des informations sur la région : mode de vie, les heures d'occupation. Les critères de planification de réseau sont utilisés introduit à l'outil comme entrée sont:

- cartes morphologique et topographique
- la zone géographique à planifier
- Les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs …
- Trafic des utilisateurs, les heures de chargement du trafic.
- Les services attendus.

Ces paramètres ont été fournis par Algérie Telecom.

III.3.2 Planification :

L'objectif de la phase de planification est de trouver les meilleurs emplacements pour eNodeB pour construire une couverture continue selon les exigences. La sortie de la phase de planification est :

- la couverture finale et détaillée
- les plans de capacité.

La phase de planification doit aussi étudier les fréquences, le problème des voisins et interférences.

III.3.3 Vérification :

La vérification est la phase qui suit l'installation du site, mais pas encore disponible pour les utilisateurs. Le but de cette phase est d'assurer un fonctionnement optimal du réseau.

- Faire du réglage des paramètres RF pour corriger les erreurs qui auraient pu survenir lors de l'installation.
- Test Drive une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture, capacité et exigences de qualité.
- Vérifier les indicateurs de performance KPI.

III.3.4 Optimisation :

L'Optimisation du réseau est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et résoudre leurs plaintes. Cette phase comprend de faire deux mesures au niveau du réseau et du contrôle de terrain [16].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

III.4 PRE-PLANIFICATION :

III.4.1 Bandes de fréquences :

Lors du dimensionnement d'un réseau, l'opérateur doit choisir une bande de fréquence disponible tout en respectant les inconvénients suivants:

- Les spécifications géographiques de la zone.
- La densité des utilisateurs.
- Disponibilité du spectre.
- La faible interférence avec les autres réseaux.

Ci-dessous des tableaux qui représentent les bandes de fréquences pour la norme LTE :

N:° de la Bande LTE	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	N:° de la Bande LTE	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
1	1920-1980	2110-2170	**14**	788-798	758-768
2	1850-1910	1930-1990	**15**	1900-1920	2600-2620
3	1710-1785	1805-1880	**16**	2010-2025	2585-2600
4	1710-1755	2110-2155	**17**	704-716	734-746
5	824-849	869-894	**18**	815-830	860-875
6	830-840	875-885	**19**	830-845	875-890
7	2500-2570	2620-2690	**20**	832-862	791-821
8	880-915	925-960	**21**	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	**22**	3410-3500	3510-3600
10	1710-1770	2110-2170	**23**	2000-2020	2180-2200
11	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	**24**	1625.5-1660.5	1525-1559
12	698-716	728-746	**25**	1850-1915	1930-1995
13	777-787	746-756			

Tableau III.1: Les bandes de fréquence FDD [16].

N:° de la Bande LTE	Allocation (MHz)	Largeur de la bande (MHz)
33	1900-1920	20
34	2010-2025	15
35	1850-1910	60
35	1850-1910	60
36	1930-1990	60
37	1910-1930	20
38	2570-2620	50
39	1880-1920	40
40	2300-2400	100
41	2496-2690	194
42	3400-3600	200
43	3600-3800	200

Tableau III.2 : Les bandes de fréquences TDD [16].

Dans notre travail, nous avons choisi la bande numéro **3**, DL 1805-1880 MHz et UL 1710-1785 MHz.

III.4.2 Nombre d'eNodeB requis :

Dans cette section, nous allons déterminer le nombre théorique des eNodeB requis pour établir la couverture demandée et satisfaire la demande en termes de capacité. Par conséquence, le nombre de sites demandés pour obéir à la fois à la contrainte de couverture et de capacité est donné statiquement par la méthode suivante :

- Estimer le nombre total des habitants de la région à couvrir
- Estimer le nombre de personnes moyenne par famille
- Calculer le nombre de familles de la région à couvrir
- Le nombre d'abonnés est estimé à 100% de nombre de familles
- Calculer le nombre de sites (eNodeB) théorique en fonction de la capacité moyenne des sites qui dépend de débit de la cellule (ou site) et le débit requis des abonnés.

Dans note cas, la population de toute la wilaya de Tlemcen est de : 1 018 978 habitants. Nombre moyenne des familles est de 1018978 / 5 = 20380 familles. Nous n'avons estimé que le nombre de personnes par famille égal à 5 personnes/famille.

Donc le nombre de sites est : 20380/600 = 240 sites. Selon l'opérateur d'Algérie Télécom, un site peut supporter 600 abonnées pour une bonne couverture et ça selon le débit de chaque secteur.

Le tableau suivant représente le nombre nécessaire d'eNodeB pour une couverture à 100% pour quelque commune de la wilaya de Tlemcen :

Commune	**Tlemcen**	**Maghnia**	**Mansourah**	**Chetoune**	**Remchi**
Population	140158	114634	49150	47600	4699
eNodeB	47	39	17	16	16

Tableau III.3 : Nombres de sites nécessaires dans quelques communes de Tlemcen.

III.5 PLANIFICATION AVEC ATOLL :

L'outil de planification et optimisation ATOLL V3.2.1 est utilisé dans notre étude comme une phase pratique de la planification du réseau LTE au niveau de la Wilaya de Tlemcen. Il s'agit d'un outil de planification radio multi technologies qui supporte les différents types de planification radio (GSM, GPRS, UMTS, CDMA 2000, HSDPA, LTE...). Nous allons dans cette section présenter les différents modules de cet outil qui interviennent dans notre planification.

Nous avons choisi pour l'implémentation l'outil ATOLL grâce à sa flexibilité qui nous permet d'implémenter rapidement la méthode d'accès réseau. Nous allons procéder à la définition des paramètres géographiques et radio d'un réseau à planifier. Ensuite, nous allons faire la modélisation du trafic qui sera supporté par le réseau qu'on désire mettre en place.

III.5.1 Les étapes de configuration à suivre :

Les étapes de configuration d'ATOLL sont [17] :

- Création d'un projet LTE
- Importer la carte de la wilaya de Tlemcen (résolutions des pixels de 20m).
- choisir le système de coordonnées.
- définir le modèle de propagation
- créer les paramètres radio (le type d'antenne, les caractéristiques du site…)
- ajouter des sites (un nom, une position et une hauteur...)
- configurer les paramètres du Transmetteur (contient une ou plusieurs antennes)
- configurer les paramètres de la cellule.

III.5.2 Modèle de propagation :

Pour notre étude nous allons choisir le modèle de propagation empirique. Sa formule dépend de plusieurs facteurs, à savoir [18]:

- La fréquence d'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 et densité des bâtiments), etc.

Ces modèles ne peuvent pas prédire le comportement 100% exacte de la liaison radio, mais ils prédisent le comportement le plus probable. Ils sont utilisés pour prédire le rayon de la cellule à partir de la perte de trajet maximale autorisée.

Il est important de noter que les modèles de propagation dépend du type de zones comme Urbaines, suburbaines et rurales. Les modèles empiriques les plus connus sont l'**Okumura HATA** et **Cost HATA.**

Dans cette étude nous allons choisir le modèle de COST-Hata. Ce modèle à les mêmes conditions que le modèle d'Okumara-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2000 MHz. L'affaiblissement de parcours (Path Loss) est donné par l'expression suivante [19]:

$$L_{(urbain)} = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82\,(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) + C_M.$$

Avec :

d **:** Distance entre la station de base et le mobile (km)
fc **:** Fréquence de transmission (MHz)
h_{te} : Hauteur de l'antenne de la Station de Base (m)
h_{re} : Hauteur d'antenne de station mobile (m)

$$C_M : \begin{cases} 0 \text{ dB pour des villes de taille moyenne et les banlieues.} \\ 3 \text{ dB pour les grands centres métropolitains.} \end{cases}$$

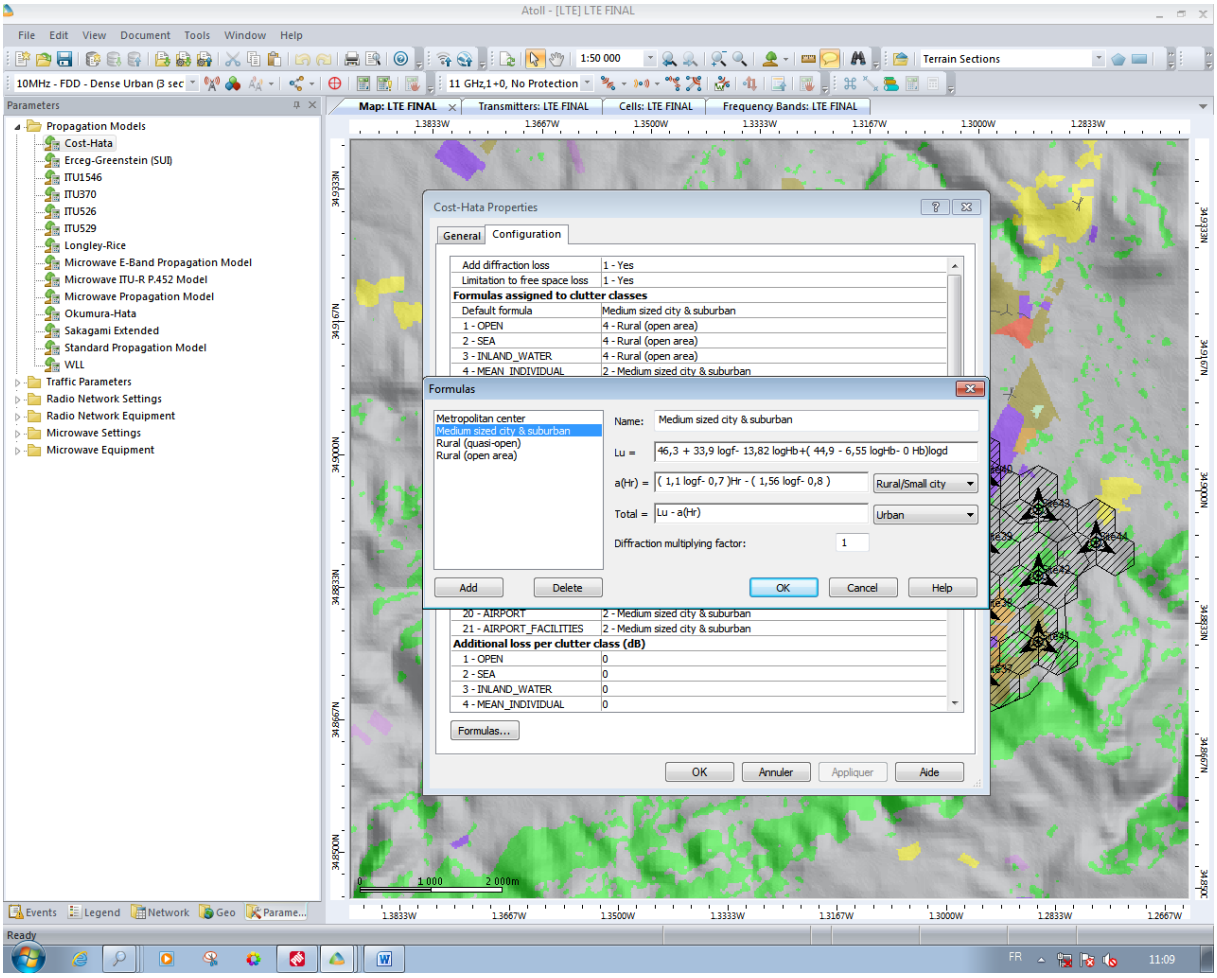


Figure III.2 : Choix du modèle COST-Hata.

III.5.3 Création nouveau projet :

Après le lancement de l'outil d'ATOLL, une fenêtre s'affiche pour charger les différents modules de l'ATOLL (figure III.3).

Figure III.3 : Lancement de l'outil ATOLL.

Ensuite, l'interface de démarrage de l'outil de planification lance l'observateur d'événements montrant l'état d'exécution de l'outil comme montre la figure suivante :

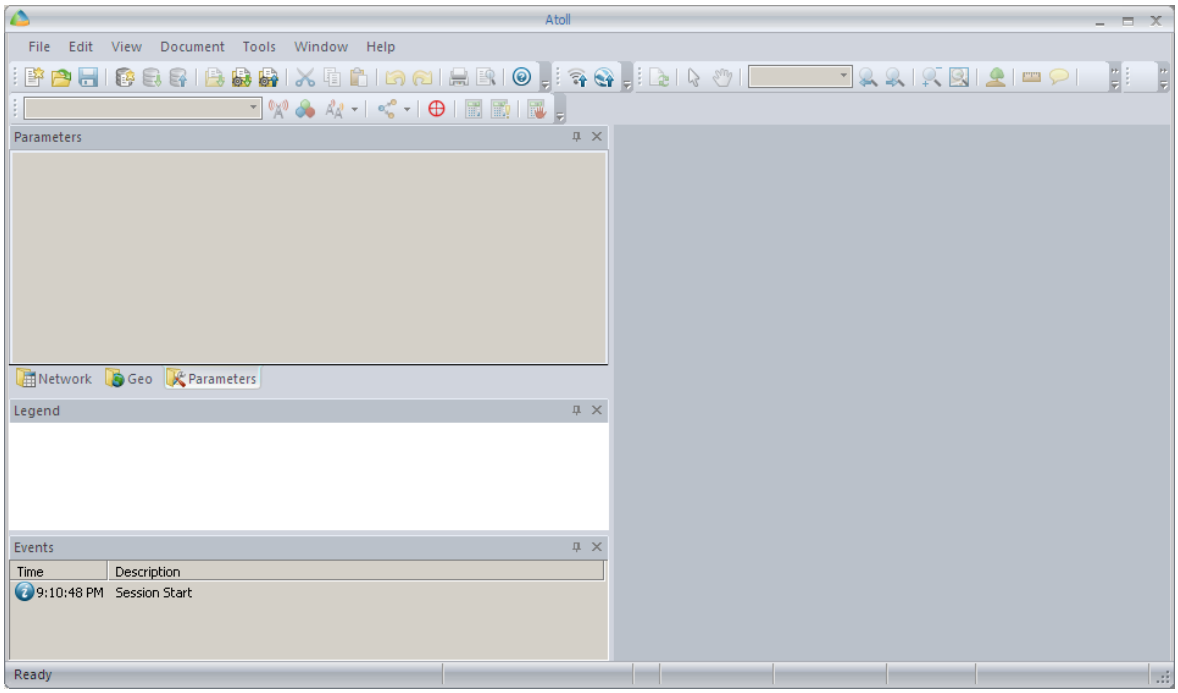


Figure III.4 : L'interface de démarrage d'ATOLL.

Le logiciel ATOLL permet de réaliser la planification et l'optimisation des réseaux cellulaires GSM, GPRS, EDGE, LTE, UMTS, HSPA, Wi-Fi et WIMAX. Pour notre projet, nous choisissons le système LTE. Une fois notre système est choisi, nous choisissons le système de coordonnées.

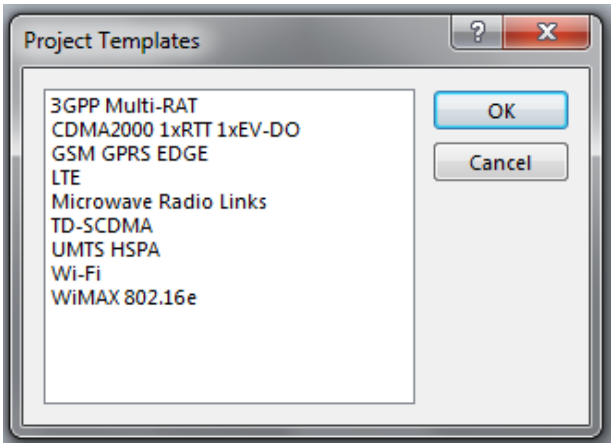


Figure III.5 : Choix de projet.

III.5.4 Importer les cartes numériques :

Le profil des cartes du trafic basé sur l'environnement utilisateur ne doivent être utilisés que pour une précision sur le trafic qui est du même niveau que l'encombrement statistique disponible dans un projet. Avant de commencer le calcul, il est nécessaire d'importer la carte sur laquelle on va planifier la zone désiré.

Tous d'abords, nous allons importer la grande carte d'Algérie (figure III.6), après nous faisons le zoom sur la Wilaya de Tlemcen. (Carte avec clutter classes et clutter height).

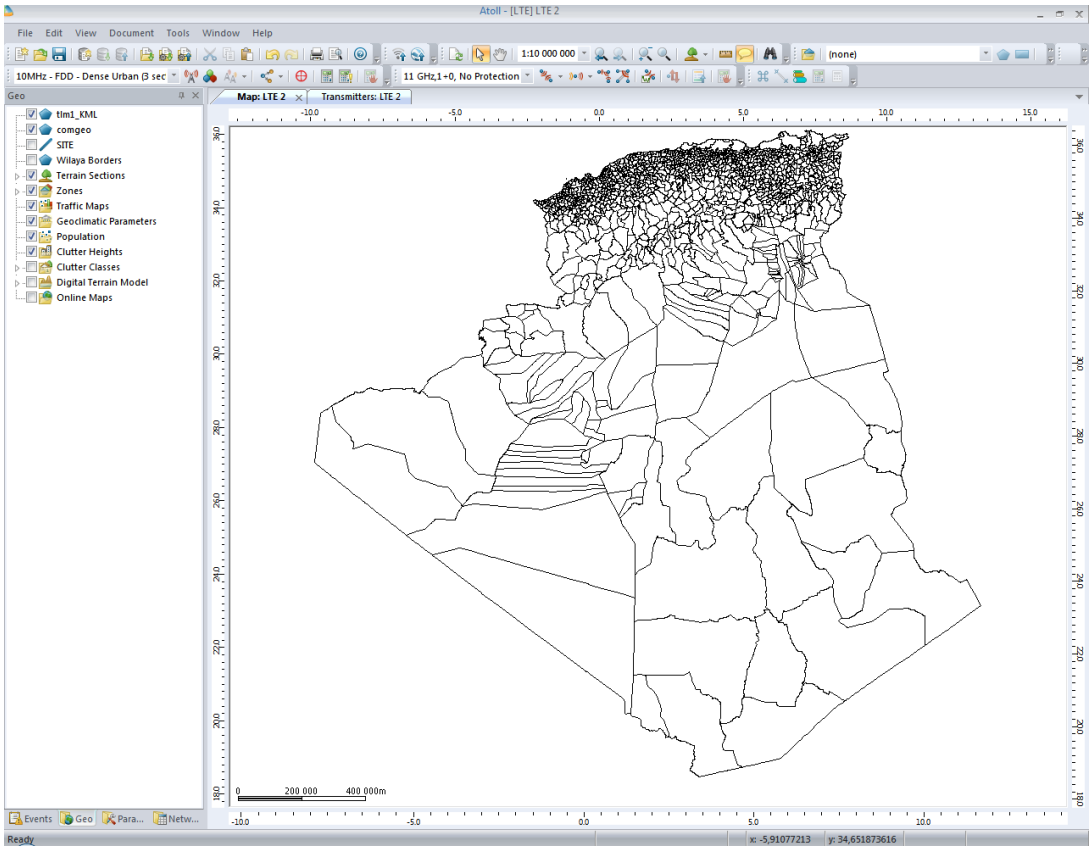


Figure III.6 : Importer la carte numérique d'Alger.

Le but du projet est le déploiement du réseau LTE dans la zone de Tlemcen ville, Nous allons choisir la commune de Tlemcen comme une zone géographique à planifier (figure III.7).

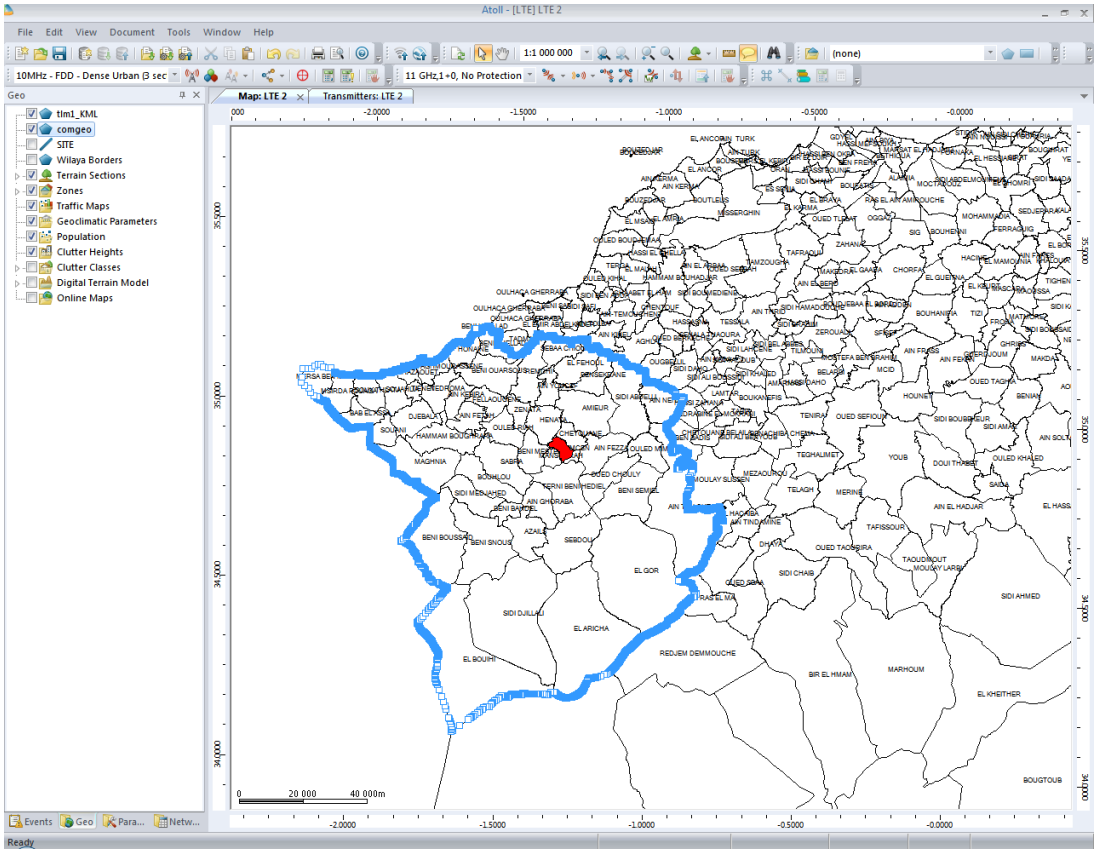


Figure III.7 : Zoom sur la Wilaya de Tlemcen.

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

- **Computation zone** (commune de Tlemcen) : utilisé pour définir la surface dans laquelle ATOLL prend en considération les émetteurs activent.
- **Focus zone** (en rouge) : c'est la zone exacte à planifier, dans laquelle ATOLL génère ses rapport et statistiques.

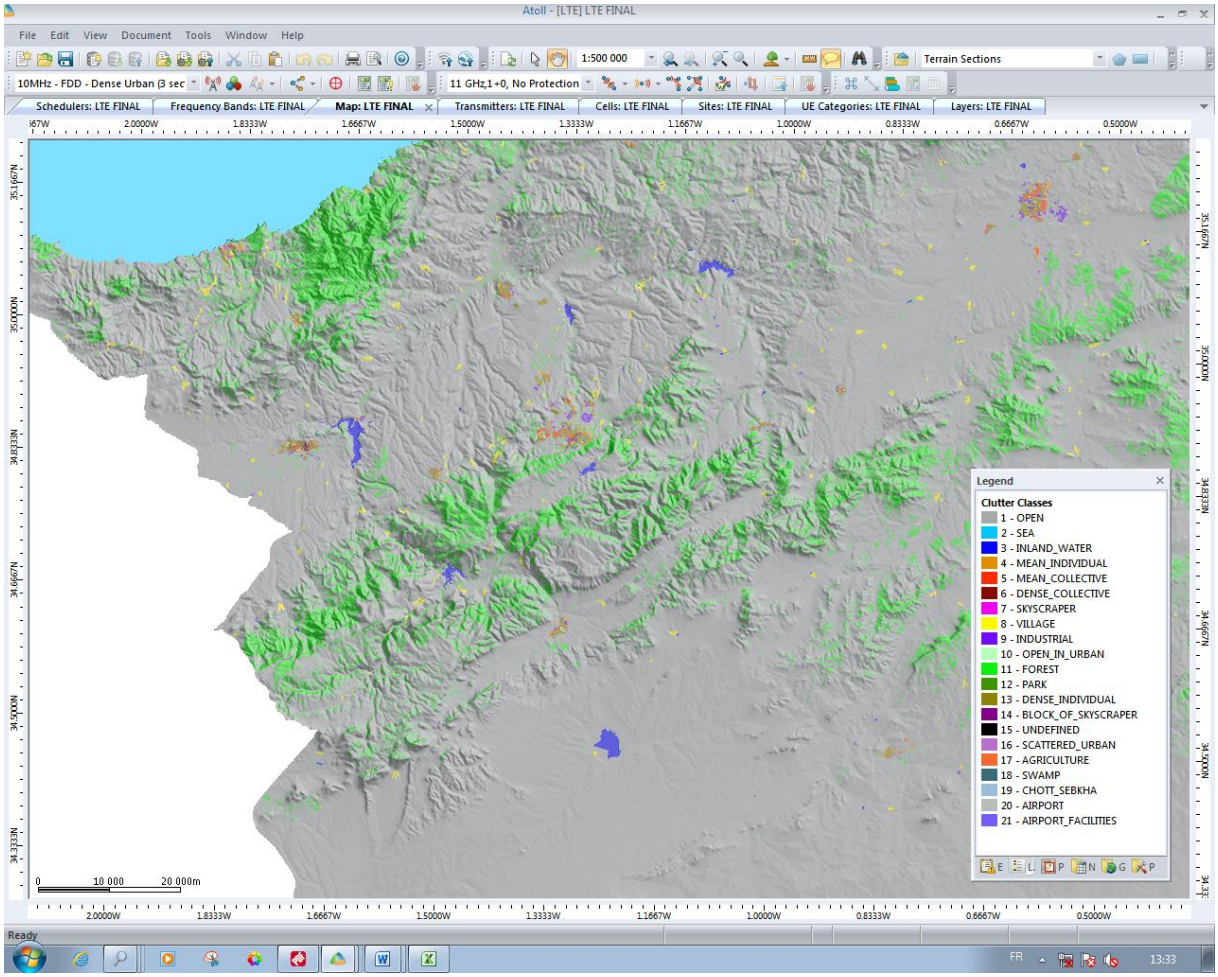


Figure III.8 : Carte avec clutter classes et clutter height.

III.5.5 Zone géographique à planifier :

Pour localiser la zone de couverture on choisit l'onglet **Coverage Export Zone**, ensuite nous faisons le contour complet. Dans notre cas, sur la carte en cliquant sur la petite icône hexagonale de couleur blanche à droite. Nous faisons une clique droite sur la ligne pour visualiser la surface exacte de la zone de couverture

La figure suivante présente un aperçu de la zone à planifier (Tlemcen ville), qui couvre un peu plus que 2.752 Km².

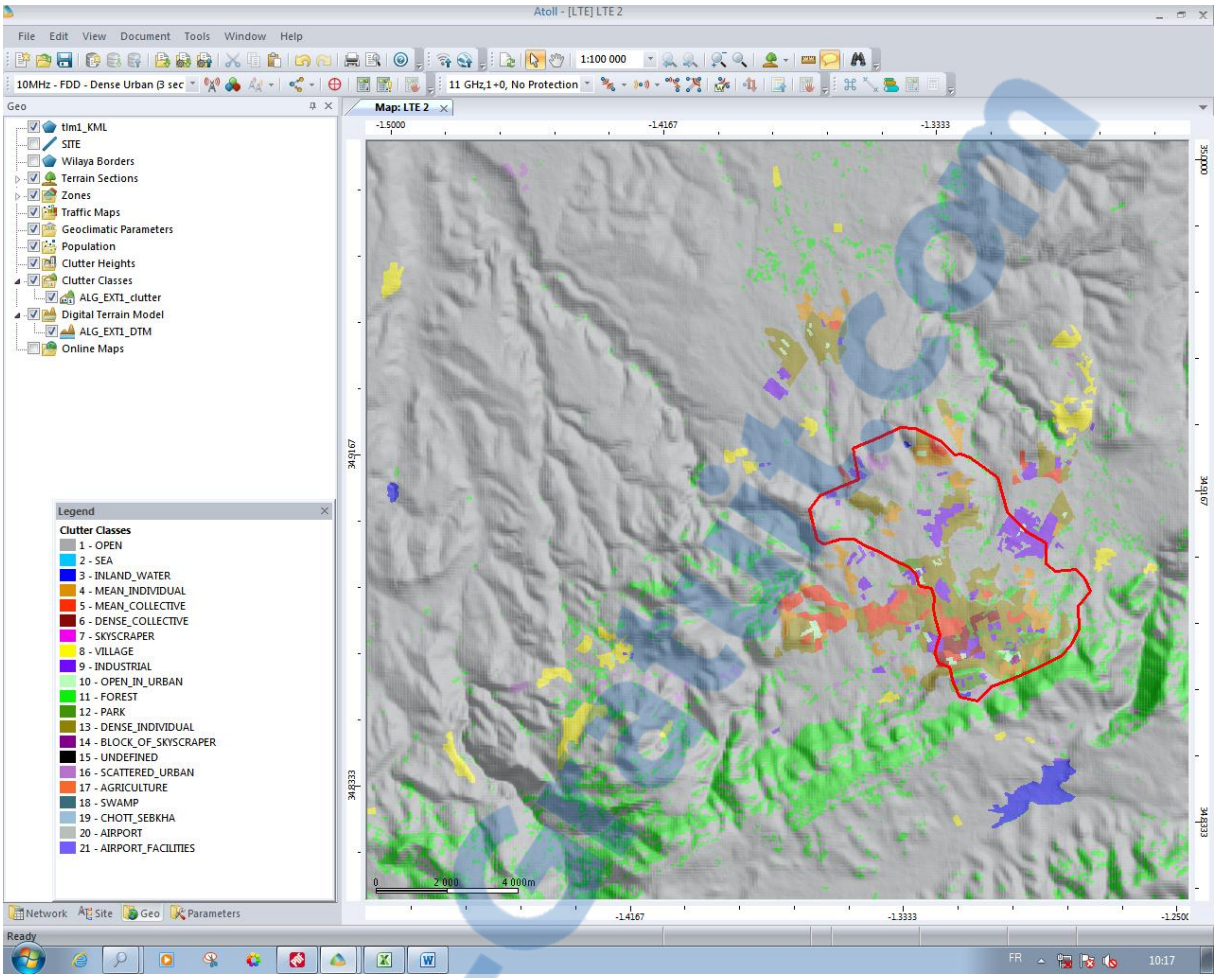
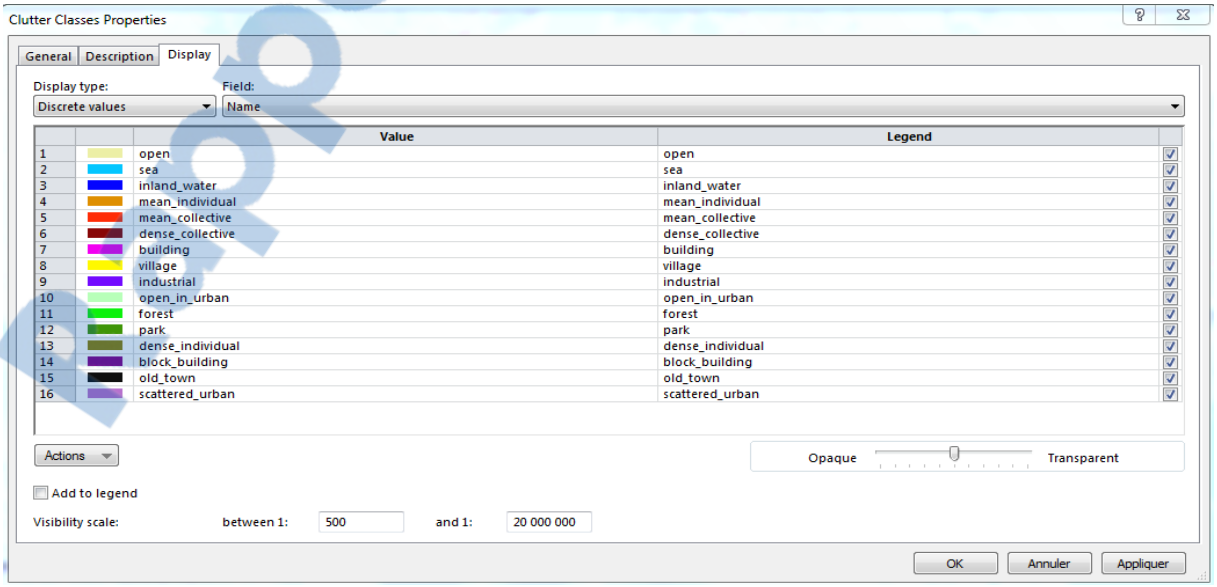


Figure III.9 : Zone géographique à planifier.

Cette zone se caractérise par une forte densité de population. Chaque couleur désigne la densité de la zone. Le tableau suivant présente la composition de cette zone :



	Value	Legend
1	open	open
2	sea	sea
3	inland_water	inland_water
4	mean_individual	mean_individual
5	mean_collective	mean_collective
6	dense_collective	dense_collective
7	building	building
8	village	village
9	industrial	industrial
10	open_in_urban	open_in_urban
11	forest	forest
12	park	park
13	dense_individual	dense_individual
14	block_building	block_building
15	old_town	old_town
16	scattered_urban	scattered_urban

Figure III.10: Tableau représente la légende de Tlemcen ville.

III.5.6 Cordonnées de système :

Pour le choix des cordonnées de système, nous cliquons sur le menu **Tool / option** sur la fenêtre qui s'affiche, puis nous cliquons sur le menu **projection** la fenêtre **cordinate Systems** s'affiche, cliquons ensuite sur le menu **Find** in choisissons **WGS84 UTM** zones (figure III.11).

Le système de coordonnées WGS84 est le système géodésique standard mondial, notamment utilisé par le système GPS ; il s'est rapidement imposé comme une référence pour la cartographie [19].

Un **système géodésique** est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre [20].

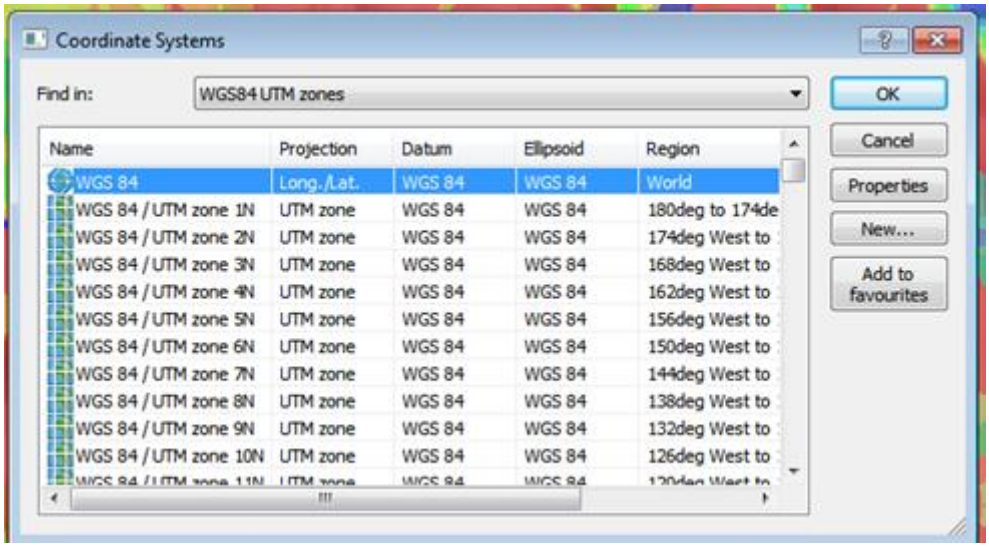


Figure III.11 : Choix du système de coordonnées.

III.5.7 Ajout des sites :

Pour introduire les sites, nous avons choisi la méthode du motif hexagonal. ATOLL calcule de façon automatique le nombre des sites nécessaires pour couvrir notre zone.

D'après le modèle de Cost-Hata, ATOLL à déposer **45 sites** (Théoriquement 47 sites) dans la zone géographique à planifier tout en respectant leurs positions et configurations en azimuth et tilt actuels.

Le logiciel ATTOL propose un outil qui cherche automatiquement le(s) meilleur(s) emplacement(s) à donner au site pour optimiser la couverture d'un réseau.

La figure suivante montre un aperçu de la zone à planifier et la distribution des sites dans toute la zone de la Wilaya de Tlemcen Ville, les sites sont numérotés de Site0 au Site44.

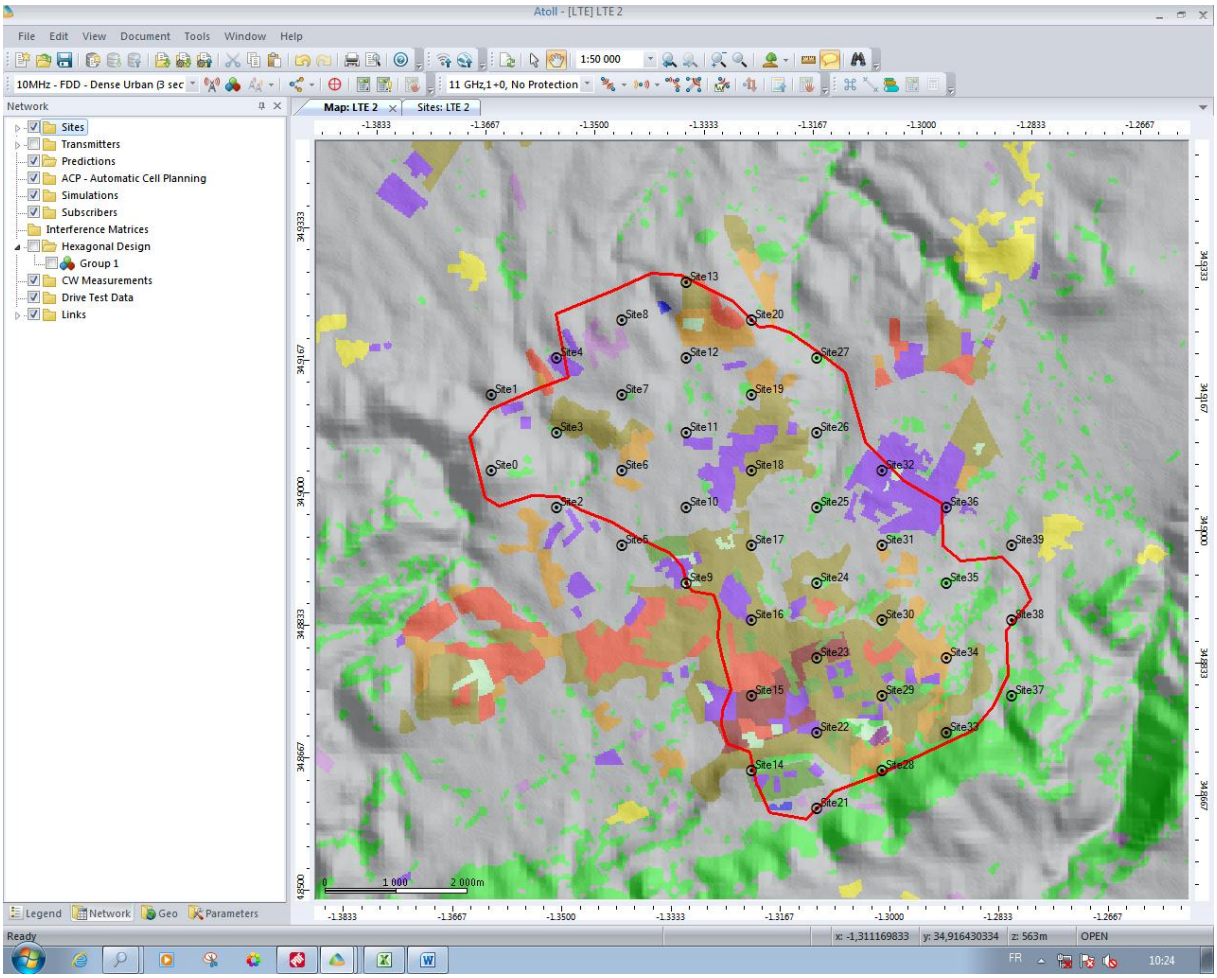


Figure III.12: Ajout des sites sur la zone sélectionnée.

Le choix du motif hexagonal permet à Atoll de nous donne un aperçu sur la distribution héxagonale des site dans la zone a couvrir (figure III.13).

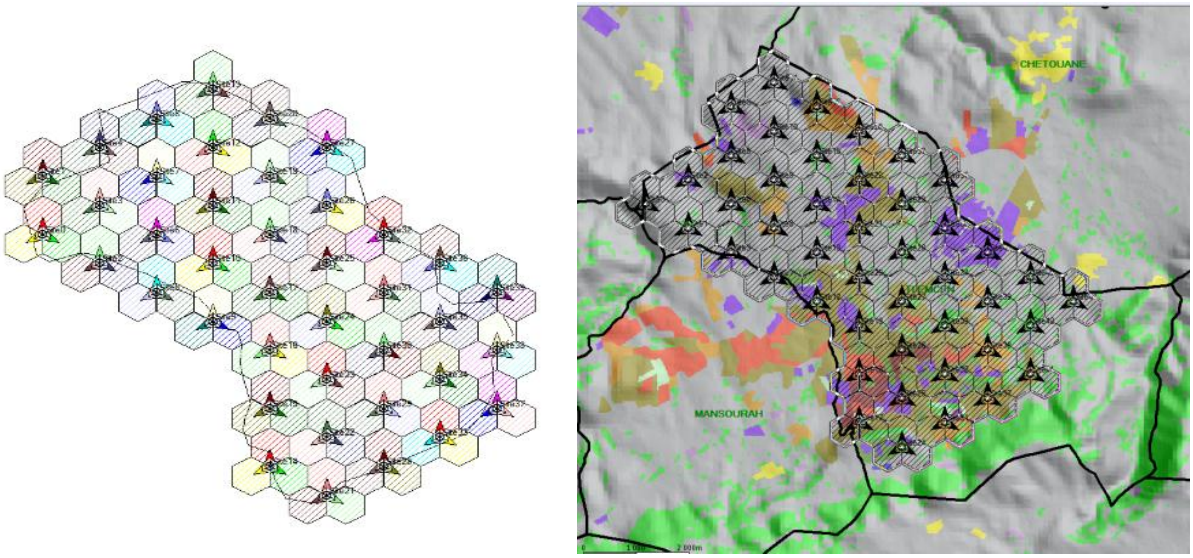


Figure III.13 : Motif hexagonal.

On peut définir pour une antenne son gain, son diagramme de rayonnement (vertical et horizontal) et sa bande de fréquence de travail. Ces données peuvent être obtenues à partir du

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRES

datasheet de l'antenne. Dans la définition d'un émetteur, son antenne est choisie parmi les antennes ainsi définies.

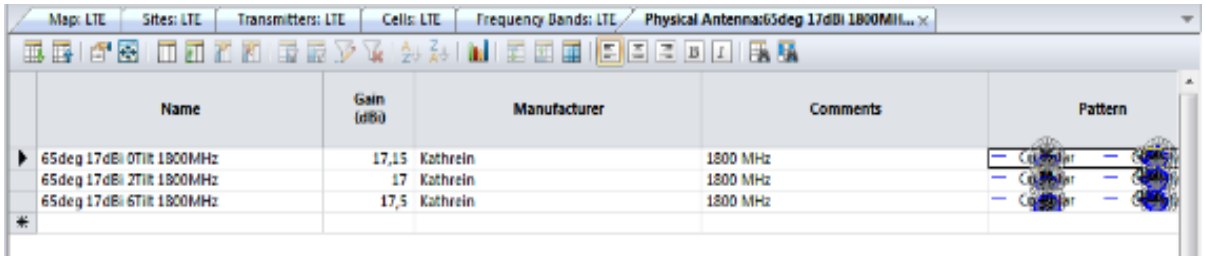


Figure III.14 : Les caractéristiques d'antenne utilisée.

III.5.8 Choix de la bande de fréquence :

L'autre partie consiste à remplir au niveau de chaque secteur de l'antenne les paramètres de propagation SUI, la bande de fréquence utilisée, le **Channel band**, les technologies qu'elles doivent utilisées etc. Faisons un clic sur un secteur d'un site quelconque au niveau de la carte, puis nous choisissons **Propriéties** pour remplir les paramètres puis validons à la fin par Appliquer + OK.

Dans notre travail, nous avons choisi la bande numéro **3** (figure III.15), Downlink 1805-1880 MHz et Uplink 1710-1785 MHz avec une largeur de bande égale à 20 MHz.

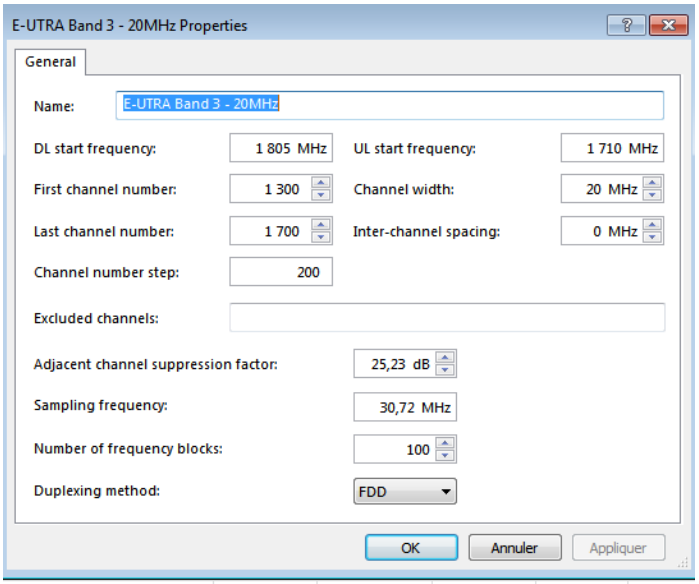


Figure III.15 : Choix de la bande de fréquence utilisée.

Après avoir entré tous ces paramètres et définir la zone à couvrir, nous allons lancer la prédiction afin de nous donner la couverture. A chaque fois nous avons fait une nouvelle prédiction pour savoir la couverture.

Remarque : pour les captures d'écran des différents calculs et prédictions qui vont suivre, seule la zone urbaine sera représenté pour une meilleure illustration des résultats.

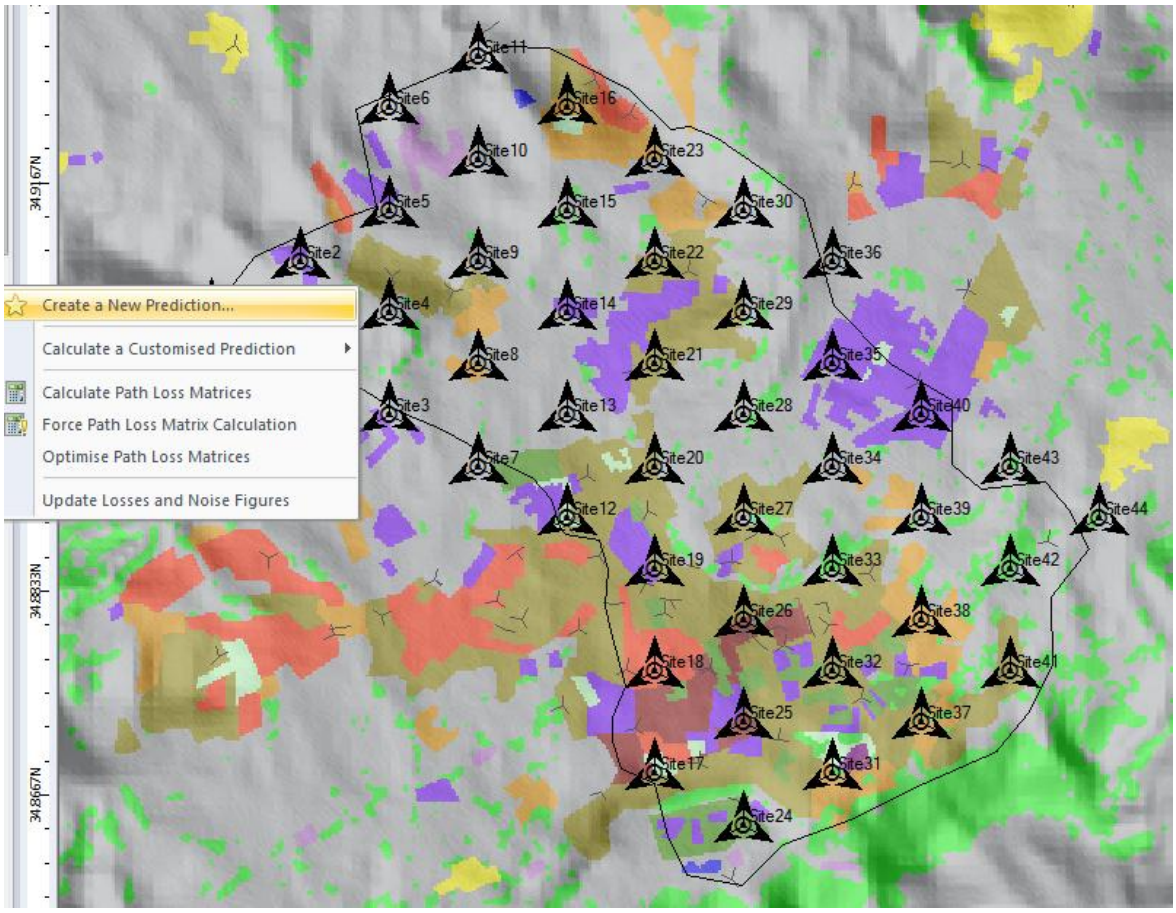


Figure III.16 : Lancement de la prédiction.

III.5.9 Etude de prédictions :

ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions ; Couverture par niveau de champ ; · Couverture par émetteur et étude du trafic, Zone de recouvrement et couverture par niveau de C/I...etc. Selon les besoins, le type de zone, type de transmitter, type des abonnées et type de services (Qualité de service QoS, Débit,…) (voir figure III.17).

Dans notre étude, dont s'intéresse sur les prédictions de : couverture par niveau de signal, couverture par capacité, couverture par transmission, couverture par débit, et en fin prédiction de la couverture par qualité de service

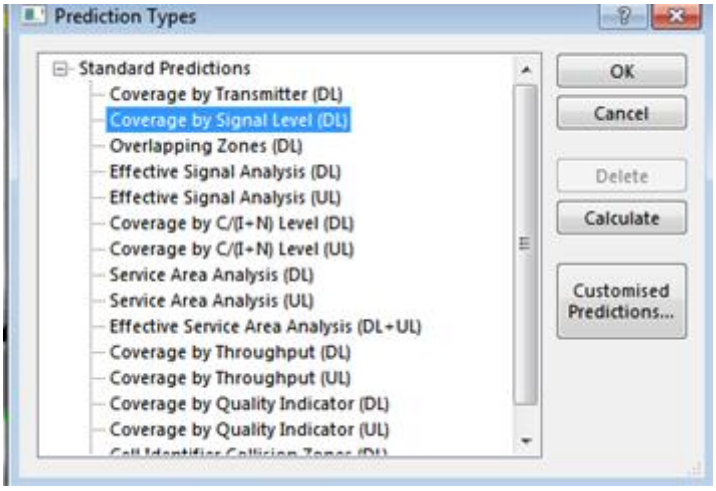


Figure III.17 : Différents types de prédictions.

III.5.9.1 Prédictions de la couverture par niveau de signal :

Cette prédiction permet d'estimer la puissance reçue par un mobile en chaque point de la zone de calcul. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones aveugles et essayer de les éliminer en procédant à des modifications de la configuration des sites et des émetteurs comme un déplacement de site, un changement de l'azimut d'un émetteur, un réglage de puissance ou une inclinaison (tilt) d'une antenne. Après le calcul qui est fait par ce type de prédiction on a obtenus le résultat illustré par la figure suivante.

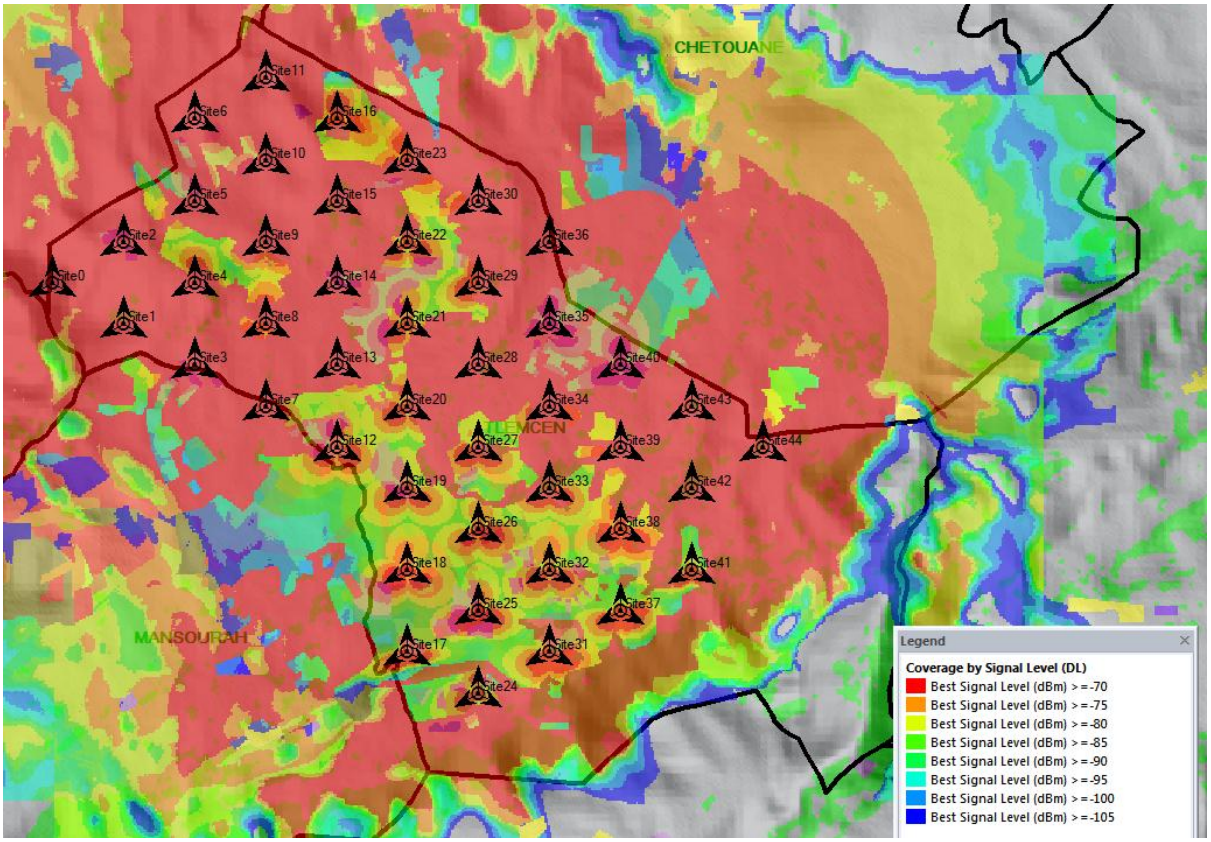


Figure III.18 : *Prédiction de la couverture par niveau du signal.*

D'après la figure ci-dessus, nous remarquons que la zone est bien couverte mais avec des dégradations de couleur. Chaque couleur définit un niveau de signal, la majorité de la zone est couverte par le rouge ce qui montre une valeur bien importante (-70 dBm), le reste de la zone est de couleur orange et jaune aussi de bonne valeurs, selon la légende qui montre le couleur avec sa propre valeur de niveau de signal.

III.5.9.2 Prédictions de la couverture par transmission :

Cette prédiction nous permet de déterminer les limites des différentes cellules du réseau LTE-4G afin de préciser la zone de couverture du site congestionné sur lequel nous voulons appliquer le principe de l'optimisation. La figure suivante montre la transmission de chaque site avec ses 3 secteurs.

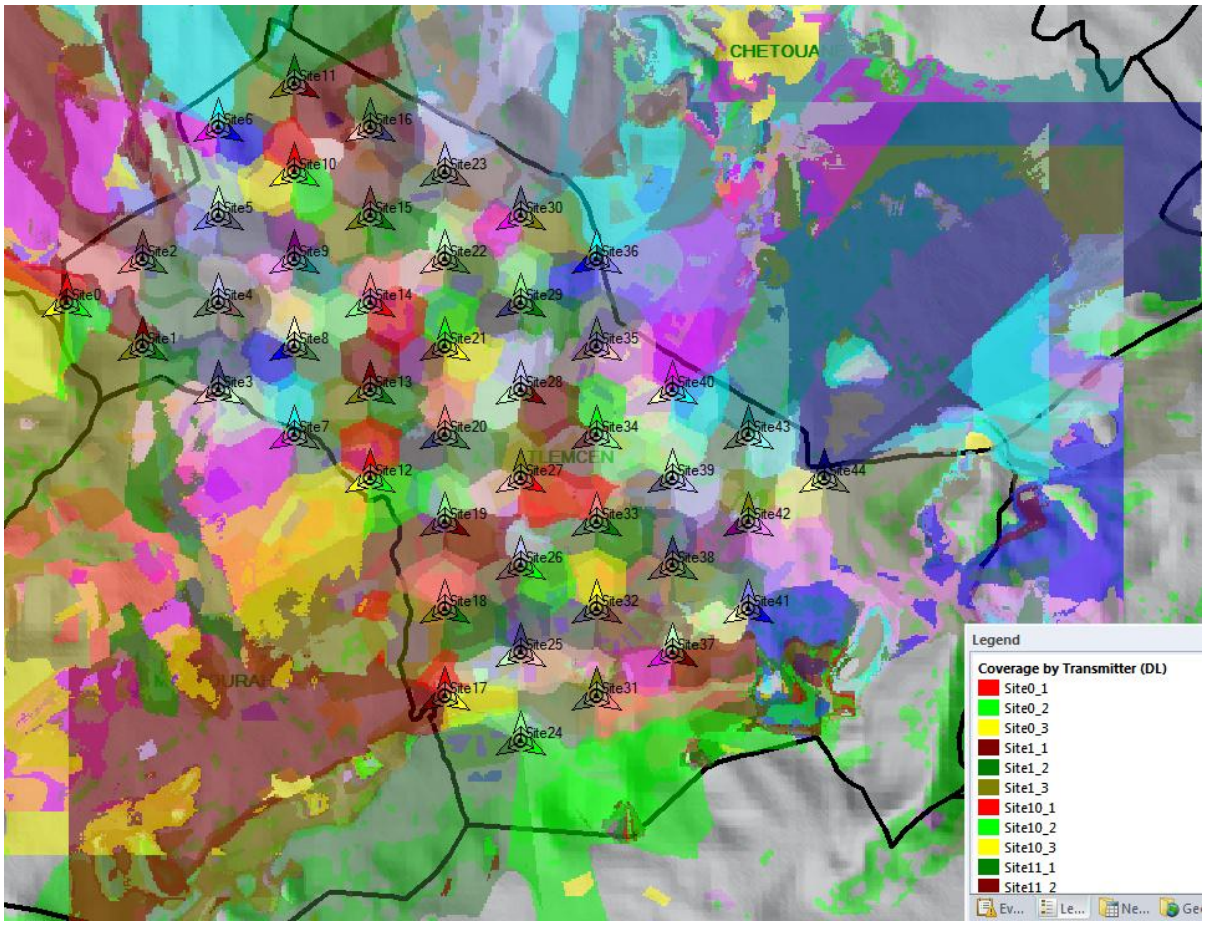
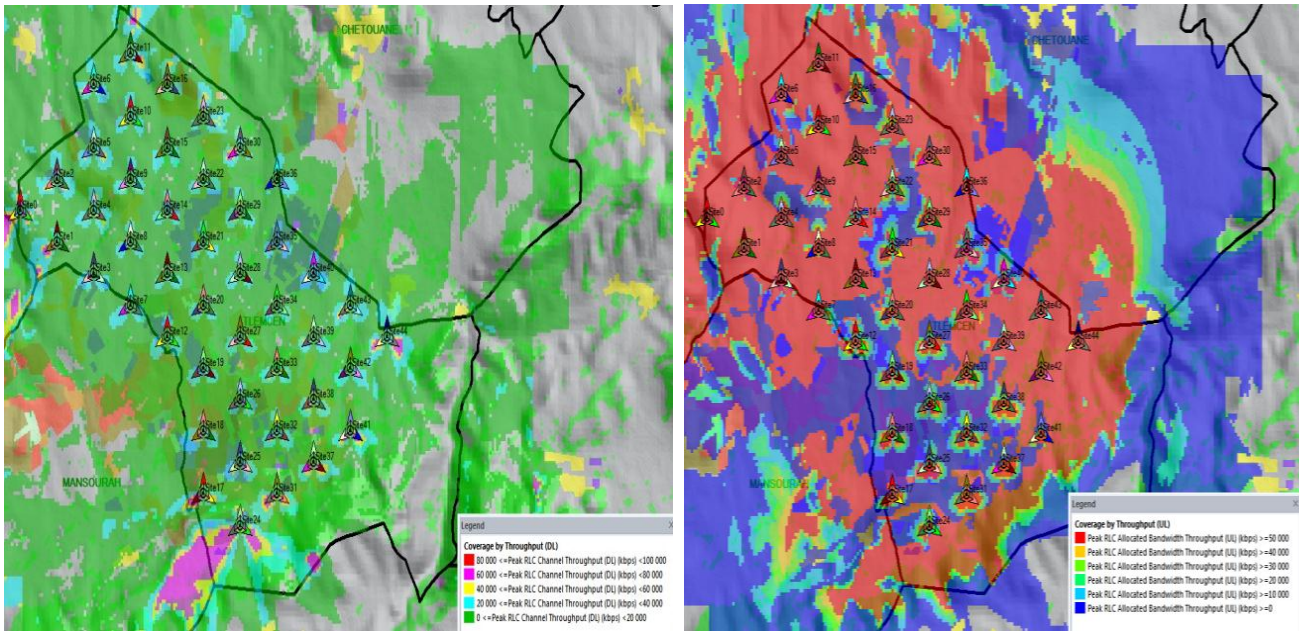


Figure III.19 : *Prédiction de la couverture par transmission.*

III.5.9.3 Prédictions de la couverture par débit :

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.



Uplink Downlink

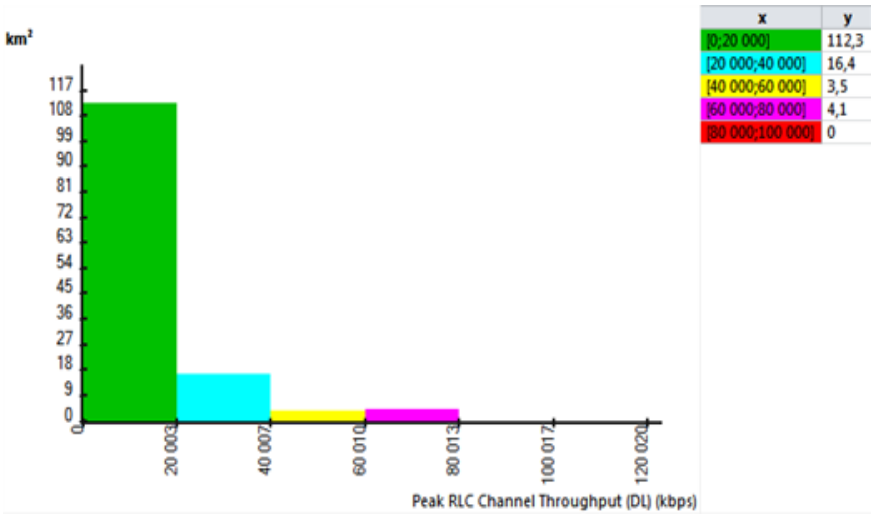
Figure III.20 : *Prédiction de la couverture par débit.*

Cette carte de trafic présente la quantité de trafic maximale qu'un émetteur peut servir dans une zone. Pour calculer ce trafic, nous avons pris comme support les mesures de trafic des services par site à l'heure de pointe afin de garantir la meilleure satisfaction des abonnés.

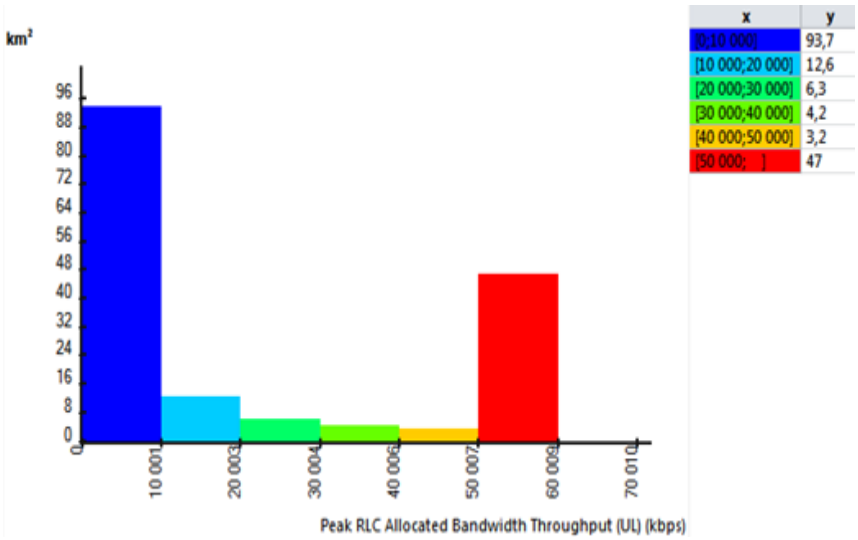
La prédiction de la couverture par débit est faite pour la voie montante (Uplink) pour la voie descendante (Downlink). La figure III.20 représente les deux cas, ou chaque couleur désigne un intervalle de débit selon la légende. Nous avons introduire quelques paramètres qui sont nécessaires pour cette prédiction, comme le débit de chaque sites pour les 2 voies. On a pour la voie montante 54 Mbit/s et pour la voie descendante 150Mbit/s pour chaque secteur selon la norme de LTE.

Le résultat de la simulation montre que plus part de nos sites 4G-LTE assurent un bon pourcentage de satisfaction d'abonnés servis.

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



(a)



(b)

Figure III.21 : *Résultat de calcul du débit pour les deux voies.*

Pour la voie descendante (figure III.21.a), on remarque que toute la zone est bien couverte avec un débit important. 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 88 Km^2 (couleur bleu sur la figure III.21.b). On a un autre intervalle qui porte un débit important peut atteindre 50Mbits/s pour une zone de 47 Km^2.

III.5.9.4 Prédictions de la couverture par niveau de C/I :

Après avoir affecté les canaux à chaque émetteur en respectant en autre la distance de réutilisation des porteuses, on peut analyser les niveaux d'interférences sur le réseau. Le respect de ces paramètres (niveau de C/I) est primordial pour le fonctionnement du réseau et permet de limiter les interférences co-canal.

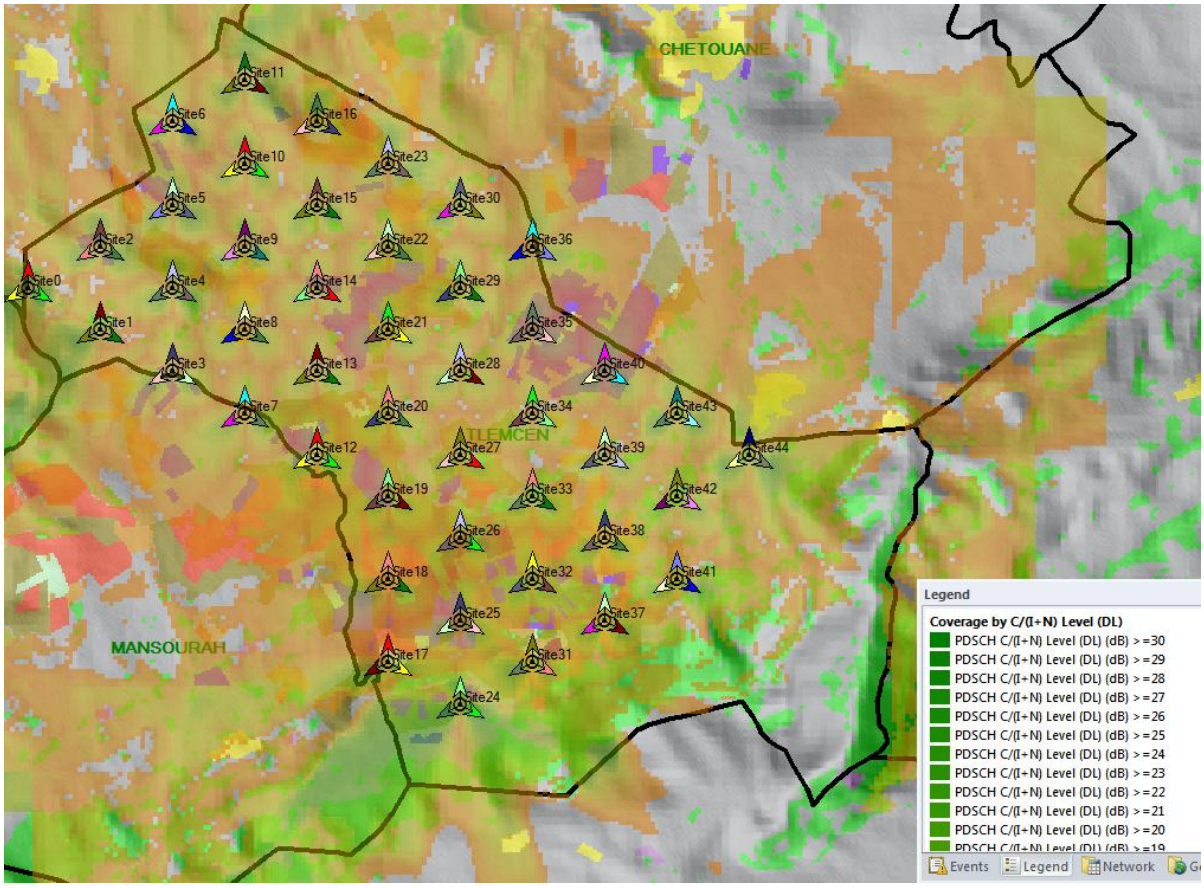


Figure III.22: *Prédiction de la couverture par niveau de C/I.*

La figure suivante montre le passionnément des sites importés au logiciel Google Earth pour obtenir une image réelle de la couverture.

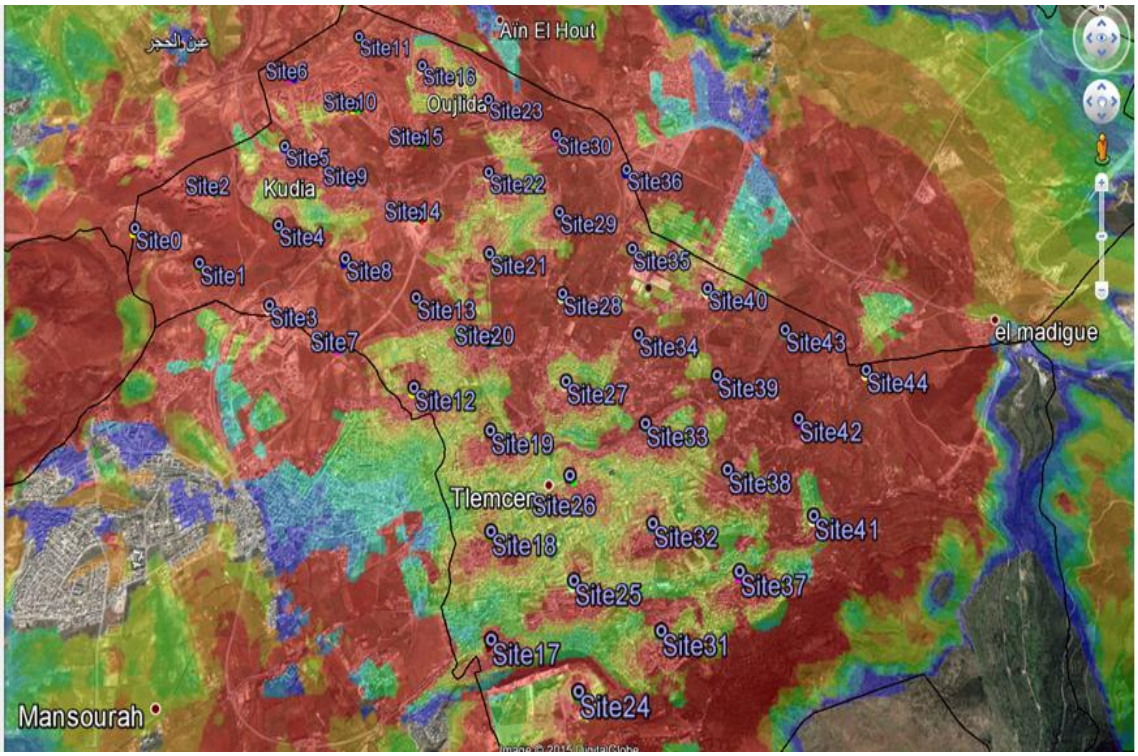


Figure III.23 : *Image réelle des sites sur Google Earth.*

III.6 CONCLUSION :

Dans ce projet, nous avons dimensionné et déployer un réseau cellulaire LTE sur une zone géographique principalement Ville de Tlemcen. Comme le travail accompli sur l'outil logiciel de planification 'Atoll' est plus long pour que ses étapes soient représentées en détails avec des captures d'écran dans une dizaine de pages, ce chapitre a plutôt présenté le principe et la procédure de raisonnement et d'action.

Les étapes décrites sont définies par des experts de la planification pour garantir une efficacité en termes de qualité, de coût et de temps pris pour aboutir à un plan complet du réseau.

L'interprétation des prédictions et des différentes analyses nécessite une bonne compréhension de l'ensemble des mécanismes naturels et des paramètres de configuration du système intervenant dans les résultats pour pouvoir ensuite appliquer les modifications adéquates.

CHAPITRE 4

OPTIMISATION DU RESAU LTE : zone de Tlemcen ville

Rapport-Gratuit.com

IV.1 INTRODUCTION :

L'optimisation des réseaux Radio cellulaires et des réseaux de transmission numérique consiste à auditer le réseau existant en relevant les caractéristiques de ses équipements et installations. Ces données permettent une fois étudiées d'établir la couverture radio assurée par le réseau dans sa configuration actuelle. Ceci permet infini d'identifier les défauts et d'apporter les correctives nécessaires en vue de répondre aux objectifs de performances demandées (qualité de services et couverture radio).

Dans le chapitre précédant, nous avons planifié notre zone avec l'outil ATOLL, donc après l'introduction des sites par la méthode qui repose sur la forme hexagonale, il nous a donné ses différentes couvertures finales.

Nous avons donc jugé important de proposer une procédure de l'optimisation du réseau. Premièrement, en supprimant les sites inutiles et qui couvre une vaste zone où il y'a pas d'habitants (par exemple des sites situant dans des forêts, montagnes, routes...). Deuxièmement, en déplacent les sites dont la morphologie du terrain présente un obstacle pour le champ de rayonnement de ses antennes, et finalement en modifiant les tilts et les azimuts des antennes.

Dans le cadre de ce chapitre, nous essayerons d'optimiser la planification qui été faite dans le chapitre précédent pour obtenir un meilleur résultat de couverture.

IV.2 L'AUTO OPTIMISATION :

L'auto-optimisation se déroule en mode opérationnel et permet aux opérateurs de bénéficier d'une optimisation dynamique (équilibrage de charges, économie d'énergie...).

Cette optimisation autonome permet de traiter plus rapidement les problèmes et d'améliorer les performances du réseau [22].

IV.3 DIFFERENTS PHASES D'OPTIMISATION :

1- Surpressions des sites : nous avons supprimé quelques sites situant dans des zones isolées « open area » qui ne seront inutiles de les mettre. (exemple : Site43 et Site44).
2- Recherche de meilleurs emplacements pour les sites : un des principaux problèmes de la planification est de placement de station de base afin de permettre une couverture optimale au réseau.
3- Déplacement des sites : nous avons déplacé certaines sites dans des zones dense ou il existe un nombre important d'habitants afin obtenir une bonne couverture avec une portée maximum et un débit important pour chaque utilisateur.

Il est nécessaire de disposer les données d'altitudes de la zone et les coordonnées GPS, dont on cherche de déplacer les sites, dans le tableau qui suit nous citons les nouveaux sites qui nous l'avons déplacé avec ses coordonnées GPS :

Nom du site	Latitude	Longitude
Site 4	34.909883°	-1.351476°
Site 8	34.908431°	-1.342705°
Site 21	34.905486°	-1.325690°
Site 29	34.908949°	-1.318947°
Site 30	34.915856°	-1.321335°
Site 13	34.895626°	-1.331191°
Site 27	34.888539°	-1.312972°
Site 28	34.893711°	-1.314365°
Site 0	34.869993°	-1.309558°
Site 1	34.872190°	-1.324895°
Site 2	34.883141°	-1.304781°
Site 42	34.879899°	-1.294046°
Site 36	34.874569°	-1.300641°
Site 33	34.885188°	-1.308476°
Site 39	34.887857°	-1.301357°
Site 3	34.882624°	-1.306852°
Site 7	34.882579°	-1.326734°

Tableau IV.1 : *Latitude et longitude des sites à déplacer.*

Nous avons introduire ces paramètres dans le logiciel ATOLL comme des entrées. Donc, on va proposer manuellement le(s) meilleur(s) emplacement(s) à donner pour les sites afin d'optimiser la couverture de notre réseau.

4- Modification des tilts et des azimuts des antennes : c'est la dernière phase, elle reste après l'installation des sites et pour cela on fait drive test.

Pour un réseau donné dont nous avons déjà planifié et nous avons suivis toutes les phases d'optimisation, le logiciel Atoll nous à calculer de nouveau la couverture.

IV.4 RESULTAT D'OTIMIZATION :

L'optimisation a été effectuée sur différentes phases, en se basant sur quatre contraintes :

IV.4.1 La phase de la couverture :

Cette phase consiste à effectuer des prédictions sur la couverture, puis des modifications et nous recommençons les prédictions jusqu'à aboutir un résultat convainquant.

Rapport-gratuit.com LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRES

La valeur de seuil est de -105 dBm.

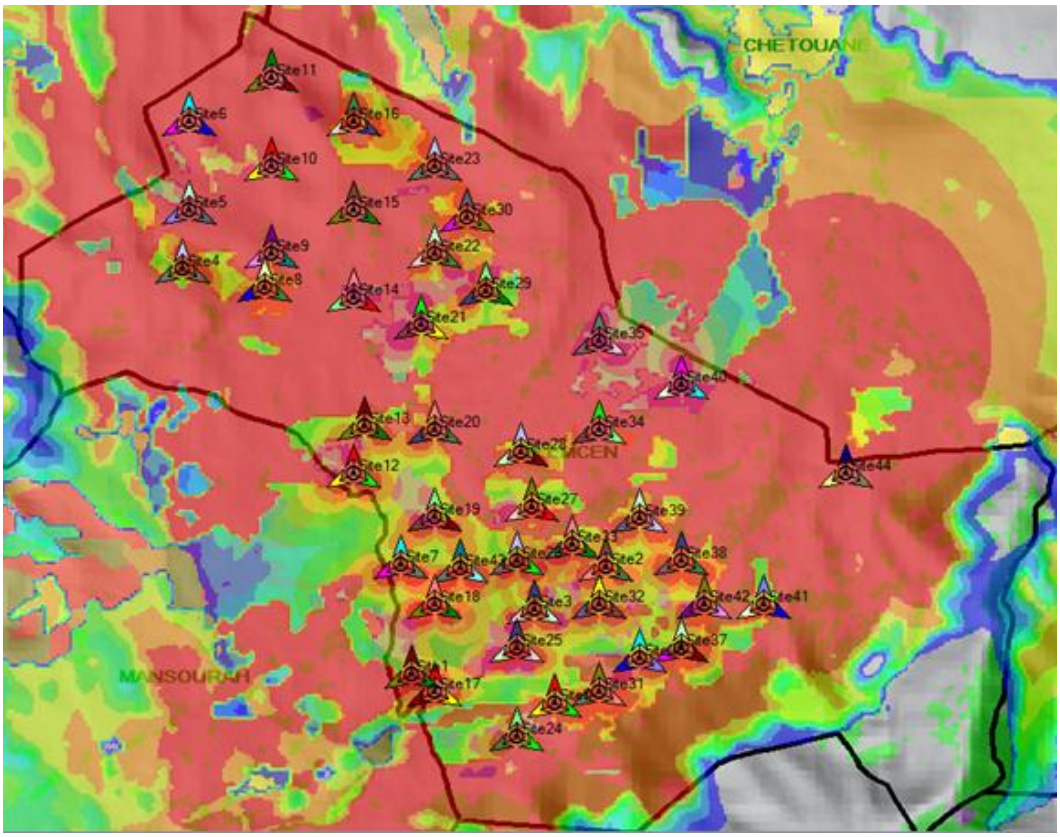


Figure IV.1 : *Optimisation de la couverture par niveau de signal.*

Les résultats sont représentés sur un diagramme des statistiques donné par la figure suivante. Chaque couleur désigne un niveau de signal comme l'indique sur la légende de la figure. D'après les résultats, on remarque que plus que 50,8 km^2 de zone couverte par les sites ont le meilleur niveau de signal supérieur de -70dBm, tandis que seulement 9,1 Km² de la zone a un niveau de signal entre -100 dBm à -105 dBm qui reste toujours inférieur au seuil fixé pour l'optimisation.

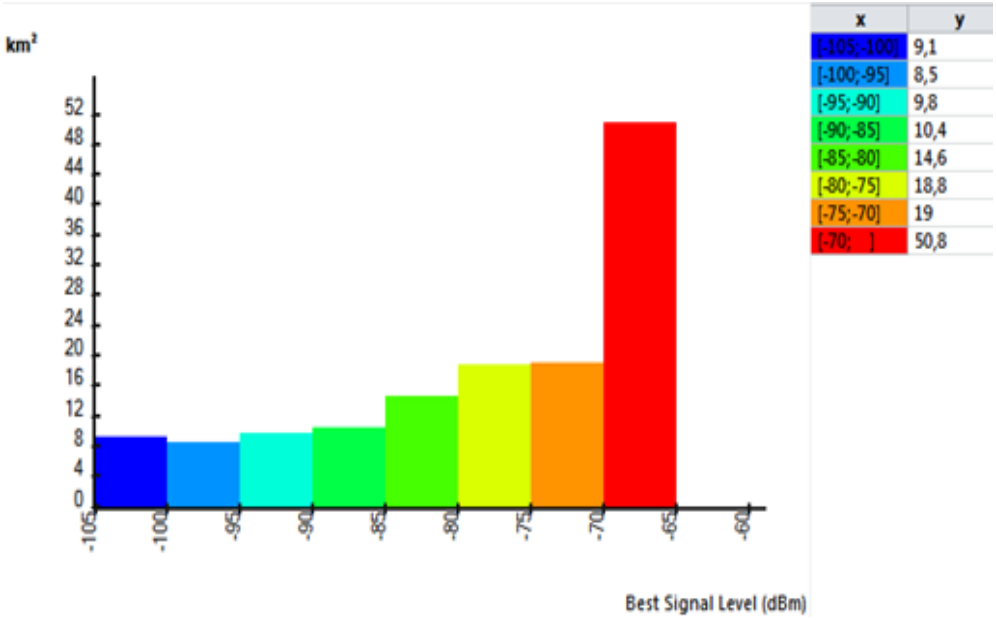


Figure IV.2 : *Statistique de l'optimisation de la couverture par niveau de signal.*

IV.4.2 La phase de la qualité :

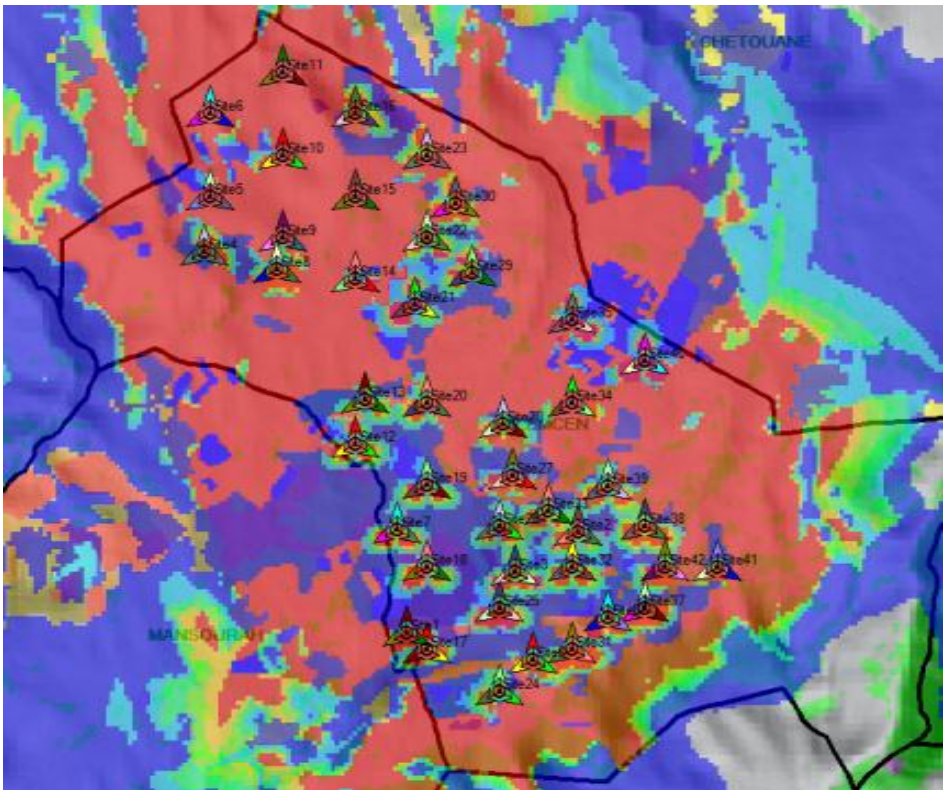
Une fois que la contrainte de couverture a été satisfaite, nous passons à la deuxième phase qui se base sur le paramètre Ec/I0 (rapport énergie sur interférences) qui reflète la qualité du signal. De même que la première phase, nous effectuons des prédictions, des modifications puis nous refond les prédictions.

IV.4.3 La phase de la zone de couverture de chaque antenne :

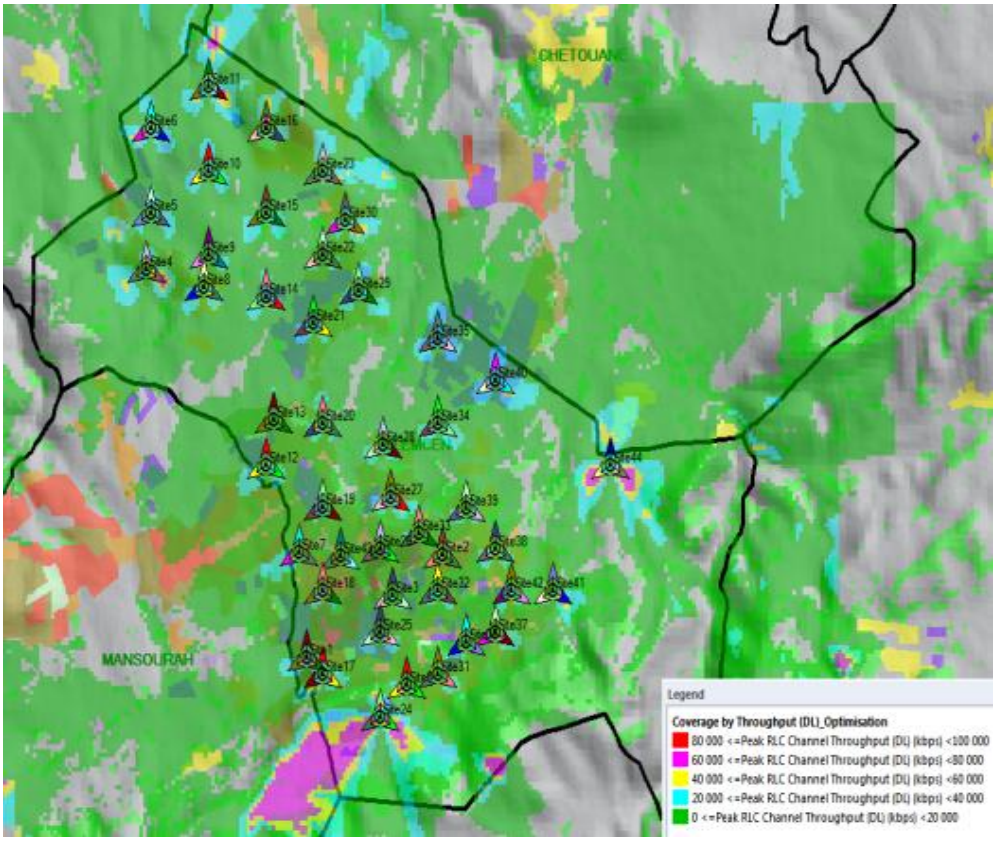
Cette phase est essentielle vue qu'elle nous renseigne sur les champs de chaque antenne. nous pouvons alors voir les zones de chevauchement des antennes, puis les réduire afin de minimiser l'interférence.

IV.4.4 La phase de la capacité (Débit) :

Elle convient de préciser les interactions entre capacité et débit. Nous savons que la capacité d'une cellule correspond au trafic total maximal qu'elle peut écouler en situation de forte charge au cours d'une période donnée. La capacité d'une cellule est conditionnée par l'efficacité spectrale du système et la ressource spectrale disponible. Comme nous l'avons vu, les techniques employées par les évolutions des systèmes cellulaires impliquent un partage des ressources entre les UE (User Elements) connectés à une même cellule. Aussi, la présence de plusieurs UE actifs sous une même cellule se traduit-elle par une réduction du débit fourni à chacun. En particulier, le débit moyen par utilisateur en situation de forte charge peut être approché par la capacité divisée par le nombre d'UE actifs dans la cellule. La capacité d'un réseau limite donc la valeur des débits dans un scénario impliquant plusieurs UE actifs, ou le nombre d'UE pouvant être servis simultanément avec un débit donné.



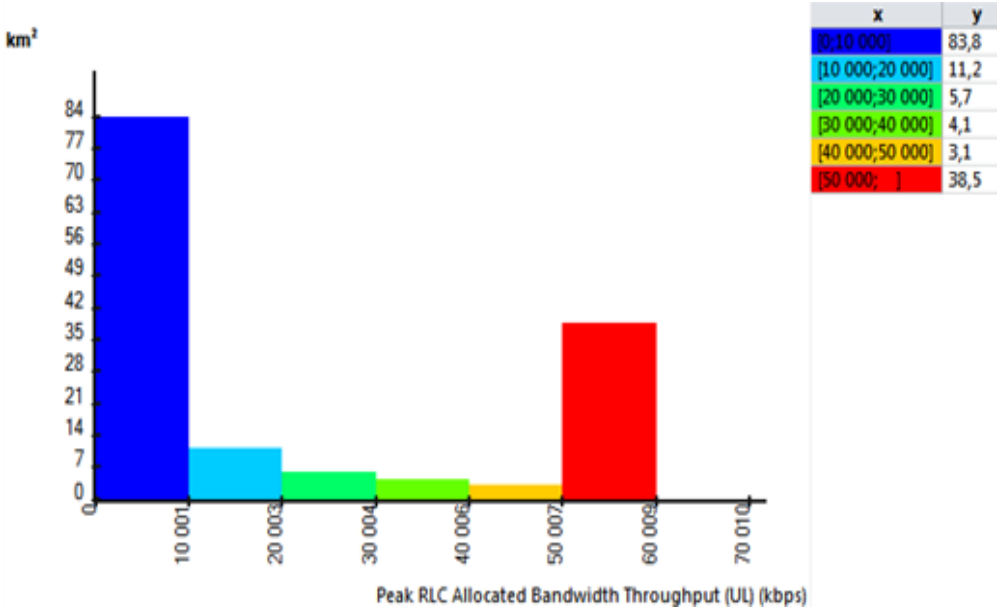
(a)



(b)

Figure IV.3 : *Optimisation de la couverture par débit : (a) en Uplink, (b) en Downlink.*

Nous présentons sur la figure suivante les statistiques de calcules après l'optimisation de la couverture par débit :



(a)

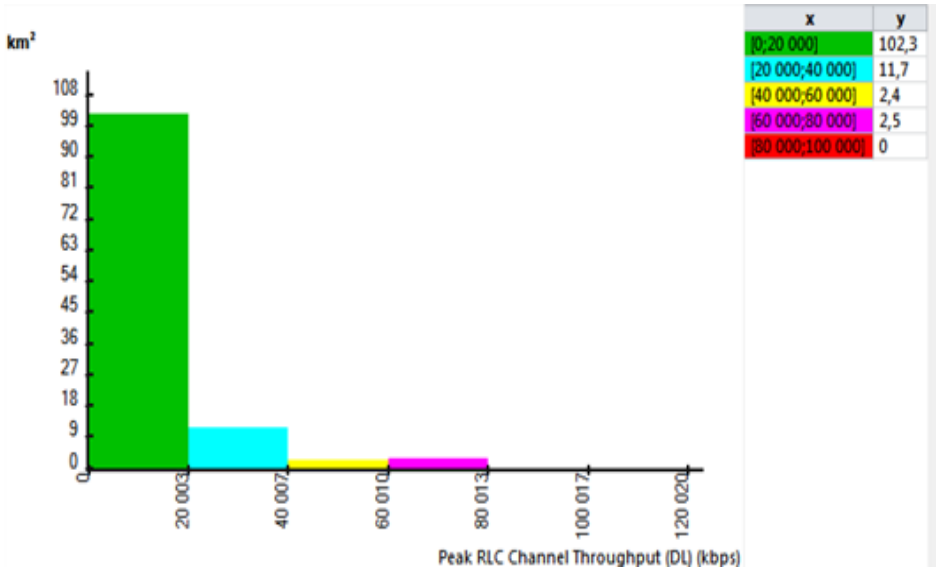
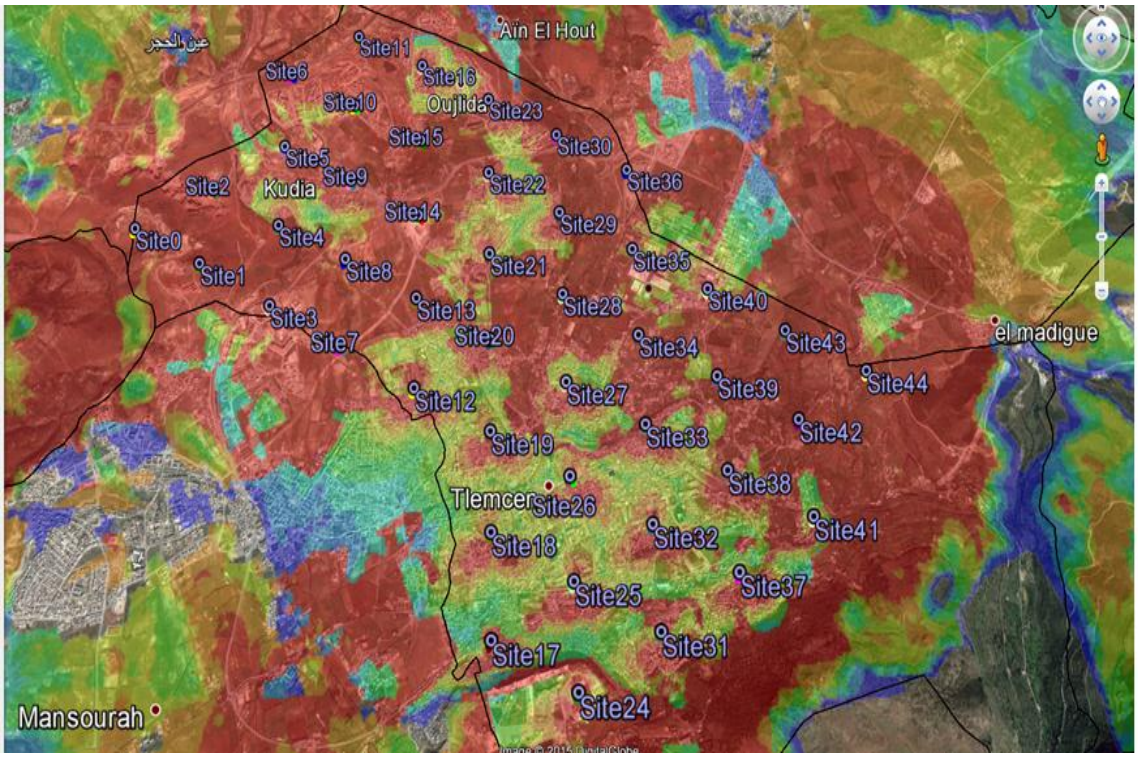


Figure IV.4 : Statistique de l'optimisation de la couverture par débit : (a) en Uplink, (b) en Downlink.

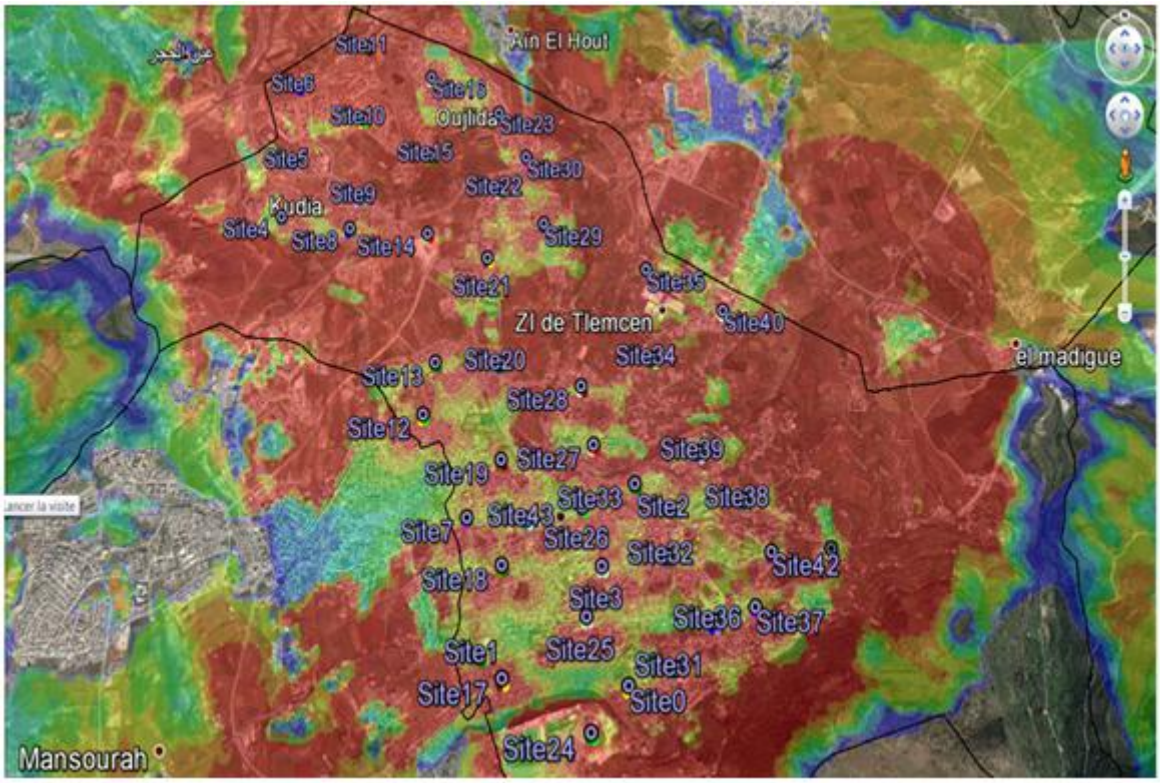
IV.5 COMPARAISON DES RESULTATS :

Dans cette section nous essayions de faire une comparaison entre les résultats de simulation de la planification au niveau de la ville de Tlemcen avant et après optimisation. D'après les figues ci-dessous, nous remarquons qu'avant l'optimisation de notre réseau (figure IV.5.a), la couverture de notre zone dans quelques endroits était faible, zone avec la couleur vert.

Par contre, après l'optimisation (figure IV.5.b) on a obtenu un résultat meilleur en termes de couverture par débit. Ainsi, on remarque que presque toute la zone est bien couverte (en couleur rouge) avec des débits importants, et une diminution du couleur vert qui représente les zones à faible débit.



(a)



(b)

Figure IV.5 : *Comparaison entre les résultats de la couverture avant et après optimisation.*

A la fin de la phase d'optimisation, la zone du la commune ou la ville de Tlemcen est bien couverte, on peut maintenant prendre les résultats finaux de la planification:

- Surface couverte = 3 Km².
- Nombre d'eNodeB = 42. (site 44 supprimé)
- Distance intersites entre 300 et 350 m.

D'après le paramétrage du réseau en fonction des besoins du client et le nombre d'habitants nous avons calculé le nombre de site pour satisfaire toute la zone (ville de Tlemcen) nous avons trouvé 47 sites selon les calculs théoriques.

La planification par le logiciel ATOLL permet de disposer 45 sites sur la zone à couvrir et cela par la planification des cellules nominales, dimensionnement du réseau et prédiction de la couverture par capacité.

L'optimisation permet une distribution optimale des sites sur la zone et même d'éliminer les sites inutiles (comme site 43 dans notre cas), nous faite une minimisation des dépenses de capital et des couts d'exploitation.

Une bonne étude d'implantation d'équipements nous a permis de créer une couverture optimale avec une meilleure connectivité. Pour bénéficier de cette solution, la ville Tlemcen doit être

dans une zone couverte par le réseau 4G - LTE, pour cela il faut 44 sites. Pour une couverture de 100% de la Wilaya de Tlemcen il faut au moins 240 eNodeB.

L'état actuel de la couverture dans la wilaya de Tlemcen, et selon Algérie Télécom est le suivant : 8 eNodeB existant dans la Wilaya de Tlemcen ce qui très peu par rapport à la surface géographique de Tlemcen qui représente un pourcentage de couverture qui ne dépasse pas le 3 %.

Figure IV.6 : *L'état actuel des eNodeB existant dans la wilaya de Tlemcen.*

Le tableau suivant regroupe les cordonnés GPS des eNodeB qui se trouve dans la wilaya de Tlemcen selon l'opérateur de télécoms (Algérie Télécom):

Nom du site	Type de zone	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Hauteur de pilant (m)
CAH MAGHNIA	Sub-urbain	34°51'12.42''N	1°44'5.88''O	451	45
URAD IMAMA	urbain	34°52'58.00 ''N	1°20'55.00''O	829	40
URAD REMCHI	Sub-urbain	35°6'0.00''N	1°25'60.00''O	208	42
URAD NEDROMA	Sub-urbain	35°0'44.00''N	1°25'60.00''O	434	42
BTS WLL OUDJLIDA	Sub-urbain	34°55'34.00''N	1°19'44.00''O	723	25
CAH TLM	urbain	34°52'44.00''N	1°18'54.00''O	810	40
CFPA GHAZAOUET	Sub-urbain	35°5'11.02''N	1°51'33.43''O	113	40
ZONE INDUSTRIELLE	Rural	34°53'57.00''N	1°51'33.43''O	644	25

Tableau IV.2 : *Coordonnées GPS des eNodeB de la wilaya de Tlemcen.*

IV.6 CONCLUSION :

Au cours de ce chapitre nous avons évoqué tous les étapes en relation avec la réalisation de la phase de l'optimisation de notre réseau cellulaire LTE au niveau de la ville de Tlemcen par le logiciel de planification et d'optimisation ATOLL.

Après toute une étude d'une planification d'un réseau LTE dans la commune de Tlemcen, nous avons amélioré non seulement les aspects clés de performances de l'utilisateur de ce réseau qui sont le débit et la couverture mais aussi nous avons fait une optimisation en minimisant des dépenses de capital et des couts d'exploitation et cela par le déplacement des sites pour améliorer la capacité du réseau et par la réduction de nombre de sites.

CONCLUSION GENERALE

Rapport-Gratuit.com

Conclusion générale

Ce mémoire est le résultat d'une planification et optimisation d'un réseau LTE dans la wilaya de Tlemcen après avoir une étude approfondie sur LTE. Dans ce projet nous avons répondu sur la problématique posée avant (pourquoi la technologie LTE ?) Qui se résoudre en quelques caractéristiques qui sont :

- Il offre un débit de donnée crête sur la voie montante de 54 Mbits/s
- un débit pic théorique de 150 Mbits/s à 300 sur la voie descendante et un temps d'aller-retour de moins de 10 ms sur l'interface radio (RAN).
- Le LTE utilise une largeur de bande de 2x20 MHz et supporte le duplexage temporel (TDD) ou fréquentiel (FDD) ;
- la taille des cellules est de 3 km pour des performances optimales.
- Ces performances sont possibles grâce à l'utilisation d'antennes MIMO (Multiple Input Multiple Output) avec les techniques de transmission OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), d'accès multiples : OFDMA (OFDM Multiple Access) sur la voie descendante et la technique SC-FDMA (Single-Carrier FDMA) sur la voie montante réduire le problème du canal
- LTE répond à nouveaux besoins (délai court, débit élevé..).
- architecture générale simplifié.
- -pile protocolaire repose sur le protocole IP.
- -qualité de service est principalement garantis par EPS beares de bout en bout.

L'objectif principal de ce projet est de planifier une zone de la ville de Tlemcen selon un outil de planification qui un logiciel ATOLL ? Après nous avons proposé des méthodes pour l'optimisation comme solution afin d'obtenir une meilleurs planification avec une bonne couverture.

Le présent travail a permis de bien savoir planifier une zone afin de mettre en œuvre un nouveau réseau, bien manipuler l'outil de planification (ATOLL). La planification commence par une bonne compréhension des besoins des utilisateurs. Ces exigences correspondent au service attendu à la fois en termes de temps, d'espace et de qualité.

En termes d'espace, ces exigences définissent avec précision les zones géographiques à couvrir ; en termes de qualité elles définissent par exemple les types d'appels à supporter, les transmissions de paquets ou la capacité de débit pour la transmission de données ; enfin en termes de temps elles définissent la façon dont l'utilisateur souhaitera voir évoluer le réseau.

La planification des réseaux radio permet d'économiser substantiellement le temps et l'argent. Tous les opérateurs du spectre radioélectrique recherchent ces économies – obtenir une efficacité maximale pour un investissement minimal. Hors la clef de l'optimisation se trouve dans la planification des réseaux, qu'ils soient locaux, régionaux ou nationaux, permettant ainsi le déploiement d'un minimum de stations pour offrir le service requis.

Pour ce faire, Nous avons commencé par une généralité sur les réseaux cellulaires et les étapes majeures du développement des réseaux mobiles, de leurs premiers pas à leurs dernières évolutions.

La deuxième partie a été consacrée pour une étude générale de la technologie Radio Mobile LTE (Long Term Evolution).

Dans la troisième partie, nous avons présenté la planification avec ATOLL, nous avons donné toutes les étapes.

Finalement, nous avons optimisé la planification donnée par ATOLL on modifiant les sites et les azimuts et les tilts des antennes.

Des études ou des recherches peuvent être explorées concernant le concept de planification radio et d'optimisation d'un réseau mobile ou n'importe quel réseau et cela par la planification des cellules nominales et dimension du réseau, planification de la capacité et optimisation par la minimisation des dépenses de capital et des couts d'exploitation et en fin le paramétrage du réseau en fonction des besoins du client.

Ce projet nous a donc permis de mettre en pratique nos connaissances acquises lors cette formation de Master Réseaux et Système de Telecom, ce travail fait partie d'un travail d'ingénieur Telecom chez les opérateurs téléphonique, nous avons essayé de comprendre le fonctionnement de ce logiciel ATOLL qui utilisé chez les différents opérateurs.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[1]. Hassen BEN TERDAYET, Maher BOUJNAH, «*Calibration de modèles de propagation pour les réseaux GSM, WCDMA et LTE: Aperçu sur la propagation radio mobile* », Projet de fin d'Études, Licence Appliquée en Sciences et technologies de l'Information et de la Communication, Option RST, Tunisie Télécom, 2013/2014.

[2]. Georges RODRIGUEZ, « *Introduction aux réseaux cellulaires : Techniques d'accès et de partage de la ressource radio* ». Systèmes de Télécommunication Cycle d'harmonisation 2A AST, TEL-COM202, 2011/2012

[3]. BOUGUEN Y., HARDOUIN E., WOLF François-Xavier., *« LTE et les Réseaux 4G* », Rapport UIT, Décembre 2012.

[4]. Xavier Lagrange, « *Réseaux mobiles 2G et 3G : Caractéristiques d'une interface radio* ». Département RSM, ENST Bretagne, 12/2004.

[5]. UMTS forum, « *Recognising the promise of mobile broadband* », UMTS Manuel, Juillet 2010.

[6]. Nokia Siemens Networks, « *Long Term Evolution* », Institute National des Postes et Telecommunication, INPT, 2011.

[7]. Greg HARMAN, Avan BARKER, Tim IREDALE, «*LTE Network Performance Improvement - Technical Guideline*», Ericsson Internal Guideline, 08-02-2013.

[8]. Zang Liang, Qin Yan, «*LTE Air Interface: Training Manual*», Huawei Proprietary and Confidential, Huawei Technologies Co., Ltd, Issue 01, 01/05/2010.

[9]. Chen Fazhi, «*LTE Protocols and Procedures Contents*», Huawei Proprietary and Confidential, Huawei Technologies Co., Ltd, Issue 06, 01/03/2006.

[10]. ERICSSON Proprietary and Confidential, « *LTE Overlay Networks (FDD*) », ERICSSON Design Guideline, December 2011.

[11]. Zang Liang, Qin Yan, Chen Fazhi, « *LTE RBS 6000 Field Maintenance*», HUAWEI Proprietary and Confidential, Huawei Technologies Co., Ltd, Issue 01, 05/01/2010.

[12]. Zang Liang, Qin Yan, Chen Fazhi, « *LTE Overview* » HUAWEI Proprietary and Confidential, Huawei Technologies Co., Ltd, Issue 06 01/03/2006.

[13]. Vu Dinh DAU, « *Utilisation de la compression des entêtes dans les réseaux cellulaires de type 4G (LTE/SAE)* », Mémoire de Projet de Fin d'études, Master Informatique, Option Systèmes et Réseaux, Cesson-Sévigné, France, septembre 2009.

[14]. Tony GUY et Avan BARKER, « *LTE Initial Tuning (FDD) - Technical Guideline*», Ericsson Internal Document, 19/12/2012.

[15]. ERICSSON, « *LTE Radio Network Optimization service* » Ericsson Service Proposal Document, juin 2013.

[16]. Eya JAMMAZI, « *Optimisation d'un réseau pilote 4G* », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, pour Tunisie Télécom, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, 2013.

[17]. Mary Rose DIWATA, «*Setting Up Atoll for LTE*», Ericsson Confidential, 17/06/2009.

[18]. Rehul KAUL, « *Model Tuning for TCI Iran GSM 1800 Network*», 2013.

[19]. Hormoz PARSIAN, «*Comparison of Asset and Atoll Cellular Planning tools for LTE Network Planning* », Nokia Siemens Networks, 05/22/2012.

[20]. National Geospatial, «*World Geodetic System 1984*», National Geospatial-Intelligence Agency, 1984

[21]. S. Lannuzel, G.G. Epshom « *Referentiels geodesiques - coordonnees* », EPSHOM, Centre d'Hydrographie, Section géodésie – géophysique, guide Technique, 07/06/2000

[22]. Mahdi QUBATI « *LTE Network Planning and Optimization* », Taiz University, Faculty of Engineering and IT Communication Department, 2014.

[23]. Alexandre BLOGOWSKI, Olivier KLOPFENSTEIN, Philippe CHRETIENNE, Fanny PASCUAL, « *Modèle de Dimensionnement de liens dans les réseaux mobiles LTE* », 13es Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (AlgoTel), Cap Estérel, France. 2011,