

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DUGENIE ELECTRIQUE ET D'IFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes

De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies Filière : Génie électrique

Spécialité : Télécommunication et réseaux

Thème :

Dimensionnement d'un réseau 4G LTE

Présenté par :

M^{elle} CHIHAOUI Dihia.

M^{elle} MOUDIR Sonia.

Soutenu publiquement le 2018. Devant le jury composé de:

Mr.LAZERI Mourad

UMMTO Président.

Mr. ALOUACHE Djamel

UMMTO Promoteur.

Mr.OUALLOUCHE Fethi

UMMTO Examineur.

Table des matières

Dédicace	
Remerciement :	I
Résumé :	II
Table des matières :	
Liste des figures :	
Liste des tableaux :	
Liste des abréviations :	
Introduction générale :	

Chapitre I : Les Réseaux Mobiles

I.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
I.2 Principe de base d'un réseau mobile :	Erreur ! Signet non défini.
I.3 Standard des réseaux d'accès mobile :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.1 La première génération (1G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2 La deuxième génération (2G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.1 le réseau GSM :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3 HSCSD ou EDGE (2.75G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3 La troisième génération (3G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3.1 le réseau UMTS (3G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3.3 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA /3.75G/ 3G++):	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4 La quatrième génération LTE (4G) :	Erreur ! Signet non défini.
I.5 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II : Le Réseau Mobile 4G

II.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Le réseau LTE :	Erreur ! Signet non défini.
II.3 Architecture générale de réseau LTE.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1 Réseau d'accès : E-UTRAN :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2 Réseau Cœur : EPC (<i>Evolved Packet Core</i>) :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.1 L'interfonctionnement avec les autres réseaux 3GPP :	Erreur ! Signet non défini.
II.4 L'interface aérienne :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.1 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output):	Erreur ! Signet non défini.
II.4.2 Agrégation de porteuses :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3 CoMP (Coordinated Multipoint) :	Erreur ! Signet non défini.

Table des matières

II.4.4 LTE Relais :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.5 LTE device to device :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.6 Modulation et codage adaptatifs :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.7 Structure des trames :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.8 Concept de bloc de ressource :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.9 Les canaux radio :	Erreur ! Signet non défini.
II.5 Le Handover dans LTE :	Erreur ! Signet non défini.
II.6 Qualité de service (QoS) :	Erreur ! Signet non défini.
II.7 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III : Le Dimensionnement D'un Réseau 4G

III.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
III.2 Processus de Dimensionnement :	Erreur ! Signet non défini.
III.3 Dimensionnement de LTE :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1 Planification orientée couverture :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.1 Bilan de liaison Radio (RLB) :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.2 Modèle de Propagation :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.3 Calcul de la sensibilité du récepteur :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.4 Calcul du nombre de site en se basant sur le bilan de liaison :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2 Planification orientée capacité :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.1 Calcul de l'efficacité de la bande spectrale :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.2 Calcul de la capacité de la cellule :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.3 Modèle de trafic et estimation du nombre d'abonnées :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.4 Détermination du nombre des sites requis :	Erreur ! Signet non défini.
III.4 Dimensionnement de l'interface S1 et X2 :	Erreur ! Signet non défini.
III.5 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre IV : Simulation ATOLL

IV.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
IV.2 Description d'ATOLL :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3 Démarrage d'un projet Atoll :	Erreur ! Signet non défini.
IV.4 Etude d'un cas générale :	Erreur ! Signet non défini.

Table des matières

IV.5 Conclusion : **Erreur ! Signet non défini.**



Dédicace

On remercie ALLAH le tous puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer mes chaleureuses dédicaces à mes chers parents que dieu les bénissent, qui on su me guider par leurs précieux conseils, qui m'ont tout donné, qui ont été toujours la pour moi et leurs encouragements continuels ; merci maman et grand merci papa. J'espère qu'un jour je serai capable de leurs donner au moins le minimum car quoiqu'on face on arrivera jamais de leurs rendre tout.

Je remercie sans infinité la personne qui ma appris que l'école de la vie n'a pas de vacances, tout échec et un début d'une force, et que notre réussite ne dépend de personne seulement de notre volonté .Merci cher AMO, j'espère je serais a la hauteur de vos sacrifices ainsi digne d'elles.

A mon âme sœur, la deuxième moi, mon unique et petite folle sœur ASSIREM.

A mes grands parents, mes oncles : BOULAM, AHMED, NADIR, mes tentes et mes tatas, que je cite chaleureusement.

A tous mes cousins et cousines.

A mon binôme Sonia avec qui j'ai partagé ce modeste travail.

A tous mes camarades de la promotion réseau télécommunication 2017/2018 ainsi de la promotion ingénieurs 04 d'ingénieure d'application système informatique et tout l'organisme de ENSI.

Dans le souci de n'oublier personne, que ceux m'ont aidé de près ou de loin, trouvé dans ces lignes l'expression de ma gratitude.

DIHIA





Dédicace

DIEU merci,

Ce mémoire est l'accomplissement de toutes ces années d'études, il est le fruit de mon acharnement et de ma persévérance.

Je tiens à remercier et à dédier ce modeste travail à :

Mes parents ; ma merveilleuse maman ouiza et mon papa chéri nourdinne qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de mon parcours, que dieu vous protège pour moi.

A mon cher frère Mohamed el hadi qui a été toujours là pour moi,

A mes chères sœurs Hizia, Lynda.

A tous mes cousins et cousines

Dihia, à toi ma chère binôme, copine et sœur, nous avons vécue toute cette expérience ensemble, nous y sommes arrivées ensemble, je t'adore.

A mes cher(es) ami (es) à toi particulièrement mohamed,

A ma chochos Assirem

, à toute la promo merci pour les bons moments ensemble.

A tous ceux qui m'on prêter aide, soutien et encouragement de Prés ou de loin.

SONIA





Remerciements

Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Mr ALOUACHE DJAMAL à l'Université de MOULOUD MAAMERI TIZI-OUZOU pour nous avoir permis de bénéficier de son grand savoir dans la matière et son aide tout au long de ce travail.

On remercie également notre encadreur de stage Mr HABANI DJAFAR, Chef de Service 4G à ALGERIE TELECOM, TIZI-OUZOU pour ses remarques pertinentes et ses recommandations fortes enrichissantes dont on a bénéficiée tout au long de ce stage.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit des membres du jury, pour l'évaluation et la révision de ce mémoire, afin d'améliorer sa qualité.

Je n'occulte pas le DIRECTEUR DE COMPTABILITE ET DE FINANCES, SLC TELECOM, Mr CHIHAOUI IDIR pour son soutien, ses conseils et enfin, pour sa disponibilité tout au long de la préparation de ce mémoire ainsi toute l'équipe réseau wifi.

Pour finir, on remercie de tout cœur nos familles et nos amis qui nous ont toujours encouragées, conseillée et supportée moralement tout au long de cette maîtrise.

A jamais merci pour nous pousser à toujours dépasser nos limites.

Dans le contexte actuel où l'information est la clé du succès, peu importe le domaine où l'on se place, les réseaux de télécommunications sont de plus en plus sollicités. D'énormes quantités d'informations circulent sur les réseaux à chaque seconde. Il est primordial d'assurer la disponibilité de ces réseaux afin de garantir la transmission de ces données en toutes circonstances.

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, afin d'obtenir le diplôme de Master nous proposons une simulation de dimensionnement avec un outil de planification de la couverture radio du réseau et la capacités du réseau 4G selon les différents modèles de propagation les plus utilisés tout en choisissant le modèle le plus approprié en terme de fiabilité et d'économie. D'où l'optimisation de la couverture radio du réseau ainsi que l'optimisation des coûts d'investissement de la mise en place et cela bien sûr en respectant des contraintes liées à la qualité de service nécessaire.

Ce projet regroupe donc les modules suivants:

- ✓ Etude théorique des différentes générations des réseaux cellulaires déployés en Algérie.
- ✓ Etude des différents modèles de propagation appliqués pour la planification afin de pouvoir dimensionner la zone à étudier.
- ✓ La simulation avec un choix du modèle de propagation le plus approprié c'est à dire qui permet à l'opérateur d'implanter le réseau 4G avec un minimum de coût tout en conservant une bonne qualité de services.

Mots clés: modèle de propagation, 3G, 4G, E-NodeB, planification, dimensionnement, bilan de liaison.

Abstract:

In the current context where information is the key to success, regardless of the field in which we are located, telecommunications networks are increasingly in demand. Huge amounts of information flow on the networks every second. It is essential to ensure the availability of these networks to ensure the transmission of these data in all circumstances.

As part of this project of graduation, in order to obtain the degree of Master we propose a sizing simulation with a network radio coverage planning tool and the 4G network capabilities according to the different propagation models used the most while choosing the most appropriate model in terms of reliability and economy. Hence the optimization of the radio coverage of the network as well as the optimization of the investment costs of the implementation and this of course respecting the constraints related to the quality of service required.

This project brings together the following modules:

- ✓ Theoretical study of the different generations of cellular networks deployed in Algeria.
- ✓ Study of the different propagation models used for planning in order to size the area to be studied.

- ✓ The simulation choice of the most appropriate propagation model that is to say that allows the operator to implement the 4G network with a minimum of cost while maintaining a good quality of services.

Key words: propagation model, 3G, 4G, E-NodeB, planning, sizing, link budget.

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre II : Le Réseau Mobile 4G

Tableau II.1 : $N_{\text{sym}b}$ par slot OFDM en fonction de préfixe cyclique.....	40
Tableau II.2: Canaux logiques.....	42
Tableau II.3 : Canaux de transports.....	44
Tableau II.4 : Canaux physiques pour la voie montante.	45
Tableau II.5 : Canaux physiques pour la voie descendante. [17].....	46

Chapitre III: Le Dimensionnement D'un Réseau 4G

Tableau III.1 : Paramètres pour le calcul du la PIRE.....	58
Tableau III.2: Vitesses types de déplacement du mobile	60
Tableau III.3: types de cellule.	61
Tableau III.5 : pertes selon type de signal.....	75
Tableau III.6 : Marge de shadowing.	76
Tableau III.7: pertes de ligne d'alimentation.	77
Tableau III.8 : $IMdB$ en fonction de la charge de la cellule.	78
Tableau 9 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs. [16]	81
Tableau III.10 : Surface de zone.	82

Chapitre IV: Simulation ATOLL

Tableau IV.1 : Description des sites installé	101
Tableau IV.2 : Description des sites de correction installé	104

Liste des figures

Chapitre I : Les Réseaux Mobiles

Figure I.1 : Evolution du réseau mobile.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.2 : concept cellulaire.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.3 : Architecture du réseau GSM.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.4 : Architecture du réseau GPRS.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.5 : Architecture du réseau UMTS.	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II : Le Réseau Mobile 4G

Figure II.1: Architecture du réseau LTE.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.2 : Architecture EPS.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.3 : Les deux catégories du nœud relais.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II .4 : Architecture E-UTRAN.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.5: Architecture EPC.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.6: Architecture permettant l'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.7 : Architecture permettant l'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN impliquant un tunnel direct.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.8 : Architecture d'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN sans interface entre.	Erreur ! Signet non défini.
SGSN et S-GW.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.9 : Schémas représentatifs des systèmes SISO, MISO, SIMO et MIMO.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.10 : S/N cas de MIMO et diversité TX.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.11: Type de Carrier Aggregation.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.12: Concept de CoMP DL /UL.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.13: Modulation LTE.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.14 : Méthode d'application de l'AMC.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.15 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II.16 : Structure de trame en TDD.	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

- Figure II.17 : Bloc de ressources.....Erreur ! Signet non défini.
- Figure II.18 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA.....Erreur ! Signet non défini.
- Figure II.19 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montante.....Erreur ! Signet non défini.
- Figure II.20 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante.....Erreur ! Signet non défini.
- Figure II.21 : Le Handover dans LTE.Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III : Le Dimensionnement D'un Réseau 4G

- Figure III.1 : les équipements de drive test.Erreur ! Signet non défini.
- Figure III.2 : Influence de la position de l'UE dans la cellule sur son débit. Erreur ! Signet non défini.
- Figure III.3 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne. Erreur ! Signet non défini.
- Figure III.4: Configuration des secteurs cellulaires.Erreur ! Signet non défini.
- Figure III.5 : Modèle hexagonales de cellule.Erreur ! Signet non défini.

Chapitre IV : Simulation ATOLL

- Figure IV.1 : nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE. Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.2 : réglage des paramètres de projection et de formats. Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.3 : ajouter la maps a mon nouveau documentErreur ! Signet non défini.
- Figure IV.4 : Importation des données numérique.Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.5 : création d'un nouveau site.Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.6 : création d'un nouveau émetteur - onglet Émetteur. Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.7 : Configuration d'antennes.Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.8 : Carte de la zone (tizi-ouzou) via Google Earth. ...Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.9 : la zone précise a couvrir (tizi-ouzou) via Google Earth. Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.10 : Position des sites et des émetteurs sur la carte. ...Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.11 : Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal. Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.12: Résultats de prédiction de la couverture par le niveau de signal. Erreur ! Signet non défini.
- Figure IV.13: Histogramme de couverture par le niveau de signal. Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure IV.14 : Les zones à recouvrir.Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.15 : L'installation des nouveaux sites.Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.16 : prédiction des nouveaux sites.Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.17 : Résultats de la nouvelle prédiction de la couverture par le niveau de signal.Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.18 : Histogramme de la nouvelle couverture par le niveau de signal.Erreur ! Signet non défini.

- **1G** : 1ère Génération
- **2G** : 2ème Génération
- **3G** : 3ème Génération
- **4G** : 4ème Génération
- **5G** : 5ème Génération
- **3GPP**: 3Generation Partnership Project

- **EDGE**: Enhanced Data Rates for GSM
- **EPS**: Evolved Packet System
- **EPC**: Evolved Packet Core
- **ETSI** : European Telecommunications Standard Institut.

A

- **AF**: Amplify and Forward
- **AMC**: Adaptive Modulation and Coding
- **AMPS**: Advanced Mobile Phone System
- **AN**: Access Network
- **AUC**: Authentification Center

B

- **BCCH** :Broadcast Control Channel
- **BCH**: Broadcast Channel
- **BSC**: Base Station Controller
- **BSS**: Base Station Sub-system
- **BTS**: Base Transceiver Station

C

- **CCCH**: Common Control Channel
- **CN**: Core Network
- **CoMP**: Coordinated Multipoint
- **CQI**: Channel Quality Indication
- **CS**: Circuit Switched

D

- **D2D**: Device-to-Device
- **DCS**: Digital Communication System
- **DCCH**: Dedicated Control Channel
- **DL-SCH**: Downlink Shared Channel
- **DFT**: Discret Fourier Transform
- **DC-HSPA**: Dual Carrier Higt Speed Packet Access
- **DTCH**: Dedicated Traffic Channel

E

F

- **FDD**: Frequency Division Duplexing

G

- **GGSN**: Gateway GPRS Support Node
- **GMSC**: Gateway MSC
- **GPRS**: General Packet Radio Ser
- **GSM**:Global System for Mobile

H

- **HLR**: Home Location Register
- **HSDPA**: High Speed Downlink Packet Access
- **HSPA**: High Speed Packet Access
- **HSUPA**: High Speed Uplink Packet Access
- **HSS**: Home Suscriber Service

I

- **ICI**: Interférence Inter-Cellules
- **IFFT**: Inverse Fast Fourier Transform
- **IMEI**: International Mobile station Equipment Identity
- **IMSIP**: Multimedia Sub-system
- **IMSI**: International Mobile Subscriber Identity
- **IP**: Internet Protocol

K

- **KPI**: Key Performance Indicator

L

- **LTE:** Long Term Evolution
- **LOS:** Line-of-sight

M

- **MAPL:** Maximum Allowable PathLoss
- **MIMO:** Multiple Input Multiple Output
- **MME:** Mobility Management Entity
- **MS:** Mobile Station
- **MSC:** Mobile Switching Centre

N

- **NLOS:** Non-line-of-sight
- **NMT:** Nordic Mobile Telephone
- **NSS:** Sous-Système radio

O

- **O:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access
- **OMC:** Operations and Maintenance Center
- **OSS:** Operation Sub-System

P

- **PBCH:** Physical Broadcast Channel
- **PCU:** Packet Control Unit
- **PCCH:** Paging Control Chanel
- **PCFICH:** Physical Control Format Indicator Channel
- **PCRF:** Policy Control and Charging Rules Function
- **PCH:** Paging Channel
- **PDCCH:** Physical Downlink Control Channel
- **PDNGW:** Packet Data Network Gate-Way

- **PDP:**Packet Data Protocol
- **PDSCH:**Physical Downlink Shared Channel
- **PIRE:** Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
- **PGW:** Packet Switch-GetWay
- **PHICH:** Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
- **PRACH:** Physical Random Access Channel
- **PS:** Packet Switched
- **PUCCH:** Physical Uplink Control Channel
- **PUSCH:** Physical Uplink Shared Control Channel

Q

- **QoS :**Qualité de Service

R

- **RACH:**Random Access Channel
- **RLB:** Radio Radio Bilan de liaison
- **RN:** Relay Node
- **RNC:** Radio Network Sub-System
- **RTC :** Réseau commuté public

S

- **S1-U:** Interface entre ENodeb et SGW (S1 user plan)
- **S1-c :** Interface entre ENodeb et MME (S1 control plan)
- **SC-FDMA:** Single Carrier- Frequency Division Multi Access
- **SGSN:** Serving GPRS Support Node
- **SGW:** Serving Gateway
- **SIM:** Subscriber Identity Module

T

- **TACS:** Total Access Communications System
- **TCP:** Transmission Control Protocol
- **TDD:** Time-Division Duplex
- **TDMA:** Time-Dision Multi Access
- **TTI:** Transmission Time Interval

U

- **UDP:** User Datagram Protocol
- **UE:** Terminal Mobile
- **UL-SCH:** Uplink Shared Channel
- **UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

V

- **VLR:** Visitor Location Register
- **VoIP:** Voice over IP

W

- **WAP:** Wireless Application Protocol
- **WCDMA:** Wide Coding Division Multiple Access
- **W-VoIP :** Wireless Voice over IP

X

- **X2** Interface entre les ENodeBs

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux de télécommunications mobiles ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Le système de téléphonie cellulaire connaît un succès considérable, avec un nombre d'abonnés sans cesse croissant, le premier système sans fil a été inventé par Bell System, aux états unis, en 1940. Le 1er réseau cellulaire de type analogique, ayant pour nom AMPS (Advanced mobile phone system) a été mis en place à Chicago dès 1978 suivi par le système NMT (Nordic Mobile Telephone) en Europe en 1981, ces réseaux de première génération sont caractérisés par une modulation analogique et une méthode accès FDMA (Frequency Division Multiple Access).

Les réseaux de deuxième génération ont fait leurs débuts dans les années 1990 tel que le système GSM (Global System for Mobile) en Europe, ce système est caractérisé par des modulations numériques. Après les instances de normalisation se sont ensuite tournées vers un système unique de la troisième génération de la téléphonie mobile, On peut définir la troisième génération comme un ensemble de technologies développées dans le but de faire évoluer les systèmes cellulaires de deuxième génération au niveau de la capacité et de la couverture ainsi que la qualité de service (QoS).

De nos jours, on passe vers le réseau 4G qui présente beaucoup d'amélioration quand à la bande passante de l'utilisateur ainsi que d'autres paramètres de qualité de service. Enfin, pour être plus précis, il y a d'abord la 3,9G avec la norme LTE Et puis, la 4G, avec la norme LTE Advanced. Ce passage d'une génération à une autre doit faire l'objet d'une bonne planification.

Dimensionnement ou 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. Ainsi, Le besoin envers un outil de planification, qui accompagne l'évolution des réseaux mobiles semble nécessaire et cela en tenant compte du fait que la propagation radio est fortement influencée par le terrain et par d'autres facteurs.

De ce fait, nous avons organisé notre plan de projet en 04 chapitres :

Le premier chapitre donnera un aperçu général des différentes normes de téléphonie mobile tel que la 1ère génération (1G) comme l'était, au départ, le GSM (2G) qui donnaient accès au service voix en mobilité, le GPRS (2,5 G), l'EDGE (2,75 G) et l'UMTS (3G) qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.

INTRODUCTION GENERALE

Le deuxième chapitre présente une étude approfondie sur le réseau LTE, son architecture, ses caractéristiques, ses spécifications techniques, principalement l'interface air et les innovations apportées par rapport à l'UMTS.

Le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement du réseau LTE dans lequel nous expliquons en détails le processus de dimensionnement dans le réseau d'accès (E-UTRAN) LTE, nous allons étudier et proposer une solution de dimensionnement pour la planification orientée couverture et orientée capacité ainsi le dimensionnement de l'interface S1 et X2.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous présentons notre outil de dimensionnement ainsi que son principe de fonctionnement. Nous élaborons la conception et la réalisation par l'exposition des différentes interfaces de l'application accompagnée d'une description précise nous validerons notre solution par une simulation avec ATOLL.

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

Chapitre I :
Les Réseaux
Mobiles

I.1 Introduction :

Un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne grâce à des fréquences formant un spectre hertzien. Ce dernier permet à des millions d'utilisateurs de téléphoner en même temps tout en étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité.

Les communications mobiles suivent le principe général de la téléphonie : relier deux utilisateurs distants en passant par l'équipement réseau d'un opérateur chargé de gérer le service. Mais à la différence du fixe, dans le réseau mobile, ce ne sont pas des fils de cuivre ou de fibre optique qui assurent la liaison finale mais des transmissions radio. Le téléphone mobile d'un utilisateur communique par la voie des airs avec une antenne-relais, qui elle-même communique avec le commutateur centralisé de l'opérateur : un ordinateur. Celui-ci achemine la communication vers le correspondant sur le réseau fixe ou via d'autres antennes relais.

L'évolution remarquable des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître ; plusieurs générations sont nées et en cours de naissance, en apportant un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter avec une bande passante de plus en plus large, un de ces avantages est le nombre d'utilisateurs pouvant être supportés.



Figure I.1 : Evolution du réseau mobile.

I.2 Principe de base d'un réseau mobile :

Pour communiquer, un utilisateur mobile doit donc être à portée d'une antenne-relais. Celle-ci a une portée limitée, ne couvre qu'un territoire restreint autour d'elle, appelé la « cellule » ; d'où l'autre nom de « réseaux cellulaires » souvent utilisé pour désigner les réseaux mobiles. Pour couvrir un maximum de territoire et faire en sorte que les utilisateurs soient toujours en mesure de téléphoner, les opérateurs déploient des milliers de cellules, chacune d'elles étant équipée

d'antennes en faisant en sorte que leurs cellules se chevauchent, de façon à ne jamais perdre le positionnement des utilisateurs.

Un réseau mobile est un réseau de communication composé de cellules, généralement considérées de forme hexagonale, elles sont toutes juxtaposées l'une à l'autre afin d'assurer une meilleure couverture de la zone géographique considérée. Ces cellules peuvent être de tailles variables allant des pico-cellules aux cellules parapluies.

En se basant sur cette répartition cellulaire, les réseaux mobiles optèrent en mode infrastructure, où tous les échanges transitent par un point d'accès, la station de base, desservant chacune une cellule sur une couverture sans fil donnée. Plusieurs générations de réseaux mobiles se sont défilées à travers le temps : la 1G avec un mode de transmission analogique, la 2G qui marqua le passage à l'ère numérique, la 3G qui permet d'intégrer des services de voix et de données, et de nos jours, les réseaux de prochaine génération 4G avec des caractéristiques qui nous permettent de passer de devant par rapport à ses précédents. [5]

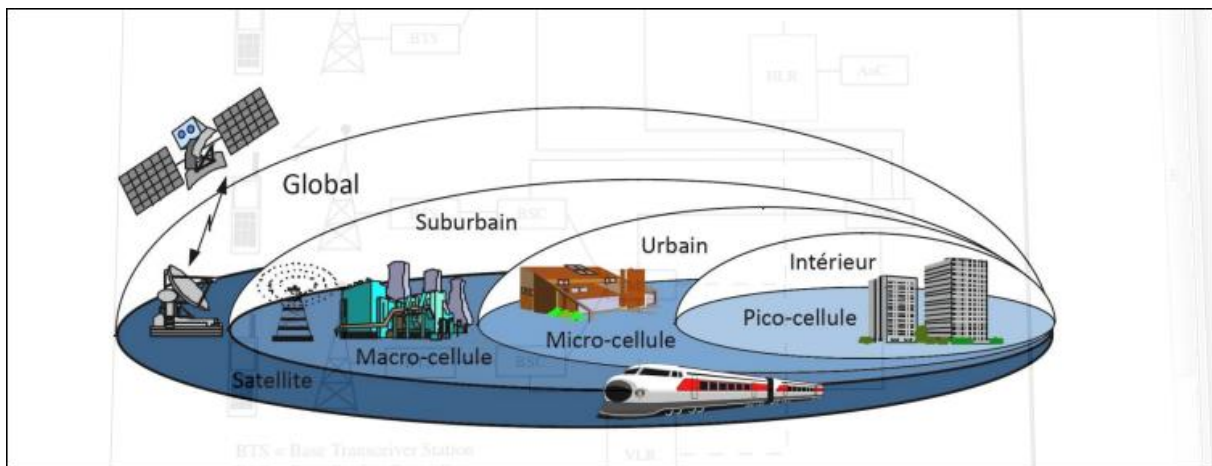


Figure I.2 : concept cellulaire. [5]

Une pico-cellule : permet des débits de l'ordre de 2 Mbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur, etc.).

Une micro-cellule : permet des débits de l'ordre de 384 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120 km/h (véhicule, transports en commun, etc.).

Une macro-cellule : permet des débits de l'ordre de 144 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500 km/h (Train à Grande Vitesse, etc.).

I.3 Standard des réseaux d'accès mobile :**I.3.1 La première génération (1G) :**

La première génération de systèmes cellulaires (**1G**) reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base. Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux.

La première génération utilisait essentiellement les standards suivants :

AMPS (Advanced Mobile Phone System) : lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).

NMT (Nordic Mobile Telephone) : a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète.

TACS (Total Access Communications System) : qui repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en Grande Bretagne.

I.3.2 La deuxième génération (2G) :

La deuxième génération (2G) de systèmes cellulaires repose sur une technologie numérique a été développée à la fin des années 1980. Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal. Ce système apporte une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur. La deuxième génération de systèmes cellulaires (2G) utilise essentiellement les standards suivants :

I.3.2.1 le réseau GSM :

Global System for Mobile Communications (GSM), historiquement « Groupe spécial mobile », est une norme numérique de seconde génération pour la téléphonie mobile. Le groupe de travail chargé de la définir a été établi en 1982 par la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT).

Elle a été spécifiée et mise au point par l'ETSI (European Telecommunications Standard Institut) pour la gamme de fréquences des 900 MHz. Une variante appelée Digital Communication System (DCS) utilise la gamme des 1800 MHz. Cette norme est particulièrement utilisée en Europe, en Afrique, au Moyen-Orient et en Asie. Deux autres variantes, en 850 MHz et en 1900 MHz PCS (personal communications services), sont également utilisées. La protection des données est assurée par les algorithmes de chiffrement.

Tel qu'il a été conçu, le réseau GSM est idéal pour les communications de type « voix » (téléphonie). Le réseau étant commuté, les ressources ne sont allouées que pour la durée de la conversation, comme lors de l'utilisation de lignes téléphoniques fixes.

I.3.2.1.1 Architecture du GSM :

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes :

1. Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.
2. Le sous-système réseau ou d'acheminement.
3. Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

Les éléments de l'architecture d'un réseau GSM sont repris sur le schéma de la figure I.3 :

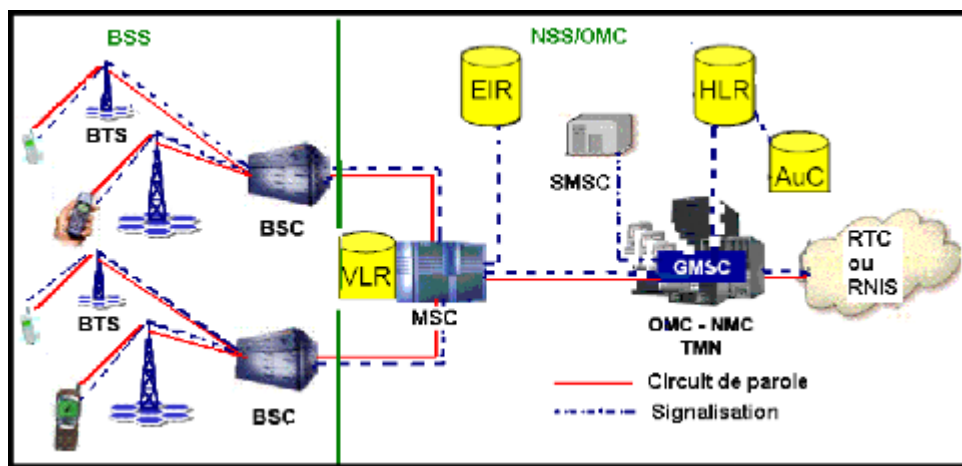


Figure I.3 : Architecture du réseau GSM.

a) Le sous-système radio :

Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile, la station de base (BTS, Base Transceiver Station) et un contrôleur de station de base (BSC, Base Station Controller).

Le mobile : Le téléphone et la carte SIM (Subscriber Identity Module) sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements. La principale fonction de la carte SIM est de contenir et de gérer une série d'informations.

L'identification d'un mobile s'effectue exclusivement au moyen de la carte SIM. En effet, elle contient des données spécifiques comme le code PIN (Personal Identification Number) et d'autres caractéristiques de l'abonné, de l'environnement radio et de l'environnement de l'utilisateur.

L'identification d'un utilisateur est réalisée par un numéro unique (**IMSI**, International Mobile Subscriber Identity) différent du numéro de téléphone connu de l'utilisateur (**MSISDN**, Mobile Station ISDN Number), tous deux étant incrustés dans la carte SIM.

La station de base (BTS) : La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes.

La station de base fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau, comme le multiplexage temporel est limité à 8 intervalles de temps, une station de base peut gérer tout au plus huit connexions simultanées par cellule. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données. En cas de besoin, on peut exploiter une station de base localement ou par télécommande à travers son contrôleur de station de base.

Le contrôleur de station de base (BSC) : Gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis. Ce contrôleur remplit les différentes fonctions tant au niveau de la communication qu'au niveau de l'exploitation. Pour les fonctions des communications des signaux en provenance des stations de base, le BSC agit comme un concentrateur puisqu'il transfère les communications provenant des différentes stations de base vers une sortie unique. Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeants vers la bonne station de base.

Le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance comme il alimente aussi la base de données des stations de base. Une autre fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées, ainsi le contrôleur gère les transferts intercellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule à une autre.

b) Le sous-système réseau :

Le sous-système réseau, appelé Network Switching SubSystem (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile, ses éléments prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming.

Le NSS est constitué de :

Le centre de commutation mobile (MSC) : Le centre de commutation mobile est relié au sous-système radio via l'interface A. Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou de son équivalent numérique, le réseau RNIS (ISDN en anglais).

Il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR et VLR) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSCs servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une interopérabilité entre réseaux d'opérateurs.

L'enregistreur de localisation nominale (HLR) : Il s'agit d'une base de données avec des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible. Il contient :

- Toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification Ki (cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), etc...)
- Un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau en fait, son VLR et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, . . .).

Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

Le centre d'authentification (AuC) : Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir être assuré qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur. Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des communications. Pour ce faire, les normes GSM prévoient deux mécanismes :

1. Le chiffrement des transmissions radio : il s'agit d'un chiffrement faible, qui ne résiste pas longtemps à la crypto-analyse.

2. L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki : présenté à la fois dans la station mobile et dans le centre d'authentification. L'authentification s'effectue par résolution d'un défi sur une base d'un nombre M généré aléatoirement et envoyé au mobile. À partir de ce nombre, un algorithme identique (algorithme A3) qui se trouve à la fois dans la carte

SIM et dans l'AuC produit un résultat sur base de la clé Ki et du nombre M. Lorsqu'un VLR obtient l'identifiant d'un abonné, il demande, au HLR du réseau de l'abonné, le nombre M servant au défi et le résultat du calcul afin de le comparer à celui qui sera produit et envoyé par le mobile. Si les résultats concordent, l'utilisateur est reconnu et accepté par le réseau.

Grâce à ce mécanisme d'authentification, un VLR peut accueillir un mobile appartenant à un autre réseau sans qu'il ne soit nécessaire de divulguer la clé de chiffrement du mobile.

On peut distinguer trois niveaux de protection :

- ✓ La carte SIM qui interdit à un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
- ✓ Le chiffrement des communications destiné à empêcher l'écoute de celles-ci.
- ✓ La protection de l'identité de l'abonné.

L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) : Il existe plusieurs dans un réseau GSM, liée a un MSC ; aussi elle contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR ; les données suivent l'abonné en quelque sorte.

L'enregistreur des identités des équipements (EIR) : Chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile station Equipment Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Tous les opérateurs n'implémentent pas une telle base de données.

Le centre d'exploitation et de maintenance : Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, commerciale et technique ; elle s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau.

OMC gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité, . . . Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication GSM.

I.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) :

Le General Packet Radio Service ou GPRS est une norme ou protocole réseau, pour la téléphonie mobile dérivée du GSM et complémentaire de celui-ci, permettant un débit de données plus élevé. On le qualifie souvent de 2,5G (le 2,5 indique que c'est une technologie à mi-chemin entre la 2G et la 3G) ou 2G+.

GPRS est une extension du protocole GSM ; il ajoute par rapport à ce dernier la transmission par paquets , une méthode plus adaptée à la transmission des données. Son intégration dans une architecture GSM nécessite l'adjonction de nouveaux nœuds réseau appelés GSN (GPRS support nodes) situés sur un réseau fédérateur (backbone) :

Le SGSN (Serving GPRS Support Node, ou 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.

Le GGSN (Gateway GPRS Support Node, ou Nœud de support GPRS passerelle) : passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet) ; il est notamment chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion.

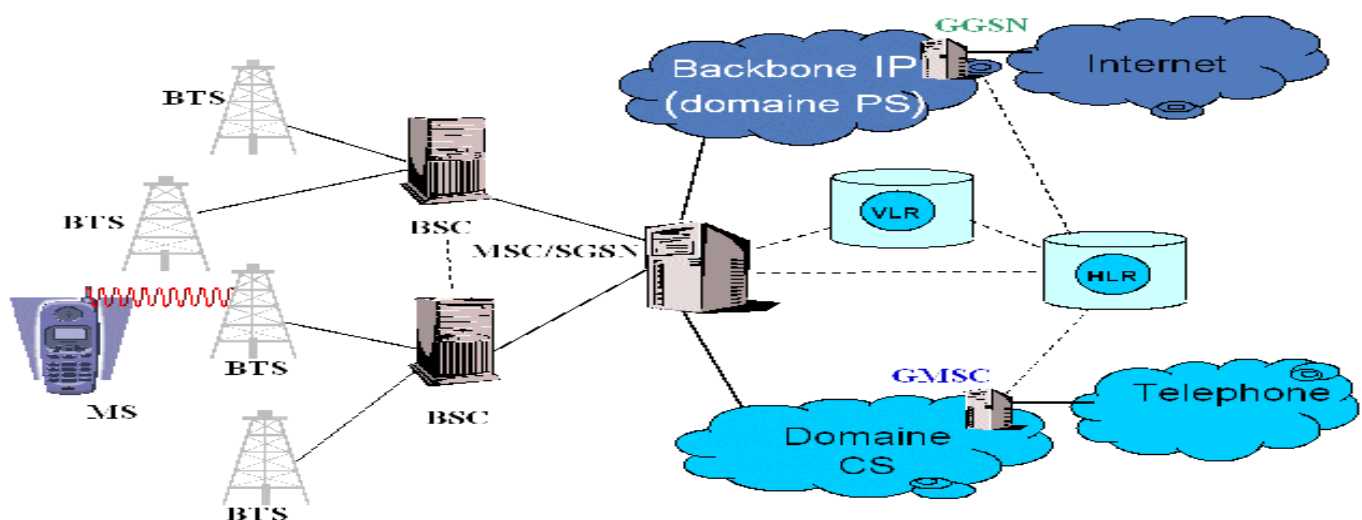


Figure I.4 : Architecture du réseau GPRS. [6]

I.3.2.3 HSCSD ou EDGE (2.75G) :

Enhanced Data Rates for GSM Evolution (**EDGE**) autrement dit 2.75G, 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.

EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM, ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. 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).

I.3.3 La troisième génération (3G) :

Apparue dans les années 2000, la troisième génération (3G) désigne une génération de normes de téléphonie mobile qui représente principalement les normes UMTS et CDMA2000, permettant des débits de 2 à 42 Mb/s définis par la dernière génération des réseaux UMTS : l'HSPA+ DC ; qui sont bien plus rapides que les générations précédentes .

I.3.3.1 le réseau UMTS (3G) :

L'Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), est la norme de télécommunications de troisième génération utilisée en Europe et elle est basée sur la technologie W-CDMA (utilisée au Japon et Corée) ; développée à partir de 2004, sa bande de fréquence de fonctionnement est 1900MHz-2000MHz. Les spécifications techniques de cette norme sont développées au sein de l'organisme 3GPP.

L'UMTS est compatible avec tous les réseaux du monde du fait de la possibilité de roaming au niveau mondial, ces normes permettent de transporter les données sans-fil à haut débit sur la même connexion, avoir un réseau cœur IP c'est ce qui fait sa particularité.

L'idée était d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

La mise en place d'un réseau UMTS permet à un opérateur existant par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS. L'architecture du réseau UMTS est présentée par la figure si dessous :

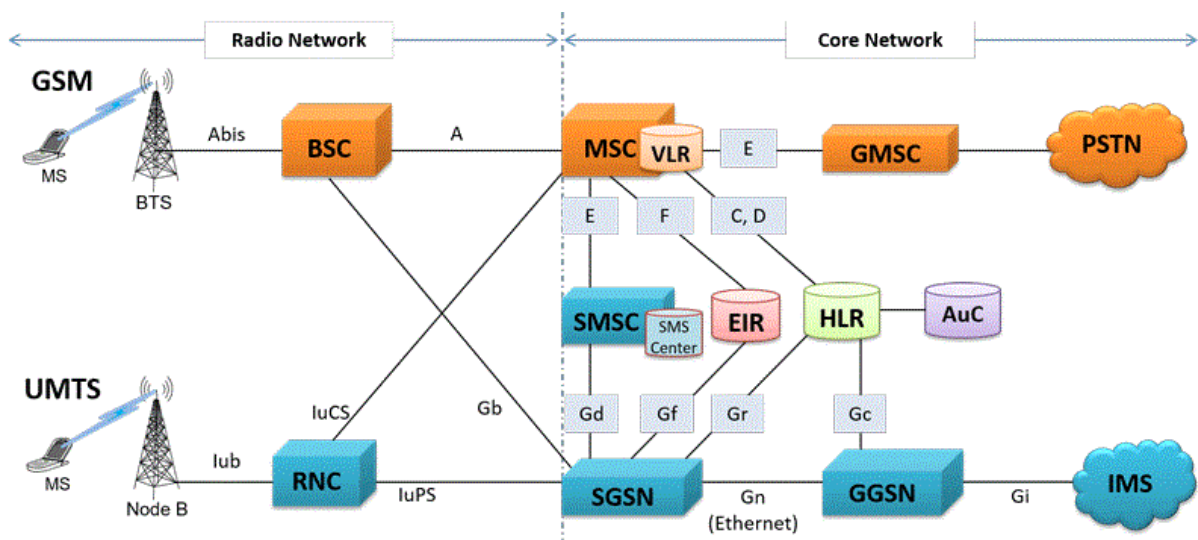


Figure I.5 : Architecture du réseau UMTS. [11]

Comme le GSM, le réseau UMTS est composé d'un réseau cœur (CN : Core Network) et d'un réseau d'accès (AN : Access Network).

Le réseau cœur de l'UMTS :

Le réseau cœur était scindé en deux parties distinctes correspondant à un découpage entre les services à commutation de circuits et ceux à commutation de paquets. La conséquence de cette séparation est une gestion séparée de l'établissement d'appel et de la mobilité de l'abonné, située dans des équipements réseaux différents (Le MSC /VLR et le SGSN).

Les éléments principaux du réseau cœur :

Le HLR (Home Location Register) : une base de données de référence qui gère l'ensemble des abonnés et leurs profils en regroupant de nombreuses informations tels que leur numéro de téléphone, les services qu'ils ont le droit d'utiliser, les informations relatives aux services supplémentaires tels que les renvois d'appels, et restrictions d'appels.

Ce profil est créé lorsque l'abonné souscrit un abonnement et est stocké tant que son abonnement reste valide. Afin de pouvoir router efficacement les appels entrants, le HLR stocke également des données de localisation de l'abonné en termes de zone MSC/VLR et, ou de zone SGSN, c'est à dire à un niveau que l'on pourrait qualifier de macroscopique.

Le MSC/VLR (Mobile Switching Centre/Visitor Location Register) : Correspond au commutateur MSC qui permet la commutation des connexions circuits et à la base de données

VLR qui contient une copie du profil de l'abonné et certaines informations plus précises relatives à la localisation de l'abonné

Il est courant d'appeler le "domaine circuit ", la partie du réseau gérée par le MSC/VLR ; ainsi il fournit des services circuits à un terminal utilisateur présent dans leur zone.

Le GMSC (Gateway MSC): un commutateur connecté directement aux réseaux externes en mode circuit. Toutes les communications entrantes et sortantes, en mode circuit, passent nécessairement par un GMSC.

LE SGSN (Serving GPRS Support Node) : Possède des fonctionnalités similaires au MSC/VLR mais il est utilisé pour les communications paquets. La partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée "domaine paquet".

Les fonctionnalités du GGSN (Gateway GPRS Support Node) : sont très proches de celles du GMSC, mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet.

UE : Le terminal utilisateur est composé de deux parties : Le terminal mobile (ME), correspond au terminal radio utilisé pour les communications radio sur l'interface IU.

La carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module) : Une carte à puce qui stocke l'identité de l'abonné, les algorithmes et les clés d'authentification, les clés de chiffrement ainsi que certaines données relatives à l'abonnement de l'utilisateur qui est nécessaire au niveau de la terminale.

Le réseau cœur se décompose en deux domaines :

Le domaine circuit : permet de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo téléphonie, streaming, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Le débit du mode domaine circuit est de l'ordre de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases de données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe.

Streaming : c'est l'envoi de flux continu d'informations qui seront traitées instantanément avec la possibilité d'afficher les données avant que l'intégralité du fichier ne soit téléchargée, l'objectif étant de gagner en rapidité.

Le domaine paquet : permet de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'Internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'accès/utilisation des e-mails.

Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transitent en mode paquet. Le débit du domaine paquet est de l'ordre de 2Mbits/s.

L'infrastructure s'appuie sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC/VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui joue le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

Architecture du réseau d'accès radio (UTRAN) :

L'UTRAN est constitué d'un ou plusieurs sous-systèmes RNS (radio network sub-system) qui regroupent chacun un RNC et ses NodeBs associés.

Radio network Controller (RNC): Equivalent des BSC des réseaux mobiles 2G GSM. Le RNC est un élément de la partie d'accès radio (UTRAN) d'un réseau de téléphonie mobile 3G UMTS qui contrôle les transmissions radio des stations de base (NodeB). Il gère la répartition de la ressource radio, le chiffrement des données avant l'envoi au téléphone mobile, ainsi qu'une partie de la localisation des terminaux mobiles des abonnés

Un RNC s'interface avec le cœur du réseau (core network) de l'opérateur mobile : avec le SGSN pour la transmission des données et avec le MSC pour le transfert de la voix et de la signalisation.

NodeB : Autrement dit station de base, équivalent de la BTS en GSM, gère la couche physique de l'interface air. Il s'agit principalement du codage du canal, de l'entrelacement, de l'adaptation du débit et de l'étalement. Le NodeB supporte également quelques fonctions de gestion des ressources radio comme le contrôle de puissance en boucle fermée.

I.3.3.2 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA / 3.5 G / 3G+):

Evolution logicielle du 3G utilisée pour les communications sans fils en réseaux téléphones mobiles, cette norme est aussi appelée aussi 3,5 G ou 3G+. Pour simplifier, on parle de HSDPA pour une technologie qui est en réalité sous la forme HSPA (High Speed Packet Access). On passe à un débit maximal théorique de 14,4 Mbit/s en téléchargement, et de 5,8 Mbit/s dans l'autre sens. Les réseaux des opérateurs ne sont pas encore capables de soutenir ces débits, pas plus que les téléphones mobiles actuels. La vitesse maximale obtenue s'établit aujourd'hui à 7,2

Mbit/s. Et encore, cela concerne une liaison entre le réseau et une clé 3G+, et non un téléphone. En pratique, on dépasse rarement les 1,2 Mbit/s. La technologie utilisée est la même que pour l'UMTS, à l'exception de la partie logicielle qui a été améliorée. [6]

I.3.3.3 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA /3.75G/ 3G++):

Protocole de téléphonie mobile de 3G, de la famille UMTS .Un complément de HSDPA pour la voie montante, présenté comme le successeur de HSDPA, porte le débit montant (Uplink) à 5,8 Mbit/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 14 Mbit/s comme en HSDPA.

Elle se décompose en deux types :

HSPA+ (High Speed Packet Access +): le débit montant (Uplink) vers les 05 Mb/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 21 Mb/s.

DC-HSPA+ (Dual Carrier High Speed Packet Access +): le débit montant (Uplink) vers les 10 Mb/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 42 Mb/s.

L'intérêt de cette technologie est d'offrir la possibilité d'émettre vers d'autres mobiles toutes sortes des documents électroniques (images, vidéos...) favorisant ainsi le développement de l'Internet haut débit mobile. [6]

I.3.4 La quatrième génération LTE (4G) :

La 4G LTE (Long Term Evolution) désigne la quatrième génération du réseau de téléphonie mobile qui introduit du très haut débit pouvant aller, en théorie, jusqu'à 150 Mbit/s. La spécificité de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents est le passage à une structure IP (Internet Protocol) pour le transport des communications vocales et des SMS sous forme de paquets de données.

Les objectifs du LTE sont, en termes de débit, de l'ordre de 100 Mbit/s en téléchargement, moitié moins dans le sens inverse, offrir un service de communication sans fil sur IP (Wireless Voice over IP, W-VoIP) et de se connecter avec les réseaux IP fixes. Elle fonctionne dans les bandes de fréquences 1,4 à 20 MHz, donc s'adapte aux bandes de fréquences actuellement licenciées de la 2G et de l'UMTS (5 Mhz),comme elle devrait intégrer deux nouvelles techniques de modulation des fréquences : l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), procédé de modulation numérique des signaux qui est utilisé déjà pour les systèmes de transmissions mobiles à haut débit de données (Wimax), et la technologie MIMO (algorithme de communication multi-entrées

et multi-sorties), technologie qui permet des transferts de données à plus longue portée et à plus grande vitesse grâce à l'utilisation d'antennes multiples.

Grâce à cette technologie, les opérateurs mobiles pourront proposer une véritable offre : quadruple play services, c'est-à-dire de la voix, du surf en très haut débit et de l'IP TV, le tout en situation de parfaite mobilité. Enfin, l'augmentation de l'efficacité spectrale, c'est-à-dire du nombre de Mégabits par Herz, devrait permettre de réduire le coût du Mégabit de transport de données de 4 à 6 par rapport aux technologies actuelles.

I.5 Conclusion :

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté une vue globale sur l'évolution des réseaux cellulaires qu'ils soient filaires ou hertziens et leurs caractéristiques qui sont utilisées dans notre vie quotidienne, on a passé de la première génération analogique en suite la deuxième génération GSM et son architecture, le GPRS, l'EDGE puis le réseau UMTS ainsi que ses deux évolutions HSPA et HSPA+, finalement le réseau LTE.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier en détail le réseau LTE, son architecture et ses nouvelles techniques de transmissions

Chapitre II :
Le Réseau
Mobile 4G

II.1 Introduction :

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 à la fois long et coûteux a lieu avant la mise en opération du réseau pour les générations précédentes.

Les réseaux de prochaine génération orientent la planification des réseaux cellulaires vers de nouvelles avenues de recherche. En effet, les tendances portent de plus en plus vers une intégration transparente des technologies sans fil existantes, en un environnement totalement hétérogène.

Ce qu'y a poussé plusieurs opérateurs à opter pour la 4G LTE ; vu sa souplesse, réduction de son coût, simplification de l'exploitation et de la maintenance, déploiement rapide des services et applications et de nouveaux services tiers.

II.2 Le réseau LTE :

La LTE (Long Term Evolution), est la technologie par excellence des réseaux sans-fil à l'échelle mondiale, nettement supérieure aux technologies précédentes, comme les réseaux 3G.

LTE est l'évolution de toutes les normes de téléphonie mobile, elle offre une expérience Internet plus rapide, plus riche et plus fluide que jamais.

Ce réseau offre, en théorie, des vitesses de téléchargement pouvant atteindre 100 Mbps, par contre le débit réel de données observé par l'utilisateur d'un réseau LTE peut être très fortement réduit par rapport aux débits théoriques annoncés et définis par cette norme. Les principaux facteurs ayant une influence sur le débit effectif sont:

- ✓ La largeur de la bande de fréquences allouée à l'opérateur du réseau.
- ✓ Les types d'antennes utilisés coté terminal et coté réseau (antennes relais).
- ✓ Le nombre d'utilisateurs actifs qui partagent la bande passante au sein d'une cellule (surface radiante d'une antenne) LTE.
- ✓ La position fixe (statique) ou « en mouvement » du terminal de l'abonné.
- ✓ La capacité en débit et en nombre d'utilisateurs simultanés de la station de base et le débit du lien optique reliant cette station au cœur de réseau.

La technologie LTE est transportée sur les câbles fibre optique (FO) si la zone est fibrée, ou bien sur les câbles fiscaux hertziens (FH).

II.3 Architecture générale de réseau LTE :

L'architecture définie pour le LTE est dite Architecture plate, c'est-à-dire qu'elle est constituée uniquement de station de base (eNodeB). La suppression du contrôleur de stations de bases s'explique par la volonté de réduire la latence du système et pour rendre l'architecture LTE plus robuste et évolutive face à la montée en trafic ,ce qu'explique pourquoi LTE s'appuie sur un nouveau réseau d'accès, qui veut donc dire de nouvelles bandes de fréquences à exploiter, des nouvelles antennes à déployer sur tout le territoire, et des nouveaux points de concentration à installer.

Antennes : Afin d'exploiter ces nouvelles fréquences, le déploiement de nouvelles antennes est indispensable. En 2G, ces antennes s'appelaient les BTS, en 3G ces antennes avaient pour nom les NodeB et en 4G, dans le réseau d'accès LTE, sont appelées les e-NodeB. Pour les opérateurs qui possèdent déjà une forte couverture dans les autres technologies (2G et 3G), la mutualisation des sites d'antenne est possible et même souhaitable, afin de ne pas multiplier inutilement les sites hébergeant des antennes. Il est possible de remplacer les antennes 2G et 3G par des antennes émettant toutes les fréquences à la fois (2G, 3G et 4G). Il est donc plus aisé de réutiliser les sites existant pour changer une antenne, plutôt que devoir installer un nouveau site.

Points de concentration : La 2G avait son point de concentration du réseau d'accès : le BSC, la 3G avait également son point de concentration : le RNC. Avec le LTE, l'étape intermédiaire entre l'antenne et le réseau cœur disparaît. L'antenne (l'eNodeB) est reliée directement au réseau cœur, évitant un intermédiaire et simplifiant l'architecture générale.

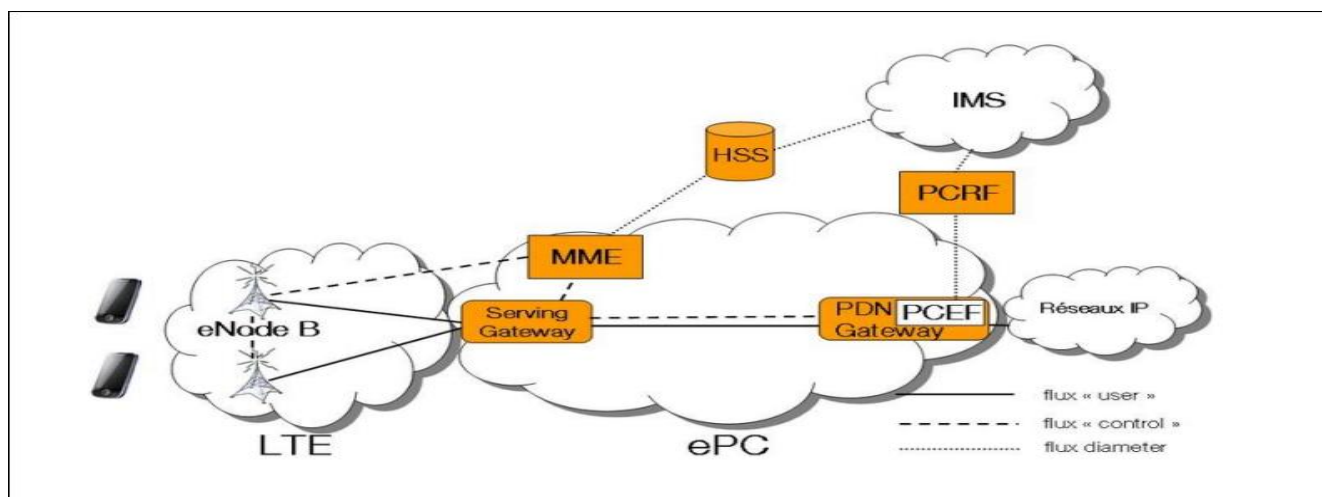


Figure II.1: Architecture du réseau LTE. [6]

En réalité, l'ensemble de ce réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System), et il est composé des deux parties : le réseau évolué d'accès radio LTE, et le réseau cœur évolué appelé SAE (System Architecture Evolution).

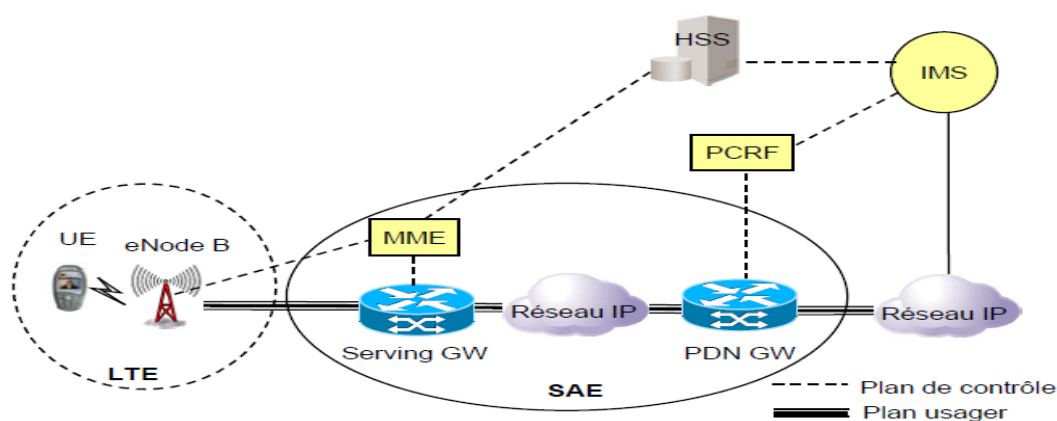


Figure II.2 : Architecture EPS. [6]

II.3.1 Réseau d'accès : E-UTRAN :

Il ne contient que des eNodeB qui assurent l'échange radio avec l'E-UTRAN. A la différence de la 3G, les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre la NodeB et les entités du réseau cœur SGW. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué. Ces caractéristiques :

- ✓ Débit de l'interface radio.
- ✓ Connexion permanente.
- ✓ Délai pour la transmission de données.
- ✓ La mobilité.
- ✓ Coexistence et interfonctionnement avec la 3G.
- ✓ Flexibilité dans l'usage de la bande.
- ✓ Support du multicast.
- ✓ Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales.

a) eNodeB :

Équivalent de la BTS dans le réseau GSM et la NodeB dans l'UMTS. La fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'il fournit la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent.

Les eNodeBs ont offert deux qualités au réseau : la sécurité en cas de problème d'un relais et un partage des ressources en cas de saturation du lien principal.

b) Les Nœuds Relais :

Tous les réseaux cellulaires souffrent d'un problème commun qui consiste au faible débit pour les utilisateurs situés sur les bordures de la cellule, ceci est dû au faible rapport signal sur bruit. Les technologies avancées employées en LTE, telles que MIMO et OFDM sont capables d'améliorer les débits dans de nombreuses conditions, mais elles ne sont pas en mesure d'améliorer les performances sur les bordures des cellules. Par conséquent, il est nécessaire de trouver des solutions pour examiner le problème à faible coût, on parle des nœuds relais (RN : Relay Node).

Un RN LTE est différent d'un répéteur simple qui reçoit et amplifie le signal pour le retransmettre encore une fois. Un relais permet de recevoir, démoduler, décoder, appliquer une correction d'erreur, et ensuite retransmettre de nouveau le signal.

Un nœud relais est une méthode pratique pour remédier au problème des trous de couverture, à condition que ce dernier soit installé dans un endroit approprié et équipé d'une antenne à gain

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

élevé, il sera en mesure de maintenir de bonnes communications et de fournir l'extension de la couverture requise. On peut classer les RNs selon leurs modes de fonctions half duplex et full duplex, de plus on peut en distinguer deux catégories :

- ✓ **In-band** : Si le lien eNodeB-RN et le lien RN-UE utilisent la même bande spectrale.
- ✓ **Out-band** : Si le lien eNodeB-RN et le lien RN-UE n'utilisent pas la même bande spectrale.

La figure ci-dessous illustre ces deux catégories différentes :

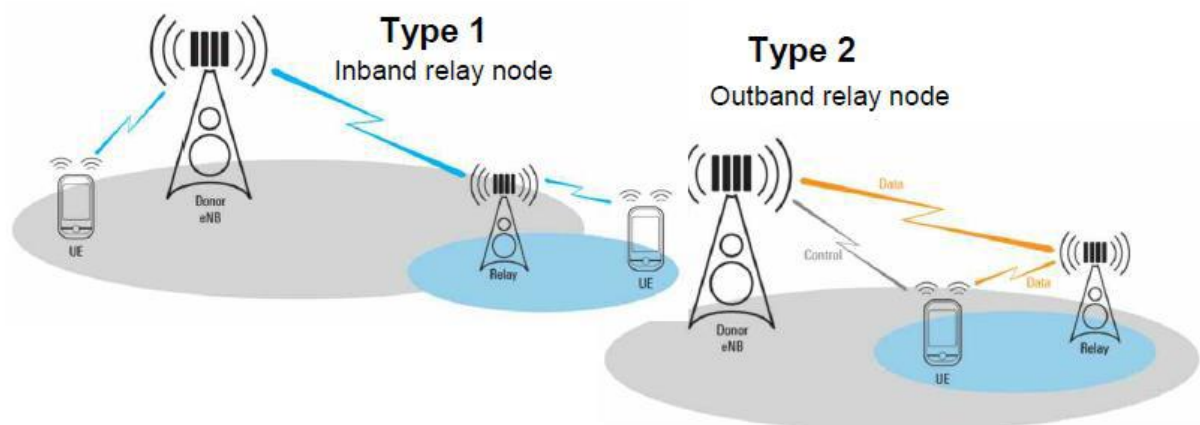


Figure II.3 : Les deux catégories du nœud relais. [8]

c) Les interfaces :

L'E-UTRAN fournit les informations générales sur les interfaces réseau S1 et X2. Ces deux interfaces suivent le même modèle qui est décrit dans la figure II.8 ; le modèle de l'interface réseau de l'E-UTRAN est composé de deux couches principales :

- ✓ **La couche Radio Network** : qui englobe les protocoles couches hautes de l'interface.
- ✓ **La couche Transport Network** : qui réfère uniquement à la façon dont les données de la couche Radio Network sont transportées.

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 :

Un plan usager : qui transporte toutes les informations considérées comme des données utilisateur, du point de vue de l'interface, ceci consiste en des données purement usager comme

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

les paquets de voix et vidéos ou la signalisation de niveau application (comme SIP). Avant la transmission sur l'interface, les différents paquets sont tout 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.

Le plan contrôle : Elle définit ce que il faut faire avec les paquets entrants , sa logique peut également définir que certains paquets doivent être rejetés, ou au contraire doivent être traités de manière préférentielle afin d'obtenir un haut niveau de qualité de service. Ceci est permis grâce à des mécanismes de différenciation de services.

- **Interface X2 :**

X2 est une interface maillée, qui était définie 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 X2 est divisée en deux parties :

L'interface X2-U (X2 User plane interface) : son activité est de transporter les paquets de données entre eNodeBs, utilisée dans une durée limitée en temps, quand le terminal se déplace d'un eNodeB à un autre. Comme elle 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 plane interface) : interface de signalisation, supporte un groupe de fonctions et des procédures très limitées en nombre et elles sont toutes relatives à la mobilité des usagers entre eNodeBs, dans le but d'échanger les informations sur le contexte de l'utilisateur entre les différents nœuds (porteurs alloués, sécurité...).

X2-C propose la procédure du Load Indicator dont le but est de permettre à un eNodeB de signaler sa condition de charge aux eNodeBs voisins.

- **L'Interface S1 :**

C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, elle est divisée en deux interfaces élémentaires :

L'interface S1-U (S1 User plane interface) : sa fonction est de transporter les paquets utilisateurs entre l'eNodeB et le SGW ; en utilisant une simple pile de protocole de transport

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

« GTP over UDP/IP » qui ne fait qu'encapsuler les données de l'utilisateur. Il n'existe ni contrôle de flux ou contrôle d'erreur, ou tout autre mécanisme de garantie de livraison de données sur l'interface S1-U.

L'interface S1-C (S1 Control plane interface) : interface de signalisation, qui supporte un certain nombre de fonctions et procédures entre eNodeB et le MME, elle 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.

L'interface S1-C utilise une couche de transport de réseau, qui est mise en place de bout-en-bout, dans le cas où le réseau de transport n'appartient pas à l'opérateur mobile afin de garantir une qualité de service tout le temps.

- **Interface S1 Flexibilité :**

Un nouveau dispositif dans l'architecture LTE qui a été introduit dans le but de rendre l'interconnexion entre le réseau d'accès et le réseau cœur flexible, aussi elle permet à un eNodeB de se connecter à plusieurs nœuds MME ou SGW.

La figure ci-dessous représente l'architecture de l'E-UTRAN :

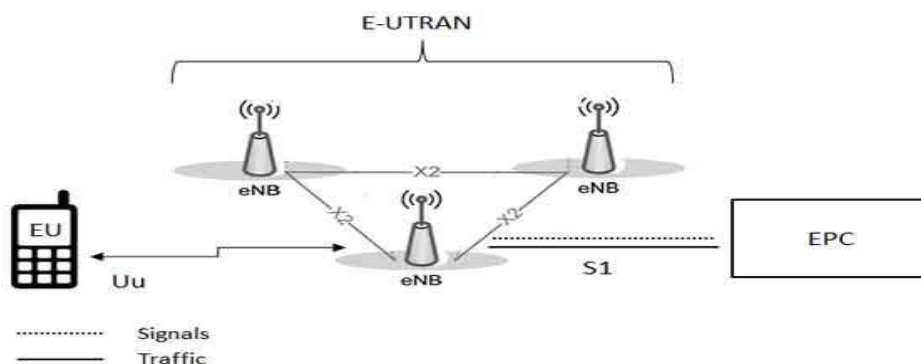


Figure II .4 : Architecture E-UTRAN. [6]

D'autres interfaces existent entre les nœuds de l'architecture LTE/EPC :

-L'interface S5/S8 définie entre P-GW et S-GW.

-L'interface S6-a définie entre HSS et MME.

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

-L'interface S11 définie entre MME et S-GW.

-L'interface Gx définie entre PCRF et P-GW.

II.3.2 Réseau Cœur : EPC (*Evolved Packet Core*) :

Le cœur de réseau appelé EPC (*Evolved Packet Core*) utilise des technologies full IP

(All IP), c'est-à-dire il est basé sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits et le transport de la voix et des données. Le réseau cœur assure la gestion des utilisateurs, de la mobilité, de la qualité de service et de la sécurité.

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

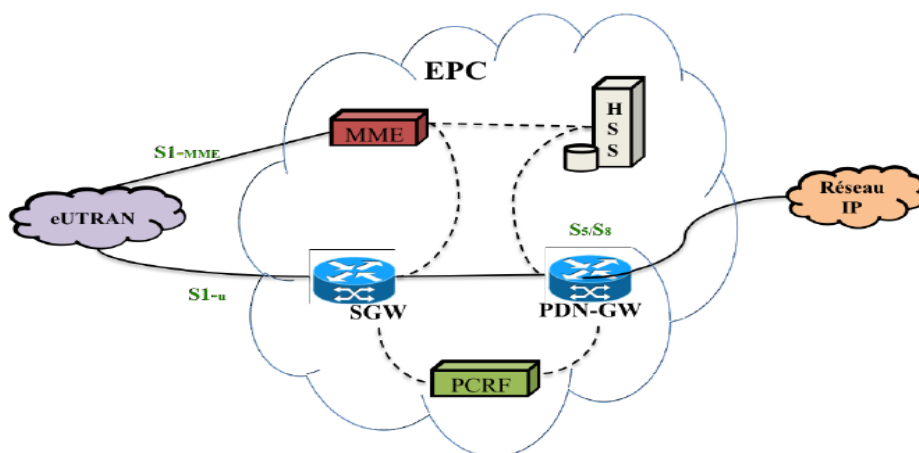


Figure II.5: Architecture EPC.

MME (Mobility Manager Entity) : Responsable de localisation de l'utilisateur, connaître son état, gérer les procédures d'authentification et la mobilité. Elle réalise le dernier point de la protection par codage, par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. MME contrôle le signal entre le UE et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

SGW (Serving Gateway): Gère les données utilisateur aussi impliqué dans le routage et la transmission de paquets de données entre les eUTRAN et le réseau cœur. Il opère comme une ancre locale qui sert à la mobilité inter-eNodeB et permet de faire la relève entre les systèmes mobiles de différentes générations, comme LTE et UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), par exemple les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

PGW (Packet Data Network Gateway ou PDN Gateway) : Responsable du routage, en assignant une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. PGW effectue pour

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

chaque terminal mobile l'allocation d'adresses IP, le filtrage des paquets et comptabilise les octets échangés.

PDN-GW est la passerelle vers les réseaux externes (entre UE et PDN) à trois segments:

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

HSS (Home Subscriber Service) : HSS est la base de données évoluée du HLR, permet de stocker des informations d'abonnement qui servent au contrôle des appels et à la gestion de session des utilisateurs réalisé par le MME. Cet élément est utilisé souvent pour l'identification des utilisateurs, la numérotation et le profil des services auxquels ils sont abonnés, ainsi il possède des informations de souscription pour les autres réseaux (GSM ,3G...).

PCRF (Policy Control and Charging Rules Function): Un nœud optionnel au sein de l'architecture EPC, responsable de la prise de décision principale du contrôle et fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. Pour cette raison il communique avec le PCEF (Policy Control Enforcement Function), qui est intégré dans la PGW.

SGSN (Serving GRPS Support Nom) : SGSN est la partie qui interconnecte le LTE, UMTS et le réseau GSM pour augmenter la mobilité ; si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE a une zone 2G/3G. MME sélectionnera la SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bear.

ePDG (Evolved Packet Data Gateway): Permet l'interopérabilité avec le réseau WLAN en fournissant des fonctions de routage des paquets, de Tunneling, d'authentification, d'autorisation, d'encapsulation et décapulation des paquets.

La partie IMS (IP Multimedia Sub-system) : Un ensemble d'éléments qui permettent d'offrir des services multimédia sur les réseaux IP. IMS permet des services interpersonnels multimédia riches : voix sur IP, conférence vidéo, messagerie instantanée, sonnerie sur plusieurs terminaux.

II.3.2.1 L'interfonctionnement avec les autres réseaux 3GPP :

L'architecture LTE/EPC s'adapte également à d'autres technologies d'accès radio 3GPP.

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

La première option d'architecture permet l'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN en reliant le SGSN au MME, pour le plan de contrôle, par l'intermédiaire de l'interface S3. Par ailleurs, Le SGSN échange avec la S-GW, pour le plan usager, via l'interface S4 (figure II.6).

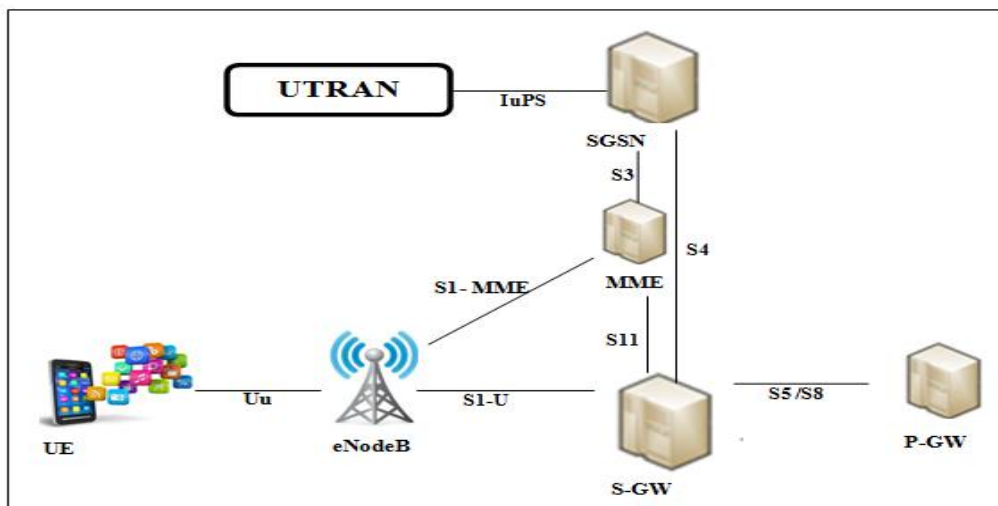


Figure II.6: Architecture permettant l'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN.

La seconde option d'architecture permet l'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN impliquant un tunnel direct entre S-GW et l'UTRAN, constituant l'interface S12. Cette option d'architecture améliore la latence du système pour le plan usager et réduit potentiellement la charge de SGSN (figure II.7).

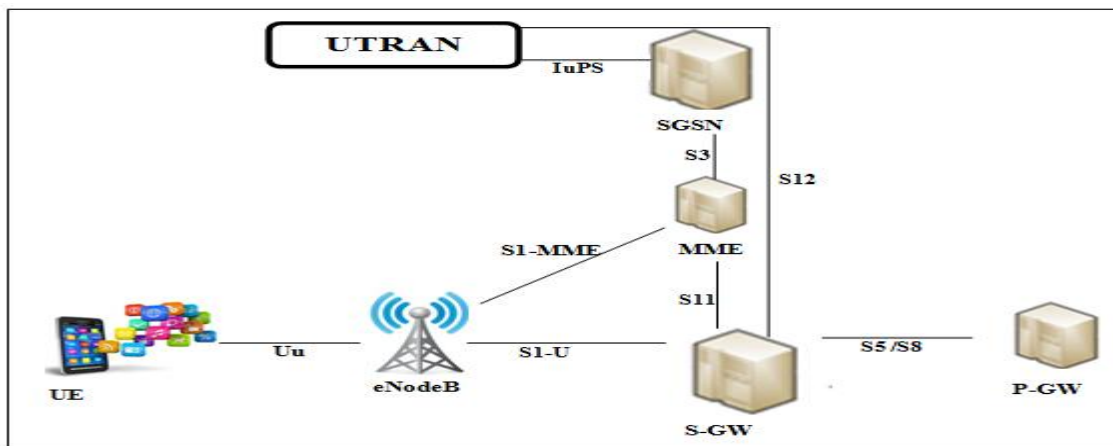


Figure II.7 : Architecture permettant l'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN impliquant un tunnel direct.

Au sein de la troisième option d'architecture, le SGSN considère le MME comme un SGSN et la P-GW comme un GGSN. Par ailleurs, il n'existe plus d'interface entre le SGSN et la S-GW

(Figure II.8).

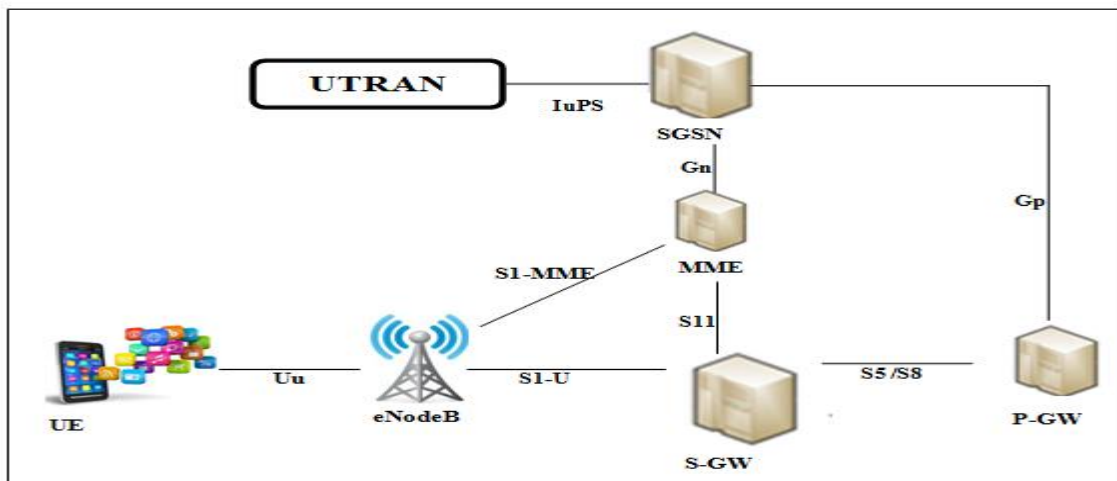


Figure II.8 : Architecture d'interfonctionnement entre LTE et l'UTRAN sans interface entre SGSN et S-GW.

II.4 L'interface aérienne :

Long Term Evolution (LTE) succède à la norme de radiocommunication mobile UMTS, son introduction répond à la croissance exponentielle du trafic mobile de données, qui double chaque année en moyenne mondiale, comme il comprend une interface aérienne optimisée pour la radiocommunication mobile et qui a déjà fait ses preuves sur les réseaux de radiodiffusion numériques terrestres. Les réseaux 4G impliquent le ré- aménagement des stations existantes, la mise en place de stations de base supplémentaires et la création de nouveaux appareils (téléphone portable, tablette, PC,...).

LTE présente de multiples qualités, en particulier des débits élevés sur l'interface aérienne entre la station de base et l'appareil utilisateur, ce qui a augmenté la capacité de transmission et permet ainsi d'offrir le même débit à l'utilisateur ou de fournir des débits plus élevés au même nombre d'utilisateurs ; cet effet est dû à la réduction de l'intervalle de transmission des données (latence) amélioré considérablement la réactivité du réseau. Ce réseau nécessite moins d'énergie dans les appareils utilisateurs par rapport aux autres réseaux et permet une plus grande autonomie pour les services de données activés.

Le développement de l'interface aérienne est étroitement lié au développement du réseau central SAE.

II.4.1 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output):

MIMO est une technique basée sur la diversité spatiale en transmission sans fil, pour éviter les multi-trajets. La mise en place d'une telle structure permet au système utilisé d'atteindre des débits importants et cela sans changer la largeur de la bande allouée au signal ni sa puissance d'émission.

Plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, rendent la transmission meilleure, Cela permet aussi d'améliorer le rapport signal sur bruit et donc le taux d'erreurs binaires.

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- ✓ **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.

Le LTE intègre la gestion des techniques multi-antennes, aussi appelées techniques MIMO (Multiple Input Multiple Output). Le MIMO s'appuie sur la présence de plusieurs antennes à l'émetteur et au récepteur pour permettre la transmission de plusieurs flux de données indépendants sur les mêmes ressources temps- fréquence. On parle de multiplexage spatial, la dimension spatiale étant créée par les antennes multiples.

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.6).

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.

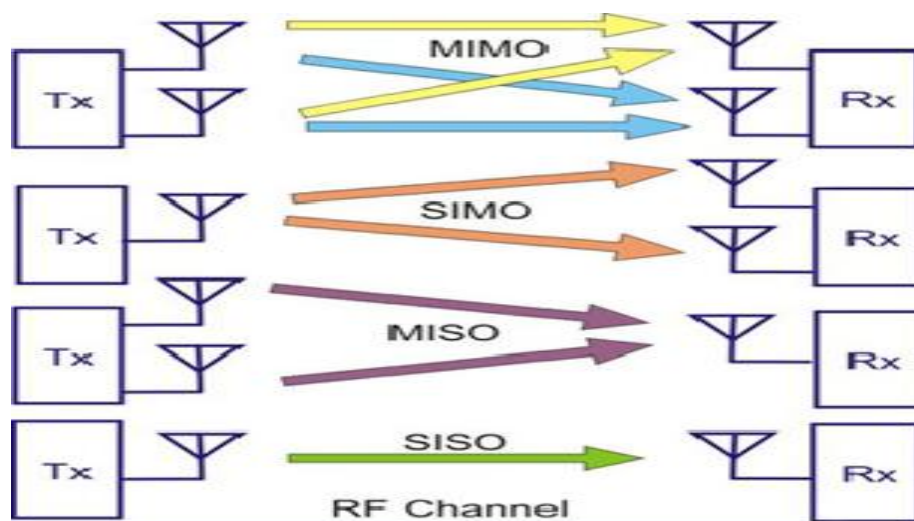


Figure II.9 : Schémas représentatifs des systèmes SISO, MISO, SIMO et MIMO. [4]

La technique MIMO peut être utilisée lorsque S/N (rapport signal/bruit) est élevé, dans le cas contraire il est préférable d'utiliser d'autres types de techniques multi-antennes, par exemple au moyen de TX-diversité comme le montre la figure ci-dessous :

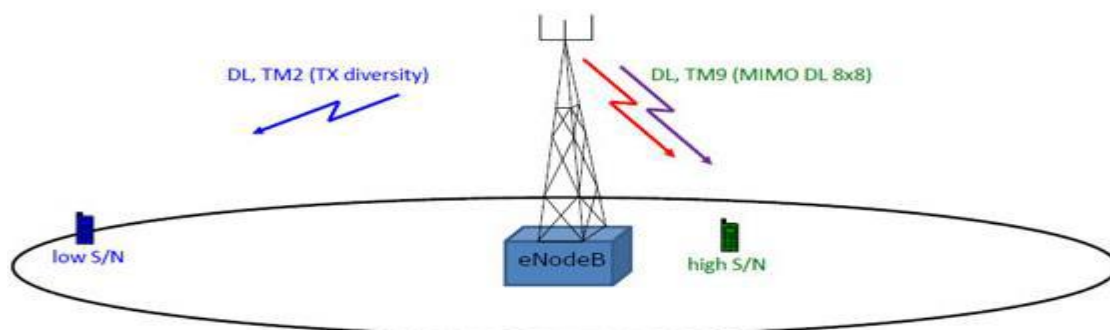


Figure II.10 : S/N cas de MIMO et diversité TX. [4]

II.4.2 Agrégation de porteuses :

Carrier Aggregation ou l'agrégation de porteuses est une caractéristique importante qui a donné un plus pour la normalisation du LTE. CA multiples en amont ou en liaison descendante les porteuses dans les bandes de fréquences sont contiguës ou non contiguës peuvent être regroupés. Chacune des porteuses constitutives proprement dit sera rétro compatible pour accueillir les UEs émettant des signaux de synchronisation et les informations de transmission du système via le canal de diffusion.

La façon la plus simple pour augmenter la capacité est d'ajouter plus de bande passante. Comme il est important de garder la compatibilité ascendante.

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

Chaque porteuse agrégée est considérée comme un ensemble de porteuses, ce dernier peut avoir une largeur de bande jusqu'à 20 MHz, et d'un maximum de cinq porteuses constitutives peuvent être regroupées. D'où la bande passante maximale est de 100MHz. Le nombre de porteuses agrégées peut être différent dans DL et UL (le nombre de porteuses constitutives DL élevé).

Carrier Aggregation à plusieurs types comme le montre la figure ci-dessous :

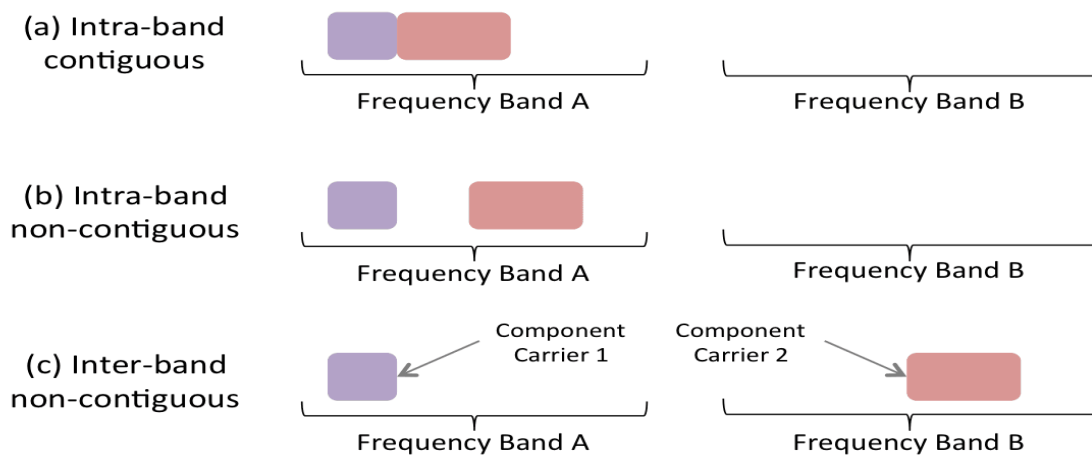


Figure II.11: Type de Carrier Aggregation. [4]

III.4.3 CoMP (Coordinated Multipoint) :

LTE CoMP ou Coordinated Multipoint est une installation qui est encore en développement dont l'objectif est d'améliorer la qualité globale de l'utilisateur ainsi que l'amélioration de l'utilisation du réseau.

LTE CoMP est essentiellement une gamme de différentes techniques qui permettent la coordination dynamique de transmission et de réception sur une variété de différentes stations de base.

Essentiellement, LTE CoMP transforme ICI (l'interférence inter-cellules), en signal utile, en particulier aux frontières de la cellule où les performances peuvent être dégradées. Cette technologie a mis en jeu des méthodes avancées, beaucoup plus efficace luttent contre l'utilisation de l'interférence, en apportant de nombreux avantages à l'utilisateur ainsi que l'opérateur tels que :

- ✓ Une meilleure utilisation du réseau.
- ✓ Des performances améliorées de réception.
- ✓ Réduction des interférences.

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

- ✓ Accueil du site multiple qu'augmente la puissance reçue.

LTE CoMP, nécessite une coordination étroite entre un certain nombre d'eNodBs géographiquement séparés. Elle les coordonne d'une façon dynamique pour fournir la planification et la transmission des articulations ainsi que la preuve de traitement commun des signaux reçus. De cette manière, un UE au niveau du bord d'une cellule est capable d'être desservi par deux ou plusieurs eNodBs pour améliorer les signaux de réception et transmission et augmenter le débit en particulier dans des conditions de bord de la cellule.

Les techniques utilisées pour les CoMPs sont très différentes pour la liaison montante et descendante, comme le montre la figure suivante :

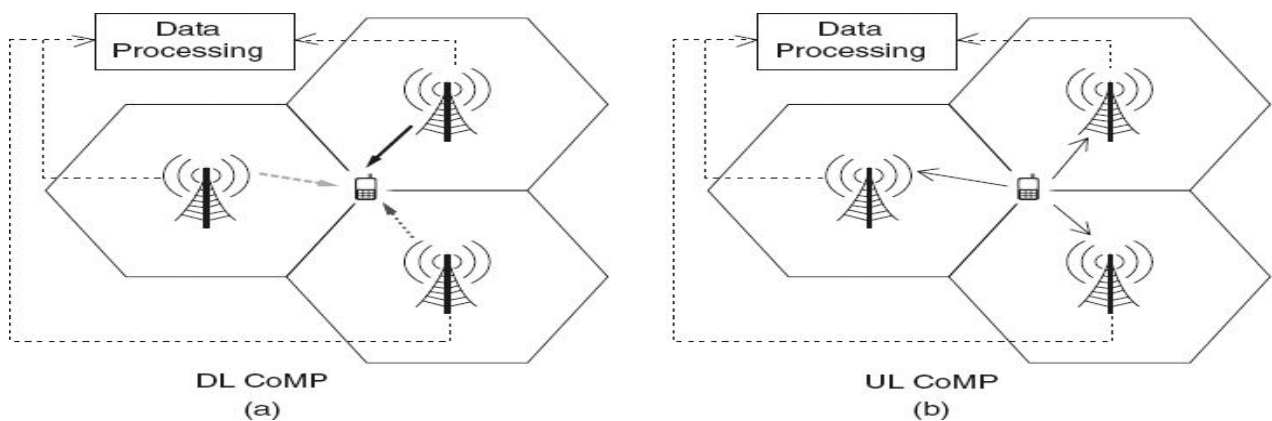


Figure II.12: Concept de CoMP DL /UL. [6]

LTE CoMP, se divise en deux grandes catégories:

Le traitement mixte: ce traitement survient lorsqu'il y a coordination entre plusieurs entités - stations de base, il joue le rôle d'émetteur ou récepteur à partir des UEs.

Planification de coordonnée ou Beamforming: Cette technique souvent désignée comme

CS / CB (coordinated scheduling / coordinated beamforming) est une forme de coordination où un UE émet avec une seule transmission ou un point de réception (station de base). La communication est faite par un échange de contrôle entre plusieurs entités combinées.

II.4.4 LTE Relais :

Un relais saura effectivement faire la réception, démodulation, décodage des données, et la correction d'erreur, pour ensuite retransmettre de nouveau le signal. De cette façon, la qualité du

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

signal est améliorée grâce à un relais LTE, plutôt que de subir la dégradation d'un signal réduit par rapport au bruit lors de l'utilisation d'un répéteur. Pour un relais LTE, les équipements utilisateurs communiquent avec le nœud de relais, qui à son tour communique avec une eNodeB donneur.

Le relais LTE est un relais fixe d'infrastructure sans connexion filaire backhaul, qui relaie les messages entre la station de base (BS) et des stations mobiles (MS) par la communication multi-sauts.

Parmi les avantages des relais, on se contente de citer quelques uns comme :

- ✓ Augmenter la densité du réseau en augmentant le nombre d'eNodBs pour assurer de bons niveaux de signal qui sont reçus par tous les utilisateurs. Les Relais LTE sont faciles à installer car ils ne nécessitent pas de backhaul séparé et ils sont de petite taille leur permettant d'être installés dans de nombreux domaines pratiques, par exemple sur les murs.
- ✓ Extension de la couverture du réseau ; une méthode pratique de remplissage de petits trous dans la couverture. Sans avoir besoin d'installer une station de base terminée, le relais peut être installé rapidement afin qu'il remplisse la tache noire de couverture.
- ✓ Relais nœuds LTE peuvent être poursuivis pour augmenter la couverture extérieure de la zone principale, avec des antennes à gain élevé approprié et aussi si l'antenne a la liaison vers l'eNodeB donneur qui est placée dans un endroit approprié, il sera utilisable afin de maintenir de bonnes communications et fournir l'extension de la couverture.
- ✓ Déploiement rapide du réseau: Sans avoir installé de backhaul ou installé de grandes antennes, relais LTE peuvent fournir une méthode très facile d'extension de la couverture au cours de la mise en place rapide d'un réseau. Il y a aussi la possibilité d'installer d'autres eNodBs dans le cas de l'augmentation des volumes de trafic.

II.4.5 LTE device to device :

Dans les réseaux cellulaires, une communication device-to-device (D2D) est une communication directe entre deux utilisateurs mobiles sans l'utilisation d'une station de base ou d'un réseau de télécommunications.

La communication D2D est généralement non transparente pour le réseau cellulaire. Elle peut se produire sur les fréquences cellulaires (c'est-à-dire dans la bande) ou sur le spectre sans licence (c'est-à-dire hors bande).

Dans un réseau cellulaire traditionnel, toutes les communications passent par la station de base même si les deux parties communicantes sont à portée de communication D2D. Cette architecture convient aux services mobiles classiques à faible débit de données tels que les appels vocaux et les messages textuels pour lesquels les utilisateurs ne sont généralement pas assez proches pour une communication D2D.

Grace à D2D la plateforme LTE aurait l'avantage sur les autres, comme le Wifi et Bluetooth qui opèrent les dispositifs de protocoles des appareils et qui utilisent des spectres sans licence, et la performance est susceptible d'être mauvaise, en particulier lorsque de nombreux utilisateurs sont présents. Cela fournirait un environnement beaucoup plus efficace pour les communications à haut débit de données qui pourraient inclure des téléchargements.

II.4.6 Modulation et codage adaptatifs :

La modulation et le codage adaptatifs (AMC : Adaptive Modulation and Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Pour les transmissions DL en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Indication) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Scheme), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil.

Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information. Pour sa part, la

16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chacune de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

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

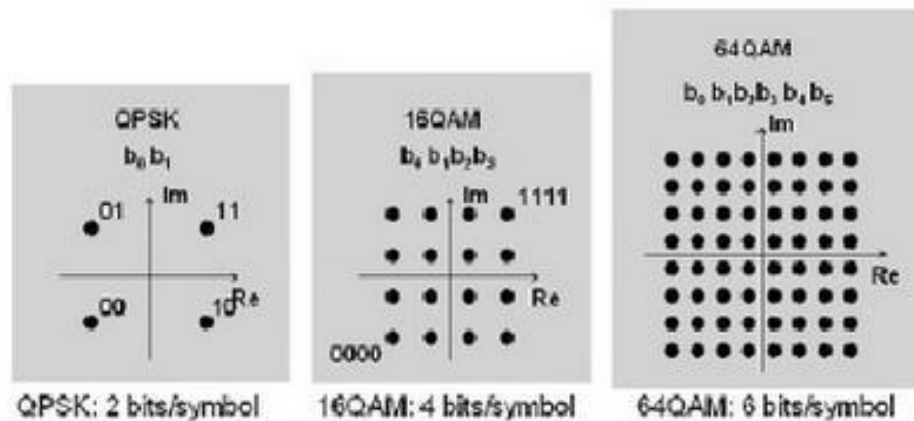


Figure II.13: Modulation LTE. [19]

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

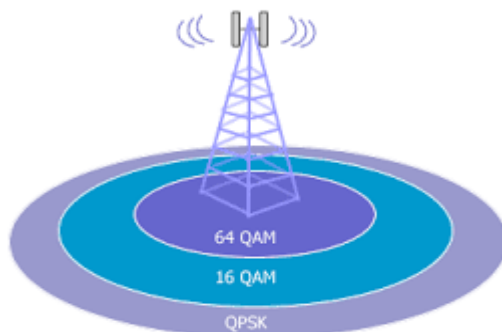


Figure II.114 : Méthode d'application de l'AMC. [19]

II.4.7 Structure des trames :

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures suivantes :

Le type 1 ou Structure générique : est adapté au FDD et au FDD half-duplex.

Le type 2 ou Structure alternative: est adapté au TDD.

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montantes et descendantes opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-trames utilisables dans chaque direction de transmission.

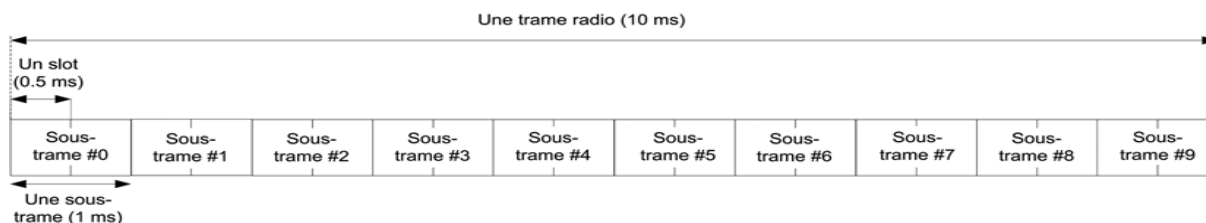


Figure II.15 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex. [17]

En TDD, certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (Guard Period) sur la figure suivante. Le temps de garde nécessaire au basculement de l'eNodeB entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une sous-trame descendante est créé par elle-même en avançant dans le temps les sous-frames montantes par rapport aux sous-frames descendantes. L'UE est informé de ce décalage par la commande d'avance de temps, qui lui indique de démarrer sa transmission un peu plus tôt (ou un peu plus tard). Une avance de temps par défaut de

20 μ s est ainsi spécifiée en TDD, car cette durée est attendue comme la valeur maximale potentiellement nécessaire aux équipements pour basculer de réception à émission. Au plus, deux sous-frames spéciales est présentée par trame, afin de limiter la perte d'efficacité du système due au temps de garde.

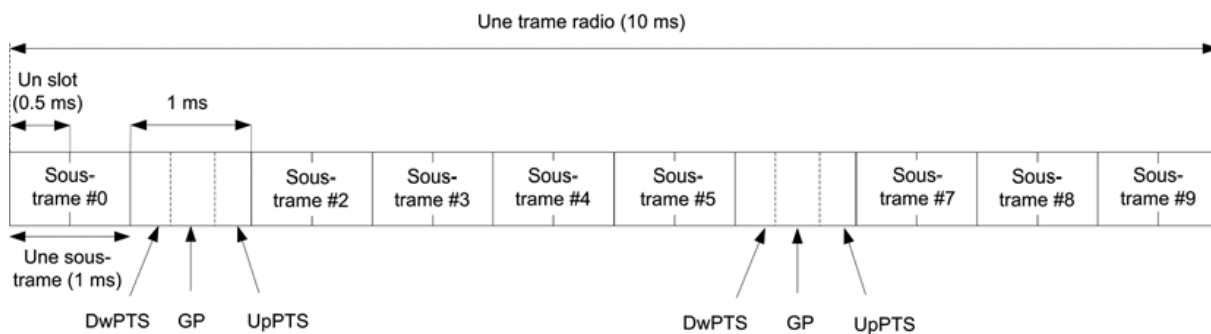


Figure II.16 : Structure de trame en TDD. [17]

II.4.8 Concept de bloc de ressource :

Les stations de base LTE permettent l'accès simultané de plusieurs centaines d'abonnés actifs à chaque cellule du réseau mobile, en utilisant à la fois les multiplexages en fréquence (FDMA) et temporel (TDMA), en émission et en réception pour partager la ressource radio entre les utilisateurs. L'unité de base attribuée à un abonné est le « Resource Block ».

Chaque bloc ressource est constitué de 12 sous-porteuses qui ont des fréquences consécutives, orthogonales, ce qui évite les bandes de garde entre sous-porteuses. Elles sont de 15 kHz de largeur et de 7 symboles temporels ayant une durée totale de 0,5 ms. Un nombre variable de bloc ressource peut être attribué chaque seconde à un même terminal mobile en fonction du débit qu'il requiert et des ressources radio disponibles.

Son fonctionnement sur la liaison descendante (vers le terminal mobile), consiste à attribuer dynamiquement les blocs de ressource à un équipement mobile pouvant avoir des fréquences différentes non adjacentes, réparties dans une bande maximale de 20 MHz, ce qui a pour avantage de diminuer le risque d'avoir une majorité de sous-porteuses subissant des interférences car elles sont réparties dans un spectre radio plus large. Par contre pour les liaisons montantes (sens terminal vers eNode B), les blocs ressource utilisés par un terminal LTE en émission doivent avoir des fréquences adjacentes. Cette contrainte vient du codage SC-FDMA utilisé sur les liaisons radio montantes dont la caractéristique single carrier (SC), impose d'utiliser, pour un terminal donné, un groupe de sous-porteuses adjacentes.

L'allocation de la ressource radio, autrement dit attribution de ressource block à un terminal mobile ; est redéfinie chaque ms à la fin de chaque TTI, ce qui correspond à la durée de deux blocs de ressource.

Les blocs ressource sont utilisés dans la variante de normes LTE : le mode FDD (full duplex) et le mode TDD (half duplex), dans ce deuxième cas, chaque groupe de douze sous-porteuses est

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

réaffecté toutes les 1 à 10 ms (deux à vingt blocs ressource) alternativement à la transmission en émission puis en réception. Une fois que les blocs ressource sont attribués à un abonné, les sous-porteuses qui les composent sont modulées en utilisant un type de modulation : QPSK, 16QAM, 64QAM ou 256QAM adapté à la qualité du canal de transmission radio, notamment à son rapport signal sur bruit. En réception, les blocs ressource correspondants à tel ou tel abonné sont isolés, puis ils sont démodulés en utilisant le type de modulation choisi par l'émetteur.

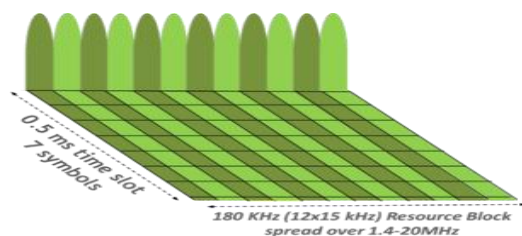


Figure II.17 : Bloc de ressources. [19]

Le nombre de symboles OFDM par slot dépend de la taille du préfixe cyclique configuré par les couches supérieures et il est donné dans le tableau ci-dessous.

Configuration	Structure générique (type 1)	Structure alternative (type 2)
CP normale	7	9
CP étendue	6	8

Tableau II.1 : N_{symb} par slot OFDM en fonction de préfixe cyclique.

Pour tout système radio mobile, il faut définir une technique d'accès qui permet une gestion des ressources radio disponibles. Pour les réseaux LTE, la technique OFDMA est utilisée dans le sens descendant (DL) et la technique SC-FDMA est appliquée dans le sens montant (UL).

➤ **OFDMA** : Une extension de la technique de modulation OFDM qui permet à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément sur un seul symbole OFDM. Cette technique d'accès est largement demandée dans les réseaux sans fils à large bande, car elle résout le problème de sélectivité en fréquence du canal, en le découpant en sous canaux de largeur inférieure à la bande de cohérence. Ainsi, l'information est transmise via plusieurs sous-porteuses orthogonales ; ces dernières sont générées grâce à l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), et leur nombre total qui eux même dépendent de la bande spectrale. L'espacement entre sous-porteuses en LTE est fixé à

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

15 KHz, et le symbole OFDM est celui constitué de la totalité des symboles informations transmis via les sous porteuses.

➤ **SC-FDMA** : C'est une technique d'accès similaire à l'OFDMA où les symboles de données du domaine temporel sont transformés au domaine de fréquence par DFT (Discret Fourier Transform). Cette transformation permet de répartir le SNR (rapport signal sur bruit) sur la totalité de la bande.

La figure II.14 montre la différence entre les deux méthodes d'accès OFDMA et SC-FDMA.

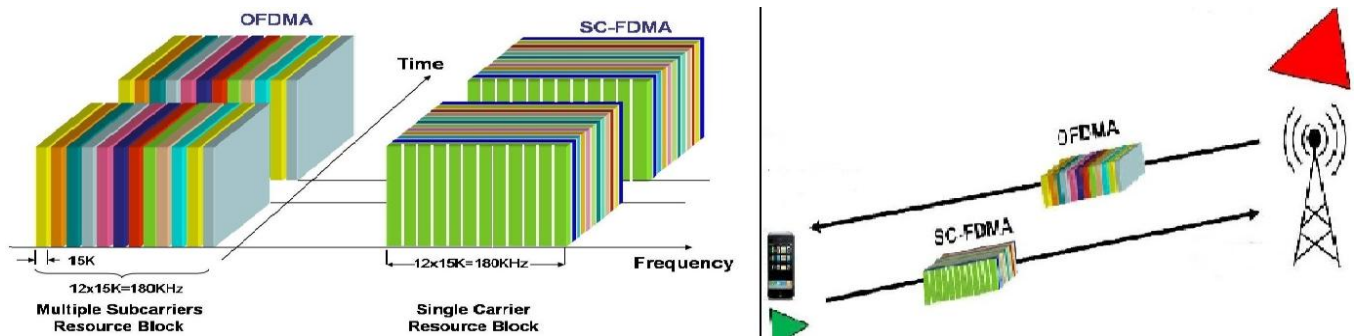


Figure II.18 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA. [19]

II.4.9 Les canaux radio :

Le système LTE, utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission.

Les canaux de l'interface radio sont des points d'accès aux services proposés par une couche N : ils permettent à la couche N+1 de délivrer à cette couche N des données qui devront être traitées et éventuellement marquées selon les spécificités du canal.

On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés.

Les canaux logiques : opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent, comme signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager.

Un canal logique est associé à un ou plusieurs flux de données ou bien de signalisation, qui possèdent des caractéristiques communes : typologie des données transportées (plan usager / plan de contrôle), priorité du flux, débit nominal (garanti ou non). Il est caractérisé par ce qu'il transporte, et non par la façon dont ces données sont véhiculées.

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

Les canaux logiques se séparent en canaux de contrôle qui transportent uniquement des informations du plan de contrôle et canaux de trafic qui véhiculent exclusivement les données du plan usager.

Le tableau suivant présente les différents canaux logiques définis pour l'interface radio du LTE :

Canal logique	Canal de contrôle (plan de contrôle)	Canal de trafic (plan usager)	Usage	Exemples d'information transmise
BCCH : Broadcast Control Channel	x		Pour la diffusion d'informations de contrôle sur la cellule.	Identifiant de la cellule, largeur de bande DL...
PCCH : Paging Control Channel	x		Pour la notification d'appels.	Identifiant de l'UE dans la zone de localisation, type d'appel.
CCCH : Common Control Channel	x		Pour la transmission de la signalisation, quand elle ne peut être transmise sur un canal dédiée (DCCH) Demande d'établissement.	Demande d'établissement d'une connexion RRC.
DCCH : Dedicated Control Channel	x		Porte la signalisation dédiée a un utilisateur (RRC et NAS).	Message commandant a l'UE de réaliser un handover
DTCH : Dedicated Traffic Channel		x	Porte les informations de trafic dédiées à un utilisateur.	Données d'un flux de streaming vidéo (ex. IP/UDP/RTSP).

Tableau II.2: Canaux logiques. [17]

Les canaux de transport : Opèrent entre la couche MAC et la couche physique, ils sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio, par exemple la méthode d'accès aux ressources radio.

Un canal de transport est caractérisé par la façon dont les données sont transportées sur les ressources physiques, notamment :

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

- ✓ La méthode d'accès aux ressources radio (scheduling dynamique, semi-persistant ou statique)
- ✓ Les formats de transport autorisés, qui définissent les traitements de la couche physique à appliquer (type de codage de canal, schéma de transmission MIMO, etc.) ;
- ✓ La possibilité d'effectuer des retransmissions d'HARQ, et si oui, de quel type.

Plusieurs canaux de transport sont définis dans l'interface radio du LTE pour les sens montant et descendant, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Canal de transport	Sens	Caractéristiques	Usage	Exemples d'information transmise
BCH : Broadcast Channel	DL	Ressources, périodicité et format de transport fixes et prédéfinis. Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule.	Pour la diffusion d'informations sur la cellule. Le BCH porte exclusivement le BCCH, et en particulier le <i>Master Information Block (MIB)</i> , voir remarque).	MIB (BCCH) : largeur de bande DL sur la cellule. numéro de trame système (<i>SFN, System Frame Number</i>).
DL-SCH : Downlink Shared Channel	DL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources et l'utilisation de la réception discontinue par l'UE (DRX). Peut bénéficier de beamforming, ou être transmis de manière omnidirectionnelle	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager. Utilise également pour transmettre les informations de cellule non portées par le BCH.	Canaux DCCH, DTCH, CCCH. Canal BCCH : diffusion des informations cellules autres que celles du MIB.
PCH : Paging Channel	DL	Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule. Partage les mêmes ressources physiques que le DL-SCH	Pour diffuser les informations de paging sur l'ensemble de la cellule	Canal PCCH
		Base sur l'accès partage aléatoire (« contention »)	Pour l'établissement d'une connexion RRC avec la	Préambule choisi de façon aléatoire par

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

RACH : Random Access Channel	UL	qui implique un risque de collision entre plusieurs UE lors de la procédure d'accès au réseau.	station de base, son rétablissement, lors d'un handover ou pour transmettre des données (ex. <i>Buffer Status Report</i>) ou encore sur ordre de la station de base si la synchronisation en voie montante a été perdue	l'UE dans un jeu de préambules prédéfinis
UL-SCH : Uplink Shared Channel	UL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources.	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager	Canaux DCCH, DTCH, CCCH

Tableau II.3 : Canaux de transports. [17]

Les canaux physiques : Utilisés par la couche physique, sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission, comme leur placement dans la trame.

Dans une configuration donnée de l'interface radio (déterminée par le protocole RRC), un canal logique ne peut être porté que par un seul canal de transport, mais ce dernier peut transporter plusieurs canaux logiques. La même règle s'applique pour les canaux de transport et les canaux physiques. Enfin, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ni canal logique, car ils portent uniquement des informations relatives à la couche physique.

Un canal physique correspond à un ensemble d'éléments de ressource temps-fréquence dans la sous-trame, il est associé à des caractéristiques physiques particulières, comme une séquence d'embrouillage, des schémas de codage et modulation, des schémas MIMO (uniquement en voie descendante).

Les tableaux suivants présentent de manière synthétique les différents canaux physiques, pour la voie montante et la voie descendante respectivement :

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

Canal physique	Caractéristiques	Usage
PUSCH : Physical Uplink Shared Channel	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien.	Pour la transmission du UL-SCH ; porte également les informations de contrôle du PUCCH en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps
PUCCH : Physical Uplink Control Channel	N'est jamais transmis simultanément au PUSCH d'un même UE (en Release 8).	Pour la transmission d'informations de contrôle nécessaires à l'HARQ (acquittements) et à l'allocation de ressources
PRACH : Physical Random Access Channel	Est formé d'un préambule spécifique à l'UE.	Porte le RACH.

Tableau II.4 : Canaux physiques pour la voie montante. [17]

Canal physique	Caractéristiques	Usage
PDSCH : Physical Downlink Shared Channel	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien.	Pour la transmission du DL-SCH et du PCH.
PBCH : Physical Broadcast Channel		Pour la transmission du BCH.
PCFICH : Physical Control Format Indicator Channel	Le PCFICH est placé dans le premier symbole OFDM de chaque sous-trame.	Indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame.
PDCCH : Physical Downlink Control Channel	Le PDCCH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame.	Pour la transmission d'informations de contrôle : <ul style="list-style-type: none"> • schéma de modulation et codage et allocation de ressources du DL-SCH et PCH, informations d'HARQ pour le DL-SCH. • Schéma de modulation et codage, allocation de ressources et

		informations d'HARQ pour l'UL-SCH. <ul style="list-style-type: none"> • Ordre de déclenchement d'une procédure d'accès aléatoire.
PHICH : Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	Le PHICH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame.	Porte les acquittements d'HARQ.

Tableau II.5 : Canaux physiques pour la voie descendante. [17]

Les figures suivantes décrivent l'association entre les canaux logiques, de transport et physiques, respectivement pour la voie montante et la voie descendante :

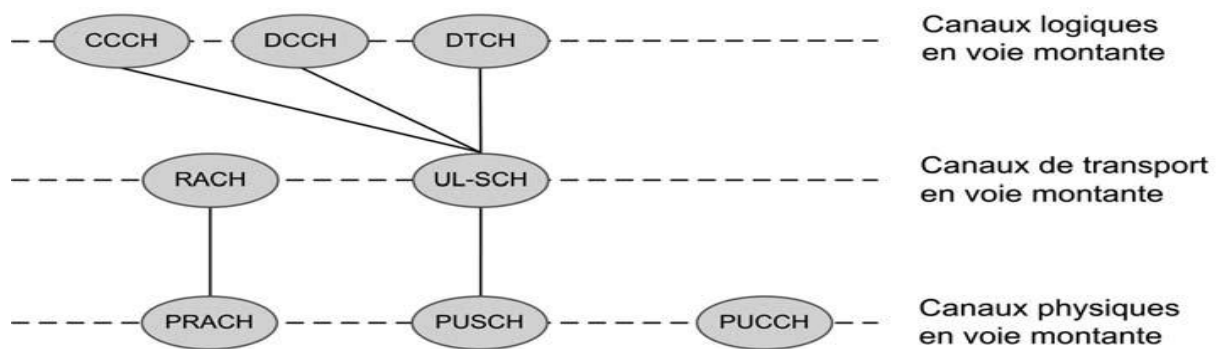


Figure II.19 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie montante. [17]

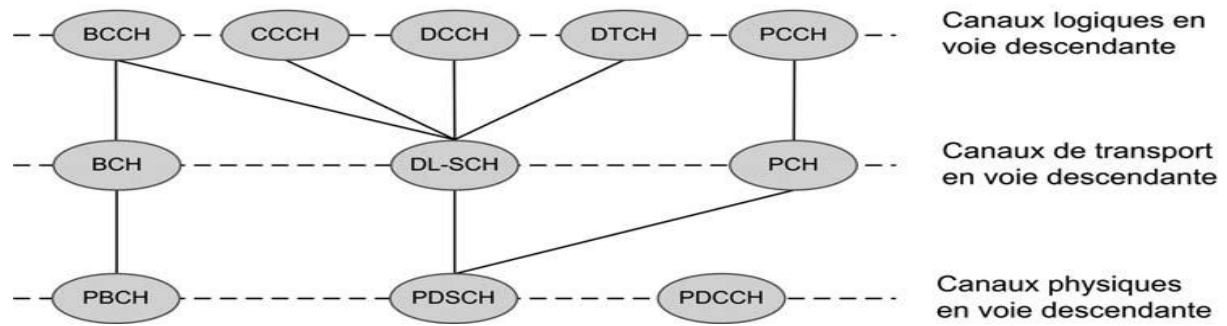


Figure II.20 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voie descendante. [17]

II.5 Le Handover dans LTE :

Le Handover ou transfert intercellulaire est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires qui peut être complété par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours. Il désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un smartphone change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données.

Le processus de Handover permet à un terminal mobile de maintenir la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet, lorsque le signal de transmission entre un téléphone et une station de base s'affaiblit, le logiciel du téléphone mobile cherche une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui soit capable d'assurer à nouveau la continuité de la communication sans interruption.

Le Handover peut également avoir lieu entre des canaux ou cellules radio gérés par une seule BTS ou un NodeB. on parle alors de Handover intracellulaire, par exemple lorsque la station mobile passe d'un canal radio vers un autre, à cause d'une détérioration du lien radio (trop d'interférences dans la bande de fréquence du canal d'origine) ou change de secteur (les antennes sont souvent regroupées par trois sur un pylône où chacune émet dans un angle de 120° , soit 360° au total, ces 3 secteurs sont gérés par une seule BTS ou un seul NodeB).

Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée, les eNodeBs prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeBs via une interface appelée X2. Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message complet de Handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB. Après la réception du

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

message, les Gateways effectuent le chemin de commutation. Les principales étapes du Handover sont (figure II.18) :

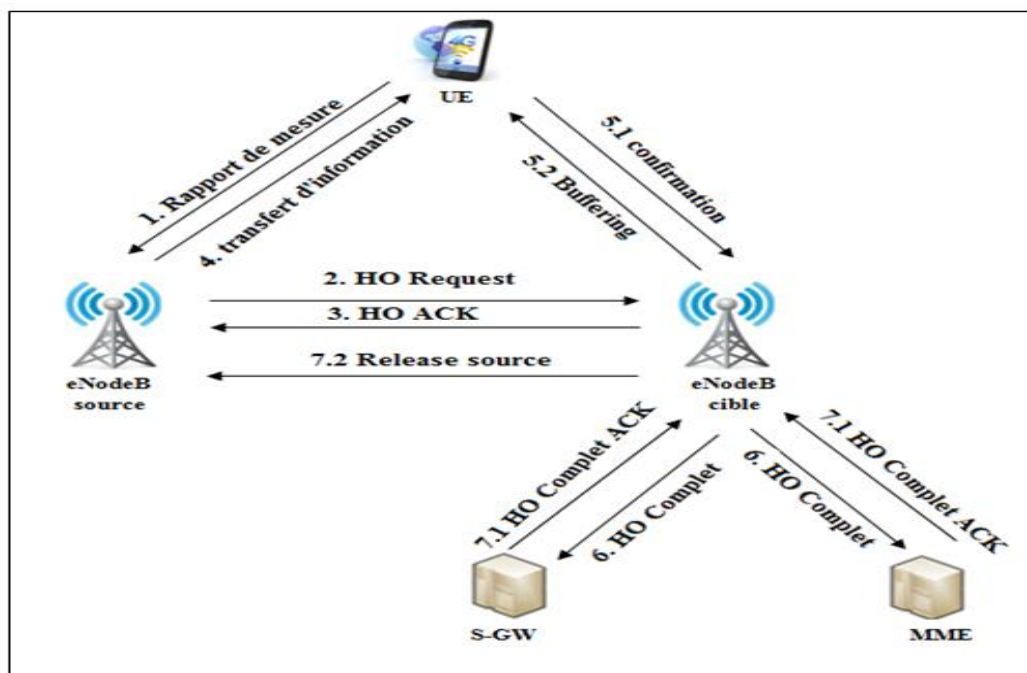


Figure II.21 : Le Handover dans LTE.

- 1) Le Handover est déclenché par l'UE qui envoie un rapport de mesure à l'eNodeB source qui va décider en se fondant sur le rapport reçu et sur les informations concernant la gestion des ressources radio (RRM : Radio Resource Management).
- 2) La phase de préparation du Handover commence par l'envoi d'une requête de Handover (HORequest) de la part de l'eNodeB source vers l'eNodeB cible. Ce message contient toutes les informations pertinentes sur le Handover.
- 3) L'eNodeB cible enregistre le contexte, prépare les couches 1 et 2 (L1/L2) pour le Handover et répond à l'eNodeB source par un acquittement (HO Request Ack) qui fournira les informations sur l'établissement de nouveau lien radio.
- 4) L'eNodeB source transférera toutes les informations nécessaires à l'UE, et à ce moment là, l'eNodeB source arrête d'envoyer et de recevoir des données avec l'UE. Il fera alors suivre les données à l'eNodeB cible.

5) L'UE informe l'eNodeB cible du succès du Handover avec un message de confirmation. Jusqu'à cet instant l'eNodeB cible mémorise les données reçus de l'eNodeB source. Après avoir reçu le message de confirmation il commence à envoyer les données bufférisées à l'UE.

6) L'eNodeB cible initie le changement de chemin de données en envoyant un « Handover Complete » aux passerelles. Les informations de localisation de l'UE seront ensuite mises à jour au niveau des passerelles qui vont effectuer le changement de chemin pour que les données soient envoyées directement vers l'eNodeB cible.

7) L'MME/S-GW confirment le chemin par un message ' Handover Complete Ack ', et dès que l'eNodeB cible reçoit ce message, il envoie une indication 'release Source' au eNodeB source pour qu'il libère définitivement la connexion avec l'UE.

II.6 Qualité de service (QoS) :

QDS (qualité de service) ou QoS (Quality of service), est la capacité de transmission dans de bonnes conditions, un certain nombre de paquet dans une connexion entre un émetteur et un récepteur.

La qualité de service est essentielle pour l'opérateur afin de garantir une expérience satisfaisante à l'utilisateur en assurant des débits suffisants et constants sur tous les types de réseaux.

La technologie LTE offre des mécanismes dits de qualité de service différenciée afin de faciliter la prise en compte des contraintes de services différents. Les services mobiles peuvent être distingués selon deux critères principaux, souvent intimement liés.

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

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

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

nécessitant un débit garanti ou GBR (Guaranteed Bit Rate), des services ne requérant pas de débit garanti (non-GBR).

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

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

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

Faible : s'il s'agit d'une messagerie électronique ou de fichiers.

Fort : s'il s'agit de données "voix".

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

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

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

✓ **Le mode burst** : est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (par exemple lors d'un transfert de fichier).

✓ **Le mode stream** : est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.

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

Le bearer EPS :

Le bearer EPS est un tuyau (tunnel) construit entre l'UE et le P-GW caractérisé par des paramètres de QoS car les applications n'ont pas les mêmes besoins : Certaines applications comme le streaming, la vision et la phonie nécessitent un débit garanti (GBR) alors que le

CHAPITRE II LE RESEAU MOBILE 4G

browsing et le téléchargement se suffisent de Best Effort (Débit Non Garanti). Il existe deux types de bearers EPS :

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

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

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

Les Performance des réseaux 4G sont :

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

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

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

Débit sur l'interface radio : Le débit de la 4G est de 100 Mbit/s descendant et 50 Mbit/s montant, en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz.

Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.

Connexion permanente : Principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet ; même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou recevoir du trafic. Ce changement d'état s'opère en moins de 1 s.

Délai pour la transmission de données : Moins de 5 ms entre l'UE et l'Access Gateway, ceci dans une situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio. La valeur

moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio, ceci permet de supporter les services temps réel IP nativement, comme la voix sur IP et le streaming sur IP.

Flexibilité dans l'usage de la bande : Le Handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le Handover entre LTE et la 2G/3G est toujours possible.

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques de la technologie LTE qui répond à des nouveaux besoins, une brève description de l'architecture générale du réseau LTE et ces objectifs techniques, les caractéristiques de réseau de cœur (EPC) et de réseau d'accès E-UTRAN, ainsi que les principales techniques utilisées dans les interfaces aériennes du réseau LTE.

Une bonne connaissance des architectures permet aux planificateurs 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.

Chapitre III :
Le Dimensionnement
D'un Réseau
4G

III.1 Introduction :

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

Le but d'un opérateur de télécommunication est d'offrir des services de voix et de données au public, les communications pouvant se faire n'importe où dans la zone de couverture et n'importe quand.

La planification des réseaux cellulaires ne fait pas partie du standard, mais ceci ne contredit pas son intérêt fondamental, comme étant une phase très importante dans le cycle de vie de tout réseau. Du fait, un opérateur doit se focaliser sur la planification, avant la mise en œuvre de son réseau, dans le but d'optimiser le coût de déploiement et devenir plus concurrent dans le marché. Dans notre chapitre nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : couverture et capacité.

III.2 Processus de Dimensionnement :

La planification en LTE comme tout autre réseau cellulaire, est une tâche complexe, contenant un certain nombre d'étapes consécutives, dont l'output d'une certaine étape fournit l'input de l'étape suivante. Contrairement à ces antécédents, la planification de couverture et de capacité en LTE se font de façon conjointe, en une seule tâche, appelée dimensionnement .Le processus entier peut se résumer en quatre grandes phases :

- **Pré-dimensionnement:**

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. On donne comme exemple :

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

- **Dimensionnement de couverture:**

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

- **Dimensionnement de capacité:**

Consiste à sélectionner les positions géographiques adéquates des sites, en vérifiant si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés, ainsi que les configurations nécessaires des antennes dans le but de maximiser la couverture et la qualité.

- **Optimisation:**

Un processus itératif de contrôle et de suivi des KPI (Key Performance Indicator), ayant le but de maintenir les exigences de QoS préétablis. On compare les résultats obtenus de deux dimensionnement, et on considère le nombre de sites le plus grand.

III.3 Dimensionnement de LTE :

Le dimensionnement est une étape préliminaire qui permet de déterminer le volume des équipements et les logiciels à acquérir et à déployer afin de satisfaire ses abonnés ainsi le nombre des eNodeBs maximum du nombre issu des deux méthodes.

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème complexe qui met en jeu à la fois des aspects théoriques et pratiques. Il s'agit de trouver la meilleure architecture cellulaire au regard de plusieurs critères qu'on peut résumer comme suit :

- **Qualité de couverture** : garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir.
- **Absorption de la charge** : le réseau doit être capable de fournir un nombre de canaux de communication adapté à la densité de trafic associée à chaque cellule.
- **Mobilité** : Faciliter le handover lors des changements de cellules. Chaque station de base doit connaître ses voisines pour permettre à un utilisateur de se déplacer sans perte de communication.
- **Evolutivité** : un réseau cellulaire de type LTE est en perpétuelle évolution, intégrant de nouvelles stations de bases, ou simplement de nouveaux TRX associés à chaque station de base.

- Déploiement du réseau fixe via un ensemble de faisceaux hertziens pour interconnecter les stations de base.

Dans la pratique, le déploiement d'un réseau LTE nécessite l'optimisation du placement des sites, sous les deux contraintes de type radio et trafic. Il s'agit de tester, en fonction du type d'antenne, de sa puissance d'émission et de son orientation, la zone couverte par l'émetteur. Une approche pas à pas permet progressivement de faire converger le réseau vers une bonne configuration.

Le principe est le suivant : de répartir les émetteurs sur le terrain, établir les zones de couverture, et les adapter en déplaçant les sites, en modifiant les puissances d'émission, en choisissant les orientations. Une fois la couverture est assurée, il faut rechercher une répartition des fréquences en analysant les sites qui sont voisins, ainsi rechercher une répartition des fréquences entre les sites.

III.3.1 Planification orientée couverture :

La prédiction de couverture est fondamentale car elle conditionne à la fois les critères radios ; on peut prédire les perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de couverture apparait lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeBs n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile.

La mauvaise couverture provoque une élévation de taux d'échec d'accès, taux de coupure de communication, taux de Handover.

Les étapes de dimensionnement de couverture sont :

Exigence de qualité: est d'atteindre le débit binaire demandé avec une certaine probabilité par exemple 64 kbps doivent être atteint avec une probabilité de 98%.

Dimensionnement de liaison montante: cherchant à cette étape le rayon de la cellule a partir du débit binaire à la bordure de la cellule.

Dimensionnement de liaison descendante: Si les exigences de qualité de liaison descendante sont remplies, on calcule la distance de site à mobile et on la compare avec le résultat limité de l'Uplink.

Couverture de canaux de contrôle: La performance du canal de contrôle à la bordure de la cellule doit être vérifiée par rapport à la valeur de la distance intersites calculée.

III.3.1.1 Bilan de liaison Radio (RLB) :

Souvent, lorsqu'on veut planifier une liaison radio, pour toute application sans fil, la première question qui se pose est : Quelle est la distance maximale que peut séparer l'émetteur de récepteur?

Pour répondre à cette question le premier pas à faire est de déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable PathLoss MAPL), en passant par établir un bilan de liaison radio (RLB). La seule sortie de RLB est l'affaiblissement de parcours maximal, ce dernier est utilisé conjointement avec un modèle de propagation pour enfin déduire la distance maximale pouvant séparer l'émetteur de récepteur. [12]

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

$$PRx = PTx + GTx - LTx + GRx - LRx - PL - PM \quad (III.1).$$

Avec :

PTx : Puissance émise (dBm).

GTx : Ensemble des gains introduits au niveau de l'émetteur (dBi).

LTx : Ensemble des pertes introduites au niveau de l'émetteur (dB).

GRx : Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur (dBi).

LRx : Ensemble des pertes introduites au niveau du récepteur (dB).

PL : Affaiblissement de parcours (dB).

PM : Marges de planification (dB).

Dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue devient donc la sensibilité du récepteur. La différence entre la puissance de l'émetteur et la sensibilité de récepteur donne l'affaiblissement maximum qu'on peut tolérer, il est calculé de la manière suivante :

$$MAPL = PIRE - RefSens - LRx + PM \quad (III.2).$$

Avec :

MAPL (Maximum Allowable PathLoss): L'affaiblissement maximal de parcours, exprimé en dB. C'est le paramètre qu'on veut déterminer à travers l'établissement d'un bilan de liaison.

PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) ou EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) : est la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope. Elle est exprimée en dB, sous la formule suivante : $PIRE = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX}$ (III.3).

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

Tableau III.1 : Paramètres pour le calcul du la PIRE. [8]

RefSens : désigne la sensibilité de référence du récepteur, exprimée en dB. Physiquement, ce paramètre correspond à la puissance minimale de réception, elle est donnée par la formule : [12]

$$RefSens = 10 \log_{10} (K.T.BRx) + SINRreq + NF + IM - GRx, d \quad (III.4)$$

Avec :

K : Constante de Boltzmann (1.388062×10^{-23}).

T : Température ambiante en (K)

BRx : La largeur de bande de réception : elle dépend du nombre de blocs de ressources requis, et la largeur d'un bloc de ressources.

SINRreq : La valeur de SINR requise au récepteur : dépend de **BRx**, du débit d'information requis, schéma CoMP, MIMO, etc. Déduite à partir des simulations.

NF (Noise Figure (dB)) : dépend du mode de duplexage et l'écart duplex.

IM (Marge d'implémentation (dB)) : dépend du constructeur, elle tient compte des erreurs résiduelles dans l'étage RF du récepteur (erreurs d'échantillonnage, quantification, etc.)

GRx, d : Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du type de récepteur¹³ et du nombre d'antennes : $GRx, d = 10 \cdot \log_{10} NR$ (III.5).

III.3.1.2 Modèle de Propagation :

Sur des distances inférieures à 1 km, la propagation est plus perturbée par les bâtiments et les arbres que par le relief: le rôle déterminant est joué par les bâtiments, la plupart des liaisons radioélectriques de courte portée étant utilisées dans des zones urbaines et suburbaines et le terminal mobile étant, très vraisemblablement, transporté par un piéton ou à bord d'un véhicule. Etant donné la grande diversité des environnements existant à l'intérieur de chaque catégorie, il n'est pas prévu de modéliser chaque cas possible, mais d'établir des modèles de propagation qui soient représentatifs des environnements les plus fréquents comme :

Urbain élevé : Véritables «canyons urbains», c'est-à-dire rues encaissées entre des bâtiments de plusieurs étages chacun, la propagation par-dessus les toits des bâtiments est peu probable à cause de leur hauteur, les temps de propagation risquent d'être longs à cause de l'existence de rangées de bâtiments de grande hauteur ainsi les nombreux véhicules se déplaçant dans la zone sont autant d'obstacles qui réfléchissent les ondes et ajoutent un effet Doppler aux ondes réfléchies.

Urbain/suburbain faiblement élevé : Se caractérise par des rues larges, risque de diffraction par-dessus les toits des bâtiments qui comptent en général moins de trois étages, les véhicules en mouvement peuvent parfois donner lieu à des phénomènes de réflexion et d'occultation principales conséquences: temps de propagation importants et effet Doppler faible.

Résidentiel : Habitations de un ou deux étages, les rues sont en général à deux voies et des voitures sont stationnées le long des bas-côtés, possibilité de feuillage plus ou moins dense ainsi trafic automobile habituellement léger.

Rural : Petites maisons entourées de grands jardins, incidences de la topographie, possibilité de feuillage plus ou moins dense et trafic automobile parfois élevé.

Dans chacun de ces quatre environnements on tient compte de deux scénarios possibles d'utilisation du terminal mobile, les usagers étant divisés en piétons et en automobilistes. Pour ces deux applications, la vitesse de déplacement du mobile est très différente, d'où des effets Doppler différents. Le Tableau 2 indique les vitesses types retenues pour ces scénarios :

Milieu	Vitesse pour les piétons	Vitesse pour les véhicules
Urbain élevé	1,5 m/s	Vitesse type en centre ville d'environ 50 km/h (14 m/s)
Urbain/suburbain faiblement élevé	1,5 m/s	Environ 50 km/h (14 m/s); routes express jusqu'à 100 km/h (28 m/s)
Résidentiel	1,5 m/s	Environ 40 km/h (11 m/s)
Rural	1,5 m/s	80-100 km/h (22-28 m/s)

Tableau III.2: Vitesses types de déplacement du mobile. [1]

Le type de mécanisme de propagation qui domine dépend, notamment, de la hauteur à laquelle se situe l'antenne de la station de base par rapport aux bâtiments environnants. Le Tableau 3 définit les types de cellule usuels pour une propagation sur une petite distance à l'extérieur des bâtiments.

Type de cellule	Rayon de la cellule	Emplacement type de l'antenne de la station de base
Macrocellule de petite taille	0,5 km à 3 km	En extérieur; installée au-dessus du niveau moyen des toits, certains bâtiments environnants pouvant être plus hauts que la hauteur d'antenne de la station de base
Microcellule	100 m à 500 m	En extérieur; installée au-dessous du niveau moyen des toits
Picocellule	Jusqu'à 100 m	En intérieur ou en extérieur (installée au-dessous du niveau des toits)

Tableau III.3: types de cellule. [1]

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

- La fréquence de l'onde.
- La distance parcourue par l'onde.
- Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception.
- Type de terrain (morphologie).
- Clutter (caractéristiques et densité des bâtiments).

Il existe plusieurs modèles de propagation RF, on cite quelques modèles les plus utilisés :

a) Modèles de propagation en espace libre :

Le modèle de prédiction de la propagation en espace libre est le premier modèle qui a été proposé, il est utilisé en supposant que le chemin entre l'émetteur et le récepteur est complètement dégagé. C'est le cas des communications par satellites. La puissance reçue après une distance d de l'émetteur est égale à :

$$P_r = \frac{P_e G_e G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

λ Longueur d'onde.

P_e : Puissance émise.

G_e : Gain de l'antenne d'émission.

G_r : Gain de l'antenne de réception.

L : Facteur de perte du système, il est indépendant de la propagation et toujours supérieur ou égal à 1. Il est dû aux pertes des filtres, des antennes etc....

$L=1$ indique que le système ne possède aucune perte.

L'atténuation du parcours est définie comme une grandeur positive exprimée en dB qui traduit la différence (dB) entre la puissance émise et la puissance reçue. En appliquant cette définition dans le cas de la propagation en espace libre, l'atténuation de parcours est donnée par :

$$PL(db) = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{G_e G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \right) \quad (III.7)$$

Lorsque $G_e=G_r=1$, l'atténuation résultante entre l'émetteur et le récepteur est :

$$PL(db) = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (III.8)$$

Il est à noter que le modèle de propagation en espace libre n'est utilisé que lorsque le récepteur est suffisamment éloigné de l'émetteur, ou situé dans la région de Fraunhofer. La région de Fraunhofer d'une antenne est définie comme la région au delà d'une distance qui dépend de la dimension de l'aire équivalente de l'antenne et la longueur d'onde de la porteuse. Elle est donnée par :

$$df = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (III.9) \quad : \text{Où } D \text{ est la dimension de l'antenne physique.}$$

En pratique la puissance reçue en un point situé à une distance d dans la région de Fraunhofer se calcule par rapport à une distance de référence d_0 . La puissance $P(d_0)$ peut être calculée ou dégagée à partir des mesures faites dans un environnement donné. Pour un point situé à une distance $d > d_0 > df$ l'équation de propagation en espace libre peut être reformulée selon l'équation suivante :

$$PL(d) = PL(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 \quad (III.10)$$

b) Modèles empiriques :

Les modèles empiriques de prédiction de propagation sont, en réalité, des formulations mathématiques exprimant l'atténuation en fonction de plusieurs paramètres tels que la fréquence d'émission, le degré d'urbanisation, la hauteur des terminaux...

Leur qualification d'empirique vient du fait que ces modèles sont élaborés à partir des statistiques effectuées sur un ensemble de mesures. La classification des modèles empiriques se fait selon leurs distances d'application. On distingue deux catégories : Outdoor et Indoor.

❖ Modèles Outdoor :

✚ Modèle d'Okumura-Hata :

La formule d'Okumura-Hata est la formule la plus utilisée à l'heure actuelle au niveau des outils de planification cellulaire. Cette formule est définie par Hata à partir des mesures effectuées par Okumura dans les environs de TOKYO. Le principe de base de cette méthode repose sur le calcul de l'affaiblissement en espace libre et ajouter un facteur d'atténuation selon le degré d'urbanisation. Les conditions de validité de ce modèle sont récapitulées ci-dessous :

FORMULATION :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(d) \quad (\text{III.11})$$

➤ Pour une ville grande, l'expression est donnée par :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad \text{où } a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (\text{III.12})$$

➤ Pour une ville moyenne, l'expression est donnée par :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad (\text{III.13})$$

Avec :

$$a(\text{hm}) = 8.29 [\log(1.54 \text{ hm})]^2 - 1.1 \quad \text{pour } f \leq 200 \text{ Mhz}$$

$$a(\text{hm}) = 8.29 [\log(1.54 \text{ hm})]^2 - 4.97 \quad \text{pour } f \geq 200 \text{ Mhz}$$

$$a = 0 \text{ dB pour } \text{hm} = 1.5 \text{ m}$$

➤ Pour un environnement banlieue, les pertes ont pour expression :

$$L_{\text{banlieue}} = L_0 - 2 [\log(f/28)]^2 - 5.4 \quad (\text{III.14})$$

➤ Pour un environnement rural dégagé, les pertes ont pour expression :

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78 [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \quad (\text{III.15})$$

Avec:

f : fréquence en Mhz ($150 \text{ Mhz} \leq f \leq 1500 \text{ Mhz}$).

d : distance entre la station de base et le mobile en Km ($1 \text{ Km} \leq d \leq 20 \text{ Km}$).

hb : hauteur de la station de base en m ($30 \text{ m} \leq \text{hb} \leq 200 \text{ m}$).

hm : hauteur du mobile en m ($1 \text{ m} \leq \text{hm} \leq 10 \text{ m}$).

Le modèle d'Okumura-Hata ne tient toutefois pas compte des reliefs précis tels que les masques de diffraction, de plus la bande de fréquence interdit son utilisation pour des applications comme la planification du LTE. A cet effet un modèle amélioré a été proposé, c'est celui de COST231 de HATA.

✚ **Modèle Erceig Greenstein :**

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

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0 f_{\text{MHz}}}{c} \right) + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h \quad (\text{III.16})$$

CHAPITRE III DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU 4G

Avec :

Terrain A : Montagneux avec une lourde densité d'arbres.

Terrain B : Vallonné avec une densité modérée d'arbres.

Terrain C : Terrain plat avec faible densité d'arbres.

$$d_0 = 100 \text{ mètres}$$

$$X_f = 6 \log_{10} \left(\frac{F_{\text{MHZ}}}{2000} \right)$$

$$\gamma = a - b h_b + \frac{c}{h_b}$$

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

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

🚦 **Modèle COST 231 de Hata :**

Le modèle COST 231 de Hata est développé ainsi pour étendre l'utilisation du modèle d'Okumura-Hata pour les bandes de 1500 à 2000 MHz.

Formulation :

$$L_p = 46.33 + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(d) - a(h_m) - 13.82 \log(h_b) + C \quad (\text{III.17})$$

➤ Pour les petites et moyennes villes :

$$a(h_m) = [(1.1 \log(f) - 0.7) * h_m] - 1.56 \log(f) + 0.8$$

➤ Pour les villes denses :

$$a(h_m) = [3.2 \log(11.75 * h_m)]^2 - 7.97$$

La valeur de C est donnée :

-Dans le milieu urbain : $C = 0$

-Dans le milieu suburbain : $C = -51.11$

-Dans le milieu rural : $C = -30.23$

✚ Modèle de Walfisch-Ikegami /Bertoni :

Le groupe de recherche européen COST 231 utilise un modèle combinant les approches empiriques et déterministes pour calculer les pertes de propagation en milieu urbain. Ce modèle tient en compte la perte de propagation en espace libre, la perte par diffraction, la perte entre les toits des bâtiments voisins et l'influence des routes où le mobile est situé.

Le modèle considère seulement les bâtiments dans la direction verticale entre l'émetteur et le récepteur. Il se base principalement sur les modèles de Walfich et Bertoni ainsi que celui d'Ikegami.

Les paramètres intervenants et les conditions de validité du modèle sont donnés ci-après :

f : Fréquence porteuse (MHz) : $800 \leq f \leq 2000$.

h_{TX} : Hauteur d'antenne (m) de la station de base par rapport au sol : $4 \leq h_{TX} \leq 50$.

h_{RX} : Hauteur d'antenne (m) de la station mobile par rapport au sol : $1 \leq h_{RX} \leq 3$.

h_{Roof} : Hauteur moyenne (m) des bâtiments : $h_{Roof} \geq h_{RX}$.

W : Largeur de la route (m) où le mobile est situé.

b : Distance (m) entre les centres de bâtiments.

d : Distance (Km) entre la BS et la MS : $0.02 \leq d \leq 5$.

α : Angle (en degrés) que fait le trajet avec l'axe de la route

$\Delta h_{TX} = h_{TX} - h_{Roof}$: Hauteur de BS au dessus des toits (m).

$\Delta h_{RX} = h_{Roof} - h_{RX}$: Hauteur de MS au dessous des toits (m).

Ce modèle distingue deux cas, selon la vision de mobile avec l'émetteur :

1) LOS (Line-of-sight / vision directe):

Sont des connexions sans obstacles, les plus puissantes et plus stables que les connexions NLOS, qui connaissent un taux d'erreur plus élevé.

Formulation :

$$L_p \text{ (dB)} = 42.64 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad \text{(III.18)}$$

Le modèle suppose que la hauteur d'antenne de BS est supérieure à 30m pour assurer le dégagement de la zone de Fresnel. L'affaiblissement dans l'espace libre est donné par :

$$L_{fs} \text{ (dB)} = 32.45 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad \text{(III.19)}$$

L'affaiblissement en LOS dans le cas du modèle de *Walfisch-Ikegami* s'écrit alors :

$$L_p \text{ (dB)} = L_{fs} + 10.19 + 6 \log(d) = L_{fs} + 6 \log(50d) \quad \text{(III.20)}$$

2) NLOS (Non-line-of-sight / vision indirect):

Un signal émis par une station de base peut franchir de petits obstacles, tels que les maisons, les arbres et les grands obstacles tels que les collines et les grands immeubles ne peuvent malheureusement pas être franchis par les signaux LTE. Comme connaît une diminution en termes de débit.

Formulation :

$$L_p \text{ (dB)} = L_{fs} + (L_{rts} + L_{msd}) \quad \text{si } (L_{rts} + L_{msd}) > 0 \quad \text{(III.21)}$$

$$L_p \text{ (dB)} = L_{fs} \quad \text{si } (L_{rts} + L_{msd}) \leq 0 \quad \text{(III.22)}$$

Avec :

L_{fs} : Perte de l'espace libre.

L_{rts} : Perte due à la diffraction.

L_{msd} : Estimation des effets de la diffraction multi obstacle.

L'exactitude de ce modèle est assez élevée par-ce-que dans les environnements urbains, la propagation sur les toits (diffractions multiples) est le mécanisme le plus dominant.

❖ **Modèles Indoor :**

Plusieurs types de modèles empiriques étaient proposés pour résoudre le problème de propagation Indoor. Observons plus en détails quelques modèles les plus utilisés :

✚ Modèle Log normal shadowing :

Ce modèle peut être également utilisé dans les environnements indoor du fait qu'il introduit une variable aléatoire modélisant l'effet des obstacles pour une même distance du récepteur :

$$Pl \text{ (dB)} = Pl \text{ (d}_0\text{)} + 10 n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad \text{(III.23)}$$

Avec :

n : dépend des alentours et du type de l'immeuble.

X σ : représente la variable aléatoire normale exprimée en dB.

✚ Modèle de facteur d'atténuation :

Un modèle flexible, utilisé pour réduire la différence entre l'atténuation de parcours prévue. Les résultats seront nettement meilleurs que ceux donnés par le modèle log normal shadowing. La formulation de l'atténuation est donnée par :

$$PL(d) \text{ [dB]} = PL \text{ (d}_0\text{)} \text{ [dB]} + 10 n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + FAF \text{ [dB]} + \sum PAF \text{ [dB]} \quad \text{(III.24)}$$

Avec:

d : Distance qui sépare l'émetteur du récepteur.

d₀ : Distance de référence.

PL (d₀): L'atténuation de parcours pour la distance de référence.

n : Représente l'indice de propagation pour le même étage.

FAF : Facteur d'atténuation d'un étage pour un nombre précis d'étages.

PAF : Facteur d'atténuation de partition pour un obstacle spécifique entouré par une ligne dessinée entre l'émetteur et le récepteur en 3D.

Le modèle déjà cité permet de modéliser l'effet des murs et des étages dans l'équation de propagation. Ses inconvénients majeurs c'est qu'il ne prend pas en considération tout d'abord le

point de rupture qui divise l'espace de propagation en deux régions d'indices différents et il ne considère pas l'effet de l'angle d'incidence de l'onde avec les obstacles.

Le modèle qui a été proposé par Cheung et qui prend en considération les deux phénomènes déjà cités est donné par :

$$PL(d) [dB] = 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^{n_1} U(d_{bp}-d) + 10 \left[\log \left(\frac{d_{bp}}{d_0} \right)^{n_1} + \log \left(\frac{d_{bp}}{d_0} \right)^{n_2} \right] U(d-d_{bp}) + \sum_{p=1}^P WAF(p) / \cos \theta_p + \sum_{q=1}^Q FAF(q) / \cos \theta_q \quad (III.25)$$

Avec :

d : est la distance émetteur-récepteur.

d_{bp} : est la distance séparant le point de rupture de l'émetteur.

n₁, n₂ : les indices d'atténuation de parcours situés de part et d'autre du point de rupture.

U(.) : La fonction définie par :

$$U(d) = \begin{cases} 0 & \text{si } d < 0 \\ 1 & \text{si } d \geq 0 \end{cases}$$

WAF(p) et FAF(q) : sont les facteurs d'atténuation à l'incidence normale

θ_p et θ_q : sont respectivement les angles entre le **p^{eme}** mur et le **q^{eme}** plancher et la ligne droite émetteur-récepteur.

II.3.1.2.1 Calibration d'un modèle de prédiction :

La calibration du modèle de propagation est l'étape préliminaire la plus importante avant de débiter un projet de planification sur un outil radio. En effet les résultats de propagation doivent être en corrélation avec les mesures faites sur le terrain. Ceci devra être obtenu en introduisant les bons paramètres au niveau du modèle de propagation.

Son objectif est de faire converger les valeurs prédites vers celles mesurées quel que soit le type de clutter considéré. Les mesures statistiques à savoir l'erreur moyenne et la déviation standard sont utilisées dans l'analyse des résultats pour chaque type de clutter.

CHAPITRE III DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU 4G

Le processus de calibration contient deux parties importantes sont : [14]

Drive test : son but est d'évaluer le niveau des champs, transmis à partir d'un émetteur, à différentes positions dans la région de couverture. Les données sont collectées pour différents clusters, pour être analysées par la suite. Le drive test produit des fichiers de données contenant les mesures du niveau des champs et les coordonnées GPS collectées pour chaque point.

Les équipements utilisés dans le Drive test sont :

- Un cellulaire TMS qui permet de recevoir les signaux émis.
- Le Software TMS (installé sur l'ordinateur portable qui assure l'enregistrement des données reçues).
- Le GPS qui donne à chaque point de capture de signal, une localisation géographique.
- La Voiture avec toute l'installation.



Figure III.1 : les équipements de drive test. [14]

Après avoir effectuée les mesures, les résultats doivent être traités pour les convertir afin de pouvoir utiliser le module de calage intégré dans le logiciel et de vérifier la validité des parcours et points GPS. Si trop d'erreurs apparaissent, il est préférable de recommencer les mesures. Cette étape se résume donc à effectuer les deux tâches principales suivantes :

Vérification et filtrage des mesures : On vérifiera que le positionnement des mesures (et des sites) est correct par rapport aux bases de données cartographiques, dans le cas contraire, on pourra corriger manuellement la position des points erronés (translation, rotation, etc.). On vérifiera aussi que les valeurs des champs visualisées correspondent a celles attendues, et on supprimera toutes valeurs non significatives (ex : mesures dans un tunnel, mesures sur un pont, événement particulier lors de la mesure, mesures saturées et mesures proches de la sensibilité du récepteur).

Calculer la moyenne en distance des données mesurées : Ce calcul est nécessaire afin d'obtenir une estimation correcte du champ moyen local et de donner la même importance a toutes les positions.

Calibration : Lorsque les données de mesure ont été sélectionnées et filtrées, on peut commencer la calibration du modèle :

-Définir quelques paramètres initiaux dans le modèle de propagation.

-Dans notre cas, après calibration sur l'outil de planification, c'est ATOLL qui offre plusieurs façons différentes pour analyser le modèle de propagation calibre.

III.3.1.3 Calcul de la sensibilité du récepteur :

Le calcul de la sensibilité n'est pas évident, il est complexe et passe par plusieurs étapes, dans cette partie, on va déterminer BRx et $SINR_{req}$ de l'équation (III.4)

a) **Détermination de la bande de réception BRx :**

$$BRx = NPRB * BWPRB = NPRB * 12 * \Delta F = 180 \text{ KHz} * NPRB \quad (\text{III.26})$$

Avec :

$NPRB$: le nombre de PRB (Physical Resource Block)

$BWPRB$: la largeur de bande d'un PRB

$\Delta F = 15 \text{ KHz}$: l'espacement entre sous-porteuses.

CHAPITRE III DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU 4G

Etant sur la bordure de la cellule (où la puissance reçue doit être supérieure ou égale à la sensibilité), et pour déterminer N_{PRB} , nous devons tout d'abord fixer :

Débit d'information requis sur les bordures de la cellule : il dépend du service à planifier et garantir. On le note : $R_{service}$ [bits/s].

BLER (Block Error Rate) (%) : Le taux d'erreur par bloc à planifier sur les bordures de la cellule, il dépend du type de service à planifier et garantir. On le note : $BLER_{traget}$.

MCS index (Modulation & Coding Scheme) : La technique de modulation et de codage optimale. L'index prend une valeur de 0 à 28. En fait, chaque MCS index doit se référer à une modulation ayant b bits/symbole et un codage de rendement R .

Le Coût système (System OverHead) (%) : on va le noter SOH , présente le pourcentage des ressources consommées par le système parmi la totalité des ressources.

Par conséquent, N_{PRB} , est donné par la formule (III.27) :

$$N_{PRB,req}^{xl} = E \left\{ \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{xl} \cdot (1 + SOH^{xl})}{(100\% - BLER_{traget}^{xl}) \cdot R^{xl} \cdot b^{xl} \cdot CP_i \cdot 12} \right\} + 1 \quad (III.27)$$

Avec :

Xl : indice qui mentionne UI /DL.

CP_i : nombre de RE (élément ressource), par TTI (égal à 7 pour un préfixe cyclique normal et 6 pour un préfixe cyclique étendu).

$E \{ \}$: la partie entière.

Le débit d'information réellement demandé s'écrit sous la forme :

$$R_{réel} = \frac{R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{traget}^{DL})} \text{ [bits/sec]} \quad (III.28)$$

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

$$TBS = \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{traget}^{DL})} \text{ [bits/TTI]} \quad (III.29)$$

Il suffit maintenant de trouver le nombre PRB requis, on rappelle que le nombre de RE par PRB est égal à $CPi \times 12$, d'où on peut retrouver le nombre de PRB requis en passant par la formule

$$N_{RE,req} = \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{traget}^{DL}) \cdot R^{DL} \cdot b^{DL}} \text{ [RE]} \quad (III.30)$$

b) Déterminati on du SINR requis :

Avec la stratégie basée sur la valeur estimée de SINR, le terminal mobile identifie les stations de base et les points d'accès dans son entourage, estime les canaux et la puissance reçue des différents stations de base (ou des points d'accès) et la variance de bruit thermique. Ensuite, il sélectionne le réseau qui présente la plus grande valeur de SINR.

La valeur de SINR est une quantité qui décrit la qualité du signal utile par rapport à l'interférence en provenance des stations voisines et du bruit thermique. Pour déduire la valeur, nous allons proposer deux solutions :

La première consiste à calculer la valeur reçue de SINR au sens le plus général, le canal intègre également les perturbations externes affectant la transmission : l'interférence et le bruit thermique qu'est provoqué par les équipements électroniques du récepteur, tandis que l'interférence est créée par d'autres transmissions radio que celle attendue par le récepteur.

La qualité du signal reçu, aussi appelée la qualité du canal, est caractérisée par le rapport signal sur interférence et bruit (Signal to Interference and Noise Ratio, SINR), défini comme suit :

$$SINR = \frac{\text{Puissance du signal utile}}{\text{Puissance de l'interférence} + \text{Puissance du bruit}} \quad (III.31)$$

Les deux signaux utile / interférence sont présenter dans la figure ci-dessous :

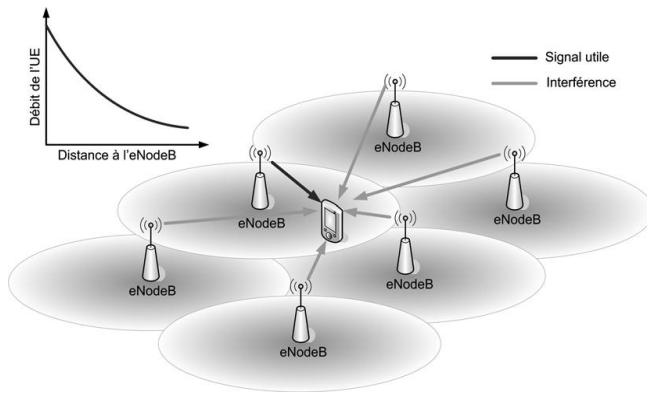


Figure III.2 : Influence de la position de l'UE dans la cellule sur son débit.

Une deuxième solution consiste à l'approximation par la formule d'alpha-Shannon :

$$\eta = \eta_{BW} \cdot \log_2 (1 + \eta_{SINR} \cdot SINR) \quad (III.32)$$

Avec :

η : L'efficacité spectrale.

η_{BW} : L'efficacité de la bande.

η_{SINR} : L'efficacité de SINR.

Le débit théorique maximal est donné par :

$$R = B_{Rx} \cdot \eta = B_{Rx} \cdot \eta_{BW} \cdot \log_2(1 + \eta_{SINR} \cdot SINR) \quad (III.33)$$

D'où :

$$SINR = \frac{1}{\eta_{SINR}} (2^{\frac{R}{B_{Rx} \cdot \eta_{BW}}} - 1) \quad (III.34)$$

On déduit :

$$SINR_{req} = 10 \cdot \log_{10}(SINR) \quad (III.35)$$

c) Les marges de bruit :

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

➤ **Marge de pénétration :**

Perte de pénétration est l'atténuation du signal due à la pénétration aux bâtiments. Elle dépend du type de zone. Comme indique le tableau :

Environnement	Perte de pénétration dB
Dense urbaine	18-25
Urbaine	15-18
Suburbaine	10-12
Rurale	06-08

Tableau III.4 : pertes de la pénétration. [3]

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

Cette marge dépend essentiellement de trois facteurs :

La fréquence du signal : Les pertes varient selon la fréquence du signal.

Le type des bâtiments : Essentiellement le matériel de construction (brique, bois, pierre, verre...).

La structure des bâtiments : densité et épaisseur des murs, nombre et dimensions.

➤ **Perte de types de signal (Body) :**

Le tableau ci-dessous montre le taux de perte pour un signal vocal. C'est l'affaiblissement dû à l'absorption d'une partie de l'énergie transmise par le corps humain (seulement pour les services vocaux).

Type de signal	Perte (dB)
VOIP	3
Donnés	0

Tableau III.5 : pertes selon type de signal. [3]

➤ Marge de Shadowing :

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

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

Environnement	Probabilité de couverture (dB)				
	98%	95%	90%	85%	75%
Rurale-suburbaine	5.5	3	0.06	-1	-4
Urbaine	8.1	5	2	0.2	-3.5
Dense Urbaine-suburbaine dense	10.6	6.7	3.1	1	-3

Tableau III.6 : Marge de shadowing. [3]

➤ Évanouissement rapide :

Perte de Rayleigh: c'est l'effet de Multi-trajet apparaît lorsque le signal émis passe par des chemins différents, et donc le récepteur reçoit le même signal à partir des chemins différents.

Notons que la marge d'évanouissement Rapide = 1, 2 dB.

➤ Marge des lignes d'alimentation (Feeder) :

C'est une perte causée par les divers dispositifs qui sont situés sur le trajet de l'antenne vers le récepteur, comme la perte de la ligne d'alimentation qui dépend de la longueur de la ligne, les connecteurs et les jumpers (sauts). La figure ci-dessous montre les connexions typiques du système d'alimentation de l'antenne dans une station de base :

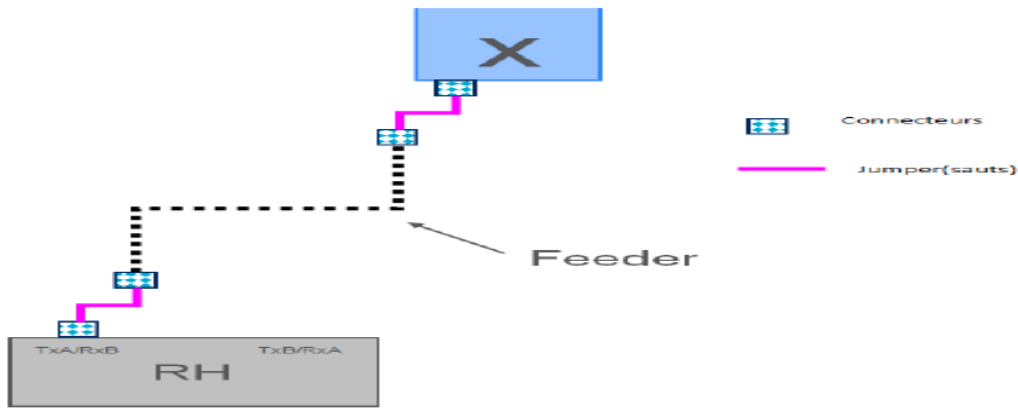


Figure III.3 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne. [3]

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

Length feeder = Base station height + 5m.

Pertes Feeder (dB) = Feeder loss/100m × Feeder length/100m.

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

Perte de connecteurs = nombre de connecteurs × 2 × 0.1 dB.

Le tableau ci-dessous illustre les pertes de feeder (ligne d'alimentation).

Type de ligne	Pertes (dB /100m)		
	2600(MHz)	2100(MHz)	900(MHz)
0.5cm	11	10.8	9
0.875 cm	6.3	6	4.9
1.25 cm	4.6	4.5	3.2
1.625 cm	3.8	3.5	2.6

Tableau III.7: pertes de ligne d'alimentation. [3]

➤ **Marge d'interférence :**

En LTE, un utilisateur n'interfère pas avec d'autres utilisateurs dans la même cellule car ils sont séparés dans le domaine fréquence /temps mais on parle de l'interférence avec des cellules voisines.

L'interférence est due à la réutilisation de fréquence. En particulier en LTE, le facteur de réutilisation est de 1, ce qui mène à des niveaux d'interférence beaucoup plus importante. D'autres sources d'interférence peuvent être prises en compte, tel que les interférences des autres systèmes, on introduit une autre marge de sécurité pour maintenir l'équilibre du bilan de liaison.

La valeur d'IM est fortement liée à la charge de la cellule (le taux d'occupation des ressources physiques), la technique de coordination de l'interférence dans le concept CoMP, la distance entre deux sites, etc...

La marge d'interférence est donnée par l'équation :

$$IM_{db} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{SNR}{SINR} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I + N_{th} \cdot B_{Rx}}{N_{th} \cdot B_{Rx}} \right) \quad (III.36)$$

Avec :

I : Le niveau de l'interférence provenant des cellules adjacentes qui utilisent les mêmes PRB simultanément.

N_{th} : La densité de bruit thermique (dB/Hz).

B_{Rx}: La largeur de bande de réception.

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

Tableau III.8 : IM_{dB} en fonction de la charge de la cellule. [8]

➤ Marge de planification :

La marge de planification qui figure dans l'équation (III.2), est la somme de toutes les marges de sécurité prises en compte, nécessaire pour équilibrer le RLB ,pour enfin aboutir à une valeur de MAPL valable pour la planification.

- ✓ Couvertures indoor/ deep indoor **PM=IM+SM+BL**
- ✓ Couvertures incar **PM=IM+SM+VL**.
- ✓ Couvertures Outdoor **PM=IM+SM**.

III.3.1.4 Calcul du nombre de site en se basant sur le bilan de liaison :

Le RLB donne la perte de trajet maximale autorisée, et à partir de laquelle la taille des cellules est calculée en utilisant un modèle de propagation approprié.

Le RLB prend en considération : les puissances d'émission, les gains, les pertes d'antenne, les gains de diversité, les marges d'interférence.

Pour LTE, l'équation MAPL est comme suit (en dB) :

$$\text{MAPL}_{\text{DL}} = \text{EIRP}_{\text{DL}} - \text{SUE} - \text{LNF} - \text{IM}_{\text{DL}} - \text{Lpen} - \text{LbodyLoss} + \text{GeU Antenna} \quad (\text{III.37})$$

$$\text{MAPL}_{\text{UL}} = \text{EIRP}_{\text{UL}} - \text{SeNB} - \text{LNF} - \text{IM}_{\text{UL}} - \text{Lpen} - \text{LbodyLoss} + \text{GeNB Antenna} + \text{GeNB} \quad (\text{III.38})$$

Avec :

MAPL = Perte de trajet totale rencontrée par le signal envoyé de l'émetteur au récepteur (dB).

EIRP(PIRE) : puissance de rayonnement isotrope équivalente.

S-Rx : sensibilité de récepteur.

LNF: log normal fading margin.

IM : Interférence Margin.

G -antenne : Gain de l'antenne d'émission.

G-shad: Gain Shadowing.

L-pen : perte de Pénétration.

L-feeder : perte de Feeder .

L-body : perte de pénétration du corps humain.

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

Le nombre de sites est facilement calculé à partir de la superficie du site et la valeur input de la zone de déploiement Z_d . nous pouvons calculer l'empreinte du site, que nous notons S_{cell} . Cette

CHAPITRE III DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU 4G

dernière dépend du nombre de secteurs par site, que nous notons N_{secteur} . La figure ci-dessous exprime la configuration des secteurs :

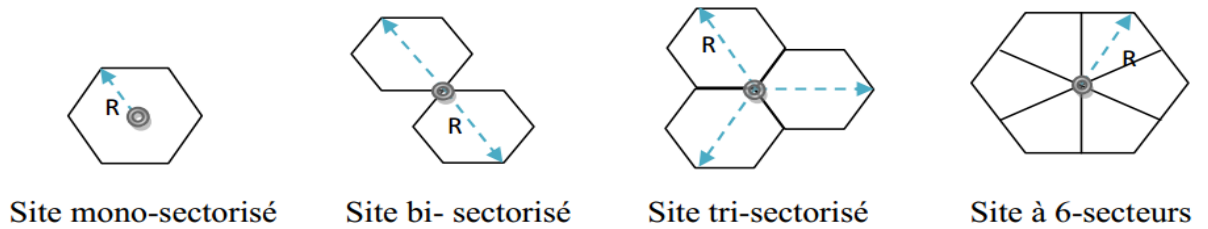


Figure III.4: Configuration des secteurs cellulaires. [16]

On va prendre deux exemples pour bien comprendre le principe .On suppose qu'on est dans un environnement urbain, ou on va appliquer :

1) Le modèle Okumura-Hata, on obtient :

$$MAPL = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b \cdot \log_{10} R_{\text{celle}}] \quad (\text{III.39})$$

Avec :

$$R_{\text{cell}} = 10^{\frac{MAPL - 69.55 - 26.16 \log_{10}(F) + 13.92 \log_{10}(h_b) + a(h_m)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]}} \quad (\text{III.40})$$

2) Le modèle Cost231-Hata, on obtient :

$$MAPL = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b \cdot \log_{10} R_{\text{celle}}] \quad (\text{III.41})$$

Avec :

$$R_{cell} = 10^{\frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10}(F) + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]}} \quad (III.42)$$

Une fois le rayon de la cellule R_{cell} est calculé (dans cet exemple le modèle choisi est Okumura-Hata, donc l'unité est le Km), on peut calculer la superficie de couverture de la cellule (appelée empreinte du site), qu'on note S_{cell} . Cette dernière, dépend bien du nombre de secteurs par site, qu'on va noter $N_{secteur}$:

Nombre de secteur par site	Empreinte
Mono-sectorisé	$S_{cell} = 2.6 * R_{cell}^2$
Bi-sectorisé	$S_{cell} = 1.3 * 2.6 * R_{cell}^2$
Tri-sectorisé	$S_{cell} = 1.95 * 2.6 * R_{cell}^2$

Tableau 9 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs. [16]

La figure ci-dessus illustre un exemple de la méthode de calcul de la zone des sites à partir de 2 modèles hexagonales de cellule. Pour un site Mono-sectorisé et un site Tri-sectorisé, le calcul est comme suit :

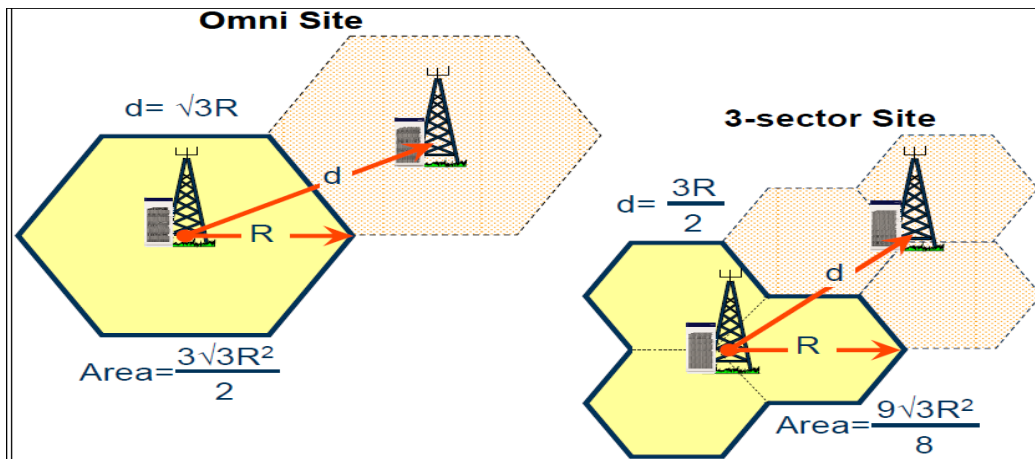


Figure III.5 : Modèle hexagonales de cellule.

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

$$N_{secteur} = \frac{S_{zone}}{S_{secteur}} \quad (III.43)$$

Sz: C'est la surface totale de la zone, dépend du type de la zone comme montre le tableau III.10 suivant, dans notre application la surface de la zone est un paramètre « input » pour garantir un résultat exacte :

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

Tableau III.10 : Surface de zone. [3]

Plus détaillé ; après la détermination de l'empreinte du site, et tout en disposant de la superficie totale de la zone de déploiement ($S_{déploiement}$), on peut enfin aboutir au nombre de sites demandés pour la couverture, $N_{couverture}$, à l'aide de la formule :

$$N_{couverture}^{xl} = E \left(\frac{S_{déploiement}}{S_{Cell}^{xl}} \right) + 1 \quad (III.44)$$

Avec :

Xl : indice qui mentionne UI /DL.

Après avoir fait le calcul pour la liaison montante et la liaison descendante, il faut choisir le plus grand, pour s'assurer que les deux liaisons soient équilibrées.

$$N_{couverture} = \max (N_{couvertureDL}, N_{couvertureUI}) \quad (III.45)$$

III.3.2 Planification orientée capacité :

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

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

De ce fait, nous devons en premier lieu estimer la parc d'abonnés total de l'opérateur et un modèle de trafic pour les différents services offerts ensuite nous devons estimer le trafic maximal à véhiculer dans la zone puis calculer la capacité moyenne par site et enfin on peut conclure le nombre eNodeB nécessaire et le comparer avec le nombre eNodeB par couverture.

Cette phase fait appel essentiellement à ces paramètres clés :

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

Dans cette section nous allons calculer le coût système, ou le System OverHead (aérien) comme étant un paramètre très important, peut servir pour le calcul de la capacité de la cellule, ensuite nous allons mettre en place un modèle de trafic standard et finalement nous allons établir une formule permettant le dimensionnement orienté capacité.

III.3.2.1 Calcul de l'efficacité de la bande spectrale :

Comme tout système de communication sans fil large bande, LTE permet de délivrer des débits élevés pour UL et DL, grâce à une efficacité spectrale améliorée et la largeur de bande disponible.

L'efficacité spectrale dépend de la largeur de la bande, le type d'antenne MIMO et le débit requis. Nous allons effectuer le calcul de l'efficacité spectrale de la bande par la formule suivante :

La durée de trafic pendant une journée : La formule suivante nous donne le trafic consommé pendant une journée par un seul abonné :

$$\mathbf{Traffic}_{day} = \mathbf{Package}/30 \quad \text{(III.46)}$$

Package : « Package » ou le bonus par mois pour un seul abonné, l'opérateur exige la valeur de ce package.

Le débit a l'heure de forte charge (Busy Hour) : Dans notre étude nous avons pris l'heure de forte charge comporte 10a mis des hypothèses sur le trafic de la voie descendante et montante respectivement 4/5 et 1/5.

$$Troughput_{BH}^{DL} = Traffic_{day} \quad (III.47)$$

Nombre d'abonnés supportés par une cellule : Le nombre d'abonnés supportés par une cellule est exprimé par le rapport entre la capacité de la cellule et le débit à l'heure de forte charge.

$$N_{abonne}^{DL} = C_{cell}/Troughput_{BH}^{DL} \quad (III.48)$$

$$N_{abonne}^{UL} = C_{cell}/Troughput_{BH}^{UL} \quad (III.49)$$

Ccell : capacité de la cellule

Nombre des eNodeB requis : L'étape finale, nous allons calculer le nombre d'abonnés par site à partir du nombre d'abonnés par cellule avec le cas de 3 cellules par site dans les deux sens descendant et montant :

$$N_{abonneSite}^{DL} = N_{abonne}^{DL} * 3 \quad (III.50)$$

$$N_{abonneSite}^{UL} = N_{abonne}^{UL} * 3 \quad (III.51)$$

III.3.2.2 Calcul de la capacité de la cellule :

Capacité de la cellule en LTE n'est autre que le débit moyen sur le canal physique de données (PDSCH pour DL et PUSCH pour UL), et ceci dépend de plusieurs intervenants.

Par analogie pour le descendant :

$$C_{capacity}^{DL} = N_{sector} \cdot N_{CC}^{DL} \cdot \left(\sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \left(\sum_{k \in \{1,2,4,8\}} K \cdot Pr_{(SM_{gain}=1)} \right)$$

$$\eta_{BW}^{DL} \cdot 12 \cdot N_{PRB} \cdot cp_i \cdot 10^3 \quad [\text{bits/s}] \quad (\text{III.52})$$

Par analogie pour le sens montant :

$$C_{capacity}^{UL} = N_{sector} \cdot N_{CC}^{UL} \cdot \left(\sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \left(\sum_{k \in \{1,2,4,8\}} K \cdot Pr_{(SM_{gain}=1)} \right)$$

$$\eta_{BW}^{UL} \cdot 12 \cdot N_{PRB} \cdot cp_i \cdot 10^3 \quad [\text{bits/s}] \quad (\text{III.53})$$

Avec :

N_{Sector} : Nombre de secteurs par site.

N_{CCDL} et N_{CCUL} : sont respectivement le nombre de CC pour DL et pour UL.

η^{MCSi} et Pr_{MCSi} : sont respectivement l'efficacité et la probabilité d'occurrence du MCS d'index i .

k et $(SM_{gain}=k)$: sont respectivement le gain de multiplexage spatial et la probabilité d'occurrence de ce gain.

η_{BWDL} et η_{BWUL} : sont respectivement l'OverHead du système en DL et en UL.

N_{PRB} : est le nombre de PRB par CC (dans ce cas les CC sont de mêmes largeurs).

cp_i : le nombre de symboles OFDM par TTI (égal à 7 si le CP est normal et à 6 si le CP est étendu).

III.3.2.3 Modèle de trafic et estimation du nombre d'abonnés :

Pour dimensionner un trafic on doit prendre en considération la situation des abonnés et de la zone de déploiement. Pour prévoir le nombre d'abonnés dans la zone concernée, on nécessite :

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

-Facteur d'Overbooking (Surréservation) (%) : OBF .

Lorsqu'un site prend en charge un nombre d'abonnés égal à sa capacité, il utilise entièrement ses ressources radio, ce qui augmente le niveau d'interférence dans toute la zone de déploiement. Exemple : $OBF=20\%$, il faut charger la cellule à 20 % moins de sa capacité, si elle peut servir 200 abonnés, il faut l'affecter 160.

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

$$N_{abonnés} = \rho \cdot S_{Déploiement} \cdot P_{Marché} \cdot (1 + I \cdot TC) \cdot TP_{Consomateur} \quad (III.54)$$

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

Le trafic en LTE est mesuré en (bits/s) car c'est un réseau à commutation de paquets ; comme le réseau LTE permet d'offrir une multitude de services aux abonnés, on discrimine le trafic comme étant une somme de plusieurs segments de trafic, provenant chacun d'une application/service.

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

$$Trafic_{abonné}^{XL} = \sum_{service \in EnsembleServices} R_{Service}^{XL} \cdot (1 + POH_{Service}) \cdot TP_{Service} \quad (III.55)$$

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

$$Trafic^{XL} = Trafic_{abonné}^{XL} \cdot N_{abonné} \quad (III.56)$$

Avec :

$R_{Service}^{DL}$: indique le débit demandé par un abonné à BH pour un service donné en UL et en DL (exp : VoIP) ; il dépend de plusieurs facteurs comme la classe socio-économique des abonnés.

$R_{Service}^{UL}$: indique le besoin spécifique des abonnés envers ce service, le type de la zone (industrielle, résidentielle, rurale) et la taille d'un paquet de ce service.

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

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

XL : indice qui mentionne UI /DL.

III.3.2.4 Détermination du nombre des sites requis :

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

$$N_{Capacité}^{XL} = E \left(\frac{Trafic^{XL}}{C_{Capacité}^{XL} \cdot (1-0BF)} \right) + 1 \quad (III.57)$$

$$N_{Capacité} = \text{Max}(N_{Capacité}^{DL}, N_{Capacité}^{UL}) \quad (III.58)$$

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

$$C_{abonné}^{XL} = E \left(\frac{C_{Capacité}^{XL} \cdot (1-0BF)}{Trafic_{abonné}^{XL}} \right) \quad (III.59)$$

Dans les sections précédentes, nous avons déterminé le nombre minimum requis des eNodeBs pour établir la couverture demandée ($N_{Couverture}$), ainsi que le nombre minimum d'eNodeB pour satisfaire la demande en termes de capacité ($N_{Capacité}$).

Le nombre de sites demandés pour satisfaire à la fois à la contrainte de couverture et de capacité est donné par l'équation :

$$N^{eNodeB} = \text{Max}(N_{capacité}, N_{couverture}) \quad (III.60)$$

III.4 Dimensionnement de l'interface S1 et X2 :

Le dimensionnement de couverture et de capacité ne sont pas suffisant pour établir un dimensionnement, sont juste une plate-forme préliminaire pour le dimensionnement ou une clé autrement dit un accès vers le reste du dimensionnement. Comme seconde étape on s'intéresse à la capacité des interfaces entre les eNodeB. [14]

a) L'interface X2 :

L'architecture du réseau d'accès en LTE est plate, les eNodeBs sont deux à deux connectés par l'interface X2 (physique ou logique) cette dernière s'avère comme opération beaucoup moins complexe. Le nombre d'interface X2 est donc donnée par :

$$N^{X2} = \frac{N^{eNodeB} \cdot (N^{eNodeB} - 1)}{2a} \quad (\text{III.61})$$

De différentes expériences de quelques opérateurs pour déterminer la capacité de l'interface X2 en LTE :

Huawei : L'interface X2 demande une capacité beaucoup moins que celle de l'interface S1, au maximum 3%. [14]

Ericsson : X2 est < 2 % du trafic en S1, à peu près 1.6 % [14]

En se basant sur les réclamations des constructeurs et en retenant que la capacité de l'interface X2 (C^{X2}) constitue 3% celle de S1 (C^{S1}), mais après l'évolution venue avec l'apparition du concept CoMP, on va distinguer 3 cas : [14]

Sans coordination : X2 garde la même capacité que LTE.

$$C^{X2} = 3\% \cdot C^{S1} \quad (\text{III.62})$$

JP-CoMP : Ce cas de coopération nécessite le partage des données de tous les utilisateurs dans la zone de coopération.

$$C^{X2} = 3\% \cdot c^{S1} + C_{abonné} \cdot \text{Trafic}_{abonné}^{DL} + C_{abonné} \cdot \text{Trafic}_{abonné}^{UL} \quad (\text{III.63})$$

CBCS CoMP : Dans ce cas, il y'a échange de signalisation entre les eNodeBs appartenant au même groupe de coopération, chaque UE actif, envoie le CSI feedback (commentaire) à sa station de service pour l'informer des pré-codeurs les plus destructifs un message appelé RESTRICTION REQUEST est par suite diffusé vers toutes les stations appartenant au même motif de coopération. Ce message est estimé de taille 86 bits et il est transmis chaque TTI (1 ms), soit donc un débit de 86 kbits/sec par UE actif par eNodeB.

D'où, un terminal eNodeB transmet $C_{abonné}$ messages et reçoit $C_{abonné}$ messages de type RESTRICTION REQUEST sur une liaison bidirectionnelle X2.

$$C^{X2} = 3\% \cdot c^{S1} + 2 \cdot C_{abonné} \cdot 86 \text{Kbps} \quad (\text{III.64})$$

❖ Ces schémas concernent le sens montant et descendant.

b) L'interface S1 :

Cette interface transporte des données et de la signalisation, sa capacité peut être décomposée en somme d'une capacité sur le plan utilisateur et sur le plan contrôle :

$$C^{S1} = C_{\text{User-Plane}}^{S1} + C_{\text{Control-Plane}}^{S1} \quad (\text{III.65})$$

Le plan contrôle constitue 2 % du plan utilisateur, donc elle est estimée à :

$$C^{S1} = C_{\text{abonné}} \cdot (\text{Trafic}_{\text{abonné}}^{DL} + \text{Trafic}_{\text{abonné}}^{UL}) \cdot 102\% \quad (\text{III.66})$$

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a introduit les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement de couverture et de capacité ainsi que les interfaces qui nous permettent de faire une bonne planification radio de notre réseau dans la zone choisie. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la conception et le développement dans une application, qui sera présentée dans le chapitre suivant.

Chapitre IV :
Simulation
ATOLL

IV.1 Introduction :

La simulation des réseaux est une technique par laquelle un simulateur (logiciel) modélise le comportement d'un réseau, soit par le calcul de l'interaction entre les entités du réseau en utilisant des formules mathématiques, ou en capturant et reproduisant des observations à partir d'un réseau réel.

Les simulateurs du réseau offrent beaucoup d'économie, de temps et d'argent pour l'accomplissement des tâches de simulation et ils sont également utilisés pour que les concepteurs des réseaux puissent tester les nouveaux protocoles ou modifier les protocoles déjà existants d'une manière contrôlée et productive.

La problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation des performances des réseaux 4G, et des expérimentations 4G pour couvrir plusieurs surfaces sont actuellement en cours chez notre opérateur: il s'agit de bénéficier d'un accès à l'internet via un réseau 4G en satisfaisant le maximum d'abonnés n'importe quand et n'importe où (n'importe quelle type de zone) avec une meilleure QoS possible .

Les résultats de simulation décrits dans ce chapitre sont le fruit des outils de dimensionnement Atoll. On va entamer alors la phase de conception, réalisation et validation des outils, qui visent essentiellement à assurer le dimensionnement des eNodesB selon la couverture et la capacité en (UL) et (DL). Notre proposition est inspirée suite a un stage au sein de Smart Link Communication (SLC), pour un réseau qui comporte quatre environnements (urbain dense ; urbain ; suburbain ; rural), ce qui correspond a l'élaboration des données nécessaires pour la planification (rayon de cellule, calibration d'un modèle de propagation, emplacement des eNodes B, . . .).

IV.2 Description d'ATOLL :

Le logiciel utilisé Atoll©, commercialisé par la société Forsk, est un logiciel professionnel à destination des opérateurs. [2]

Atoll est un logiciel de dimensionnement, de planification, prédiction et couverture des réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation). Le logiciel exploite différentes données en entrée, il permet de choisir le type de

réseau à dimensionner (GSM 900, UMTS, ou alors LTE), qui paramètre différemment en fonction de la technologie choisie, ainsi on peut définir le modèle de propagation, le type d'antenne, et les caractéristiques du site, et enfin après avoir planifié le réseau, l'outil ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions, par exemple : couverture par niveau de champ, couverture par émetteur et étude du trafic, prédiction de la capacité de la cellule.

Et enfin après avoir planifié le réseau, l'outil ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions, par exemple : couverture par niveau de champ, couverture par émetteur et étude du trafic, prédiction de la capacité de la cellule.

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

1. Pré-planification : C'est la première phase qui consiste à préparer la planification réelle du réseau, on doit collecter des informations sur la région (mode de vie, les heures d'occupation, la population ...).

Dans l'outil Atoll, la pré-planification consiste à la définition des éléments suivants: Cartes topographique, la zone géographique à planifier, les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs...

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

3. Vérification : C'est la phase qui suit l'installation du site, qui a pour but d'assurer un fonctionnement optimal du réseau, elle consiste à faire des réglages de paramètres pour corriger les erreurs qui auraient pu survenir lors de l'installation et aussi faire des Test Drive qui est une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture capacité et exigences de qualité.

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

IV.3 Démarrage d'un projet Atoll :

➤ **Ouverture d'un nouveau projet :** Lorsque vous voulez démarrer un nouveau projet, vous basez sur un modèle qui contient les données et la structure des dossiers nécessaires à la technologie que vous utilisez. Une fois que vous avez commencé votre nouveau projet Atoll, vous pouvez modifier les paramètres du réseau pour répondre à vos besoins particuliers. Plusieurs modèles sont fournis avec Atoll : GPS GPRS EGPRS, CDMA200 1xRTT 1xEV-DO, microwave radio links, UMTS HSPA, WiMAX, and LTE.

Vous pouvez créer un nouveau document Atoll partir d'un modèle. Atoll a un modèle pour chaque technologie.

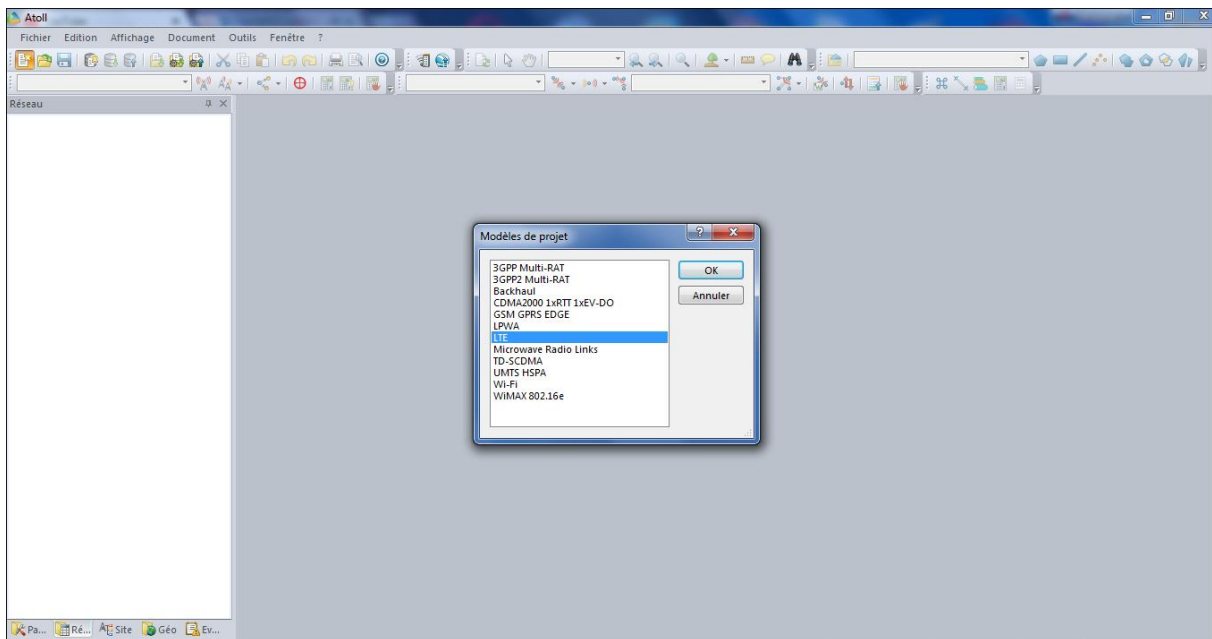


Figure IV.1 : nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE.

Chaque modèle fournit des données et une structure de données appropriée pour la technologie car les paramètres de radio disponibles diffèrent selon le type du projet. Le modèle choisi pour notre projet est le modèle LTE ; il est utilisé pour modéliser la nouvelle génération (4G) des réseaux basés sur l'UTRAN LTE (Universal Terrestrial Access Network Long Term Evolution). Atoll-LTE est conforme strictement aux dernières spécifications 3GPP LTE, et il a été développé en collaboration avec les fabricants d'équipement marketleading. Atoll LTE est le premier et le plus complet outil de planification de réseau LTE disponible sur le marché.

➤ **Données Géographiques :** Plusieurs types de données géographiques sont utilisés dans un document d'Atoll. Par exemple: le modèle numérique de terrain (MNT), les classes de

fouillis, les hauteurs de l'encombrement, les images numérisées (des images satellites), des cartes de population, et les cartes de données de trafic.

Réglage des paramètres de la zone : Les paramètres saisis sont:

- Projection -> WGS 84 / UTM zone 31N.
- Display-> WGS 84 (projection UTM sur le système géodésique WGS84).
- Degré format -> -xx xxxxx (indique le format de latitude et de longitude des sites)

L'UTM est un type de projection conforme de la surface de la terre. C'est une projection cylindrique où l'axe du cylindre croise perpendiculairement l'axe des pôles de l'ellipsoïde terrestre au centre de l'ellipsoïde. C'est un système de référence géospatiale qui permet d'identifier tous les points de la terre. [2]

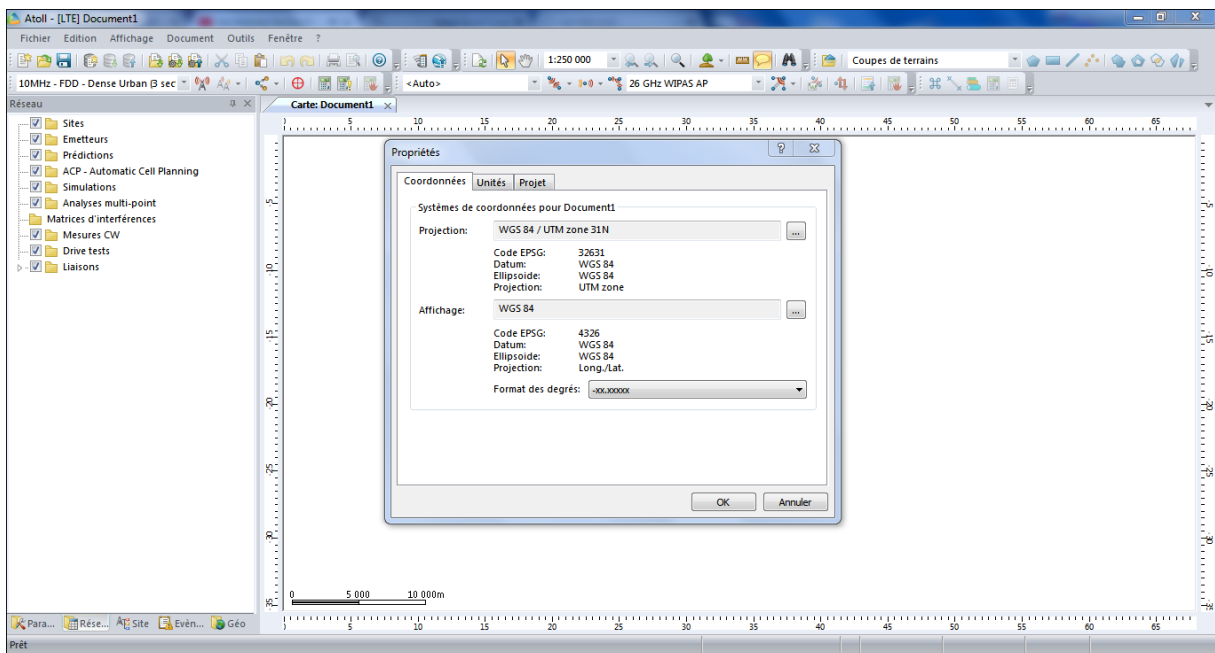


Figure IV.2 : réglage des paramètres de projection et de formats.

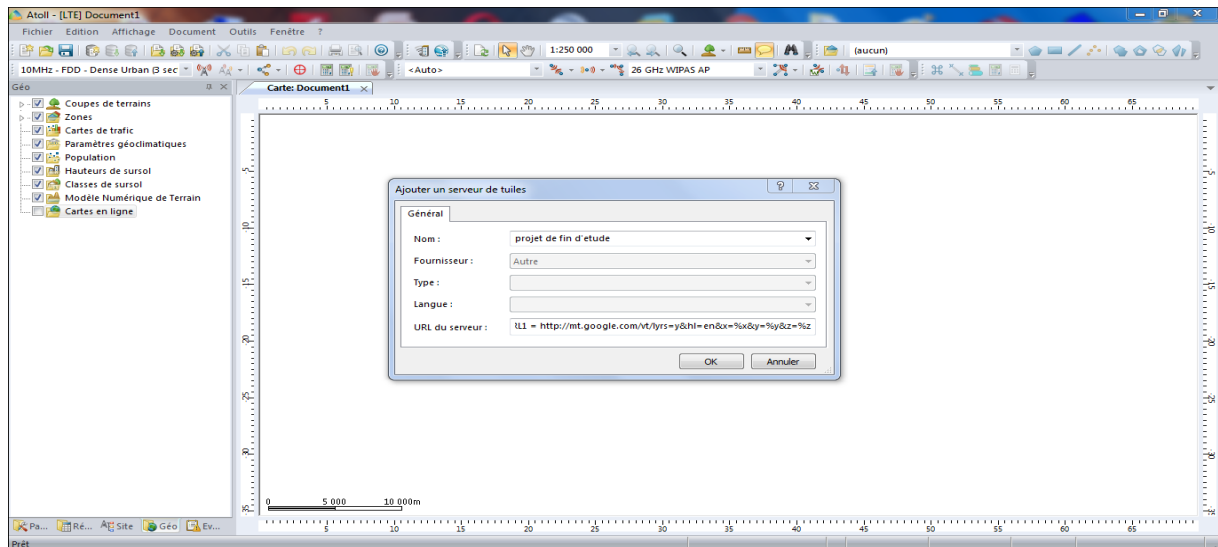


Figure IV.3 : ajouter la maps a mon nouveau document

Certains types de données, tels que les classes de fouillis, peuvent être utilisés pour donner des calculs plus réalistes. D'autres types tels que des images numérisées, sont utilisés pour créer un affichage plus réaliste de la région étudiée.

Dans notre projet, nous avons utilisé les données géographiques définis par le modèle numérique de terrain, nous importons les éléments suivants :

- Clutter classes.
- Clutter heights.
- Vectors.

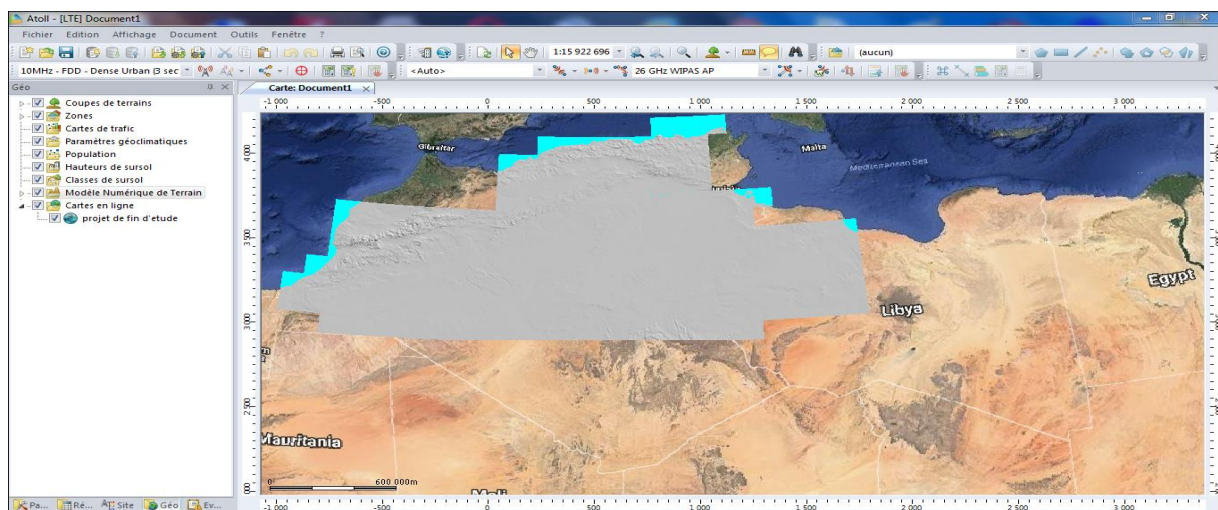


Figure IV.4 : Importation des données numérique.

Création des sites : Dans Atoll, un site est défini comme un point géographique où nous devons ajouter des émetteurs et des cellules par la suite.

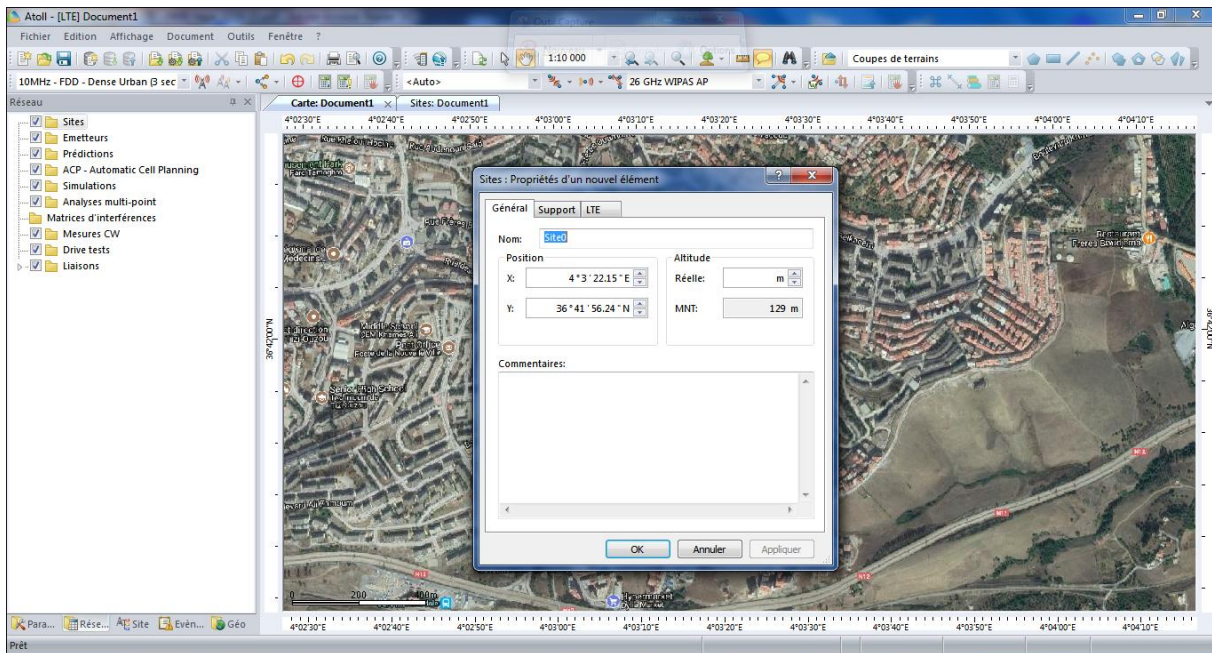


Figure IV.5 : création d'un nouveau site.

Création des émetteurs : Pour créer un nouvel émetteur:

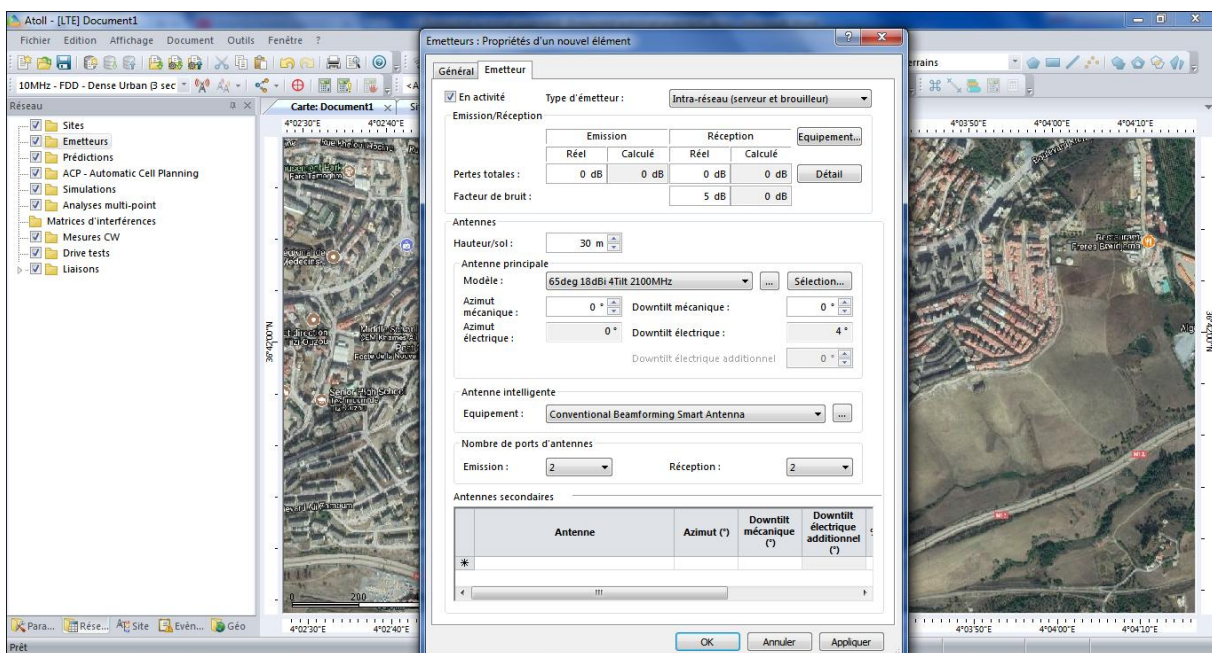


Figure IV.6 : création d'un nouveau émetteur - onglet Émetteur.

Le principal défi pour les opérateurs est d'assurer, malgré la difficulté liée au terrain, une bonne couverture deep indoor dans les zones denses en habitations. Pour se faire plusieurs paramètres liés aux émetteurs vont permettre d'atteindre nos objectifs

Le tilt : qui peut être soit électrique, soit mécanique. Il permet d'ajuster l'inclinaison du lobe principal de l'émetteur par rapport à la verticale

L'azimut : il permet d'ajuster l'orientation de l'antenne sur un plan horizontal pour mieux cibler la zone à couvrir.

La hauteur des émetteurs : en ajustant la hauteur des émetteurs on permet à l'onde de se propager au delà des bâtiments voisins et donc éviter les effets « écran ».

Création des cellules : En Atoll, une cellule est définie comme un canal RF, avec toutes ses caractéristiques, sur un émetteur, Pour créer une cellule:

- Pour le milieu urbain : puissance max (dBm) = 43
- Pour le milieu dense urbain : puissance max (dBm) = 46

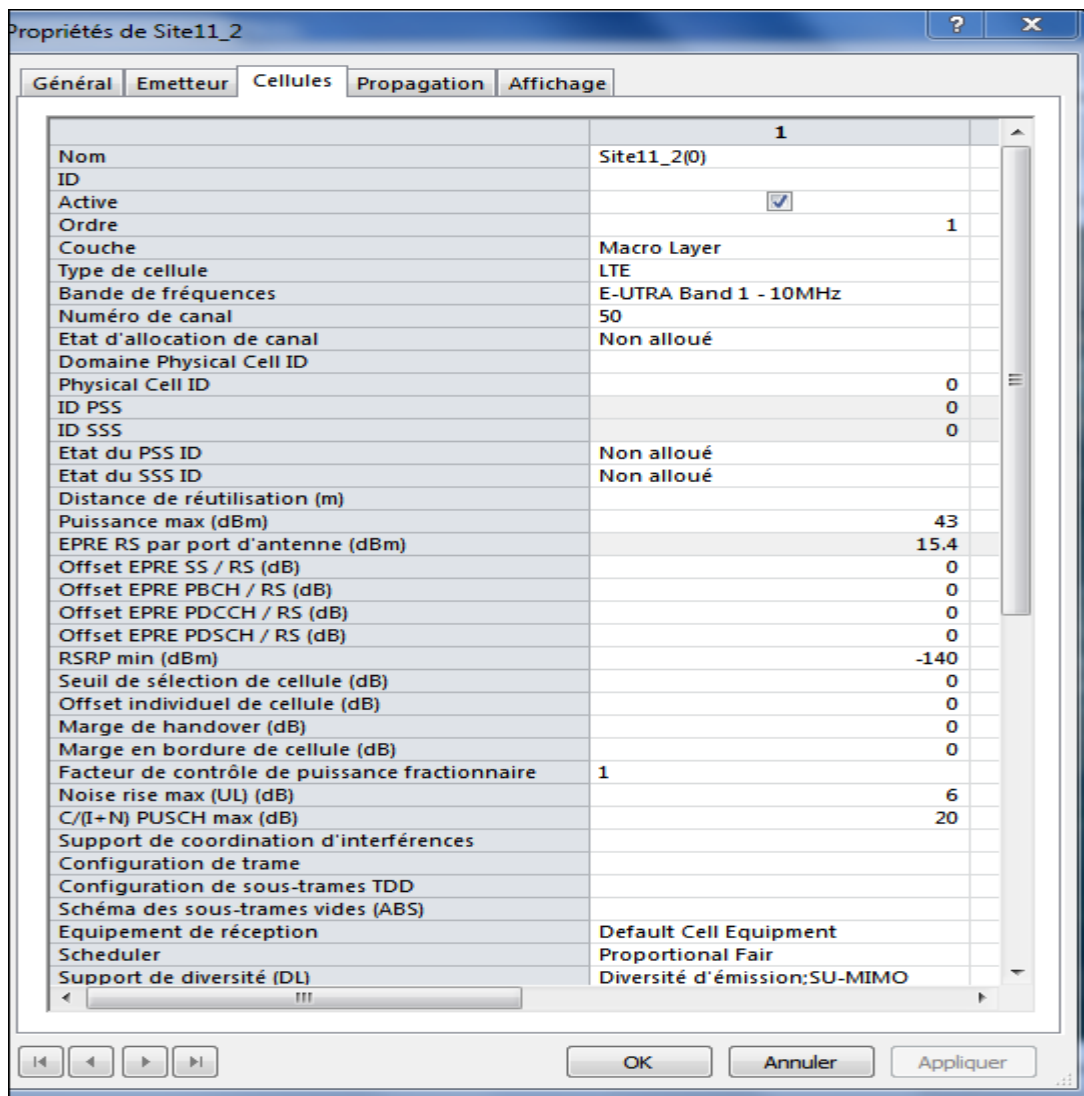


Figure IV.7 : Configuration d'antennes.

IV.4 Etude d'un cas général :

a) Couverture :

Le déploiement d'un réseau LTE nécessite l'optimisation du placement des sites, sous les 2 contraintes de type radio et trafic. Il s'agit de tester, en fonction du type d'antenne, de sa puissance d'émission et de son orientation, la zone couverte par l'émetteur. Une approche pas à pas permet progressivement de faire converger le réseau vers une bonne configuration. Le principe est le suivant:

- Répartir les émetteurs sur le terrain
- Etablir les zones de couverture, et les adapter en déplaçant les sites, en modifiant les puissances d'émission, en choisissant les orientations.

- Une fois la couverture assurée, il faut rechercher une répartition des fréquences en analysant les sites qui sont voisins.
- Il faut alors rechercher une répartition des fréquences entre les sites.
- Dans le cas où la planification n'arrive pas à converger, il faut alors densifier le réseau : soit rajouter des sites, soit remplacé des émetteurs omnidirectionnels par des émetteurs tri-sectoriels.

Dans notre cas, nous avons effectué la simulation de la couverture radio qui concerne la partie de la ville de Tizi Ouzou. L'objectif est de proposer une solution optimale pour assurer une couverture totale de cette région et de maintenir une bonne qualité de service.



Figure IV.8 : Carte de la zone (tizi-ouizou) via Google Earth.

La zone concernée est défini dans la figure ci-dessus :

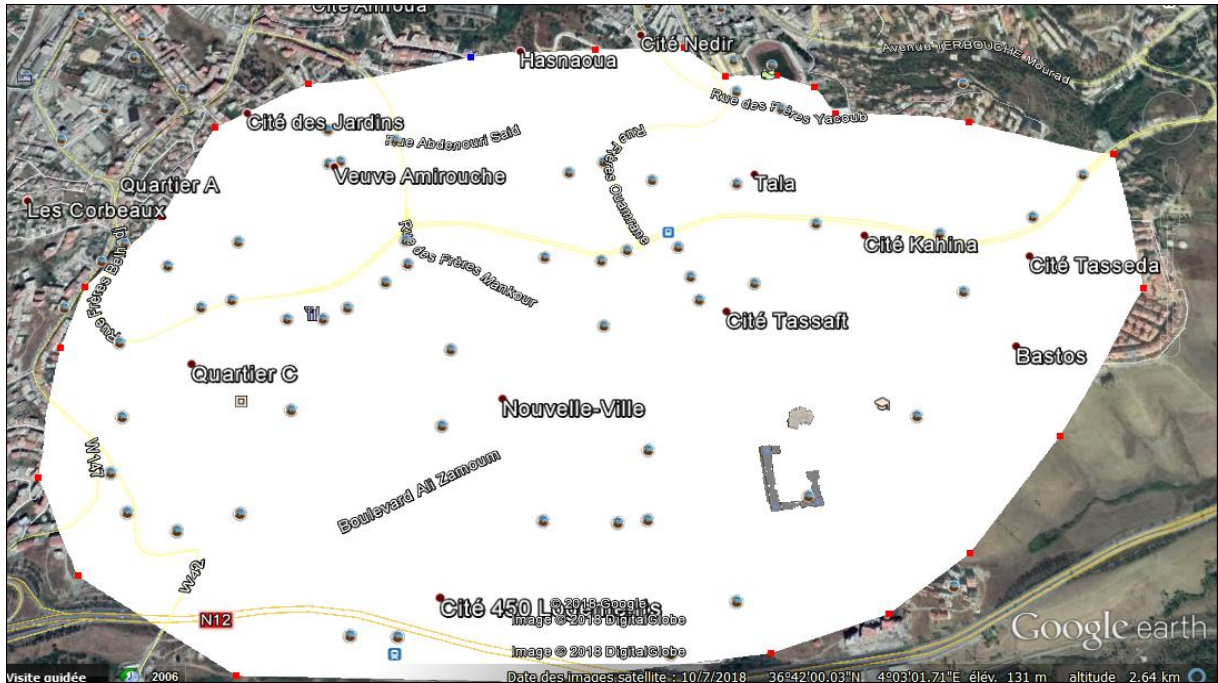


Figure IV.9 : la zone précise a couvrir (tizi-ouzou) via Google Earth.

Tous les sites et les émetteurs se positionnent sur la carte suivante :

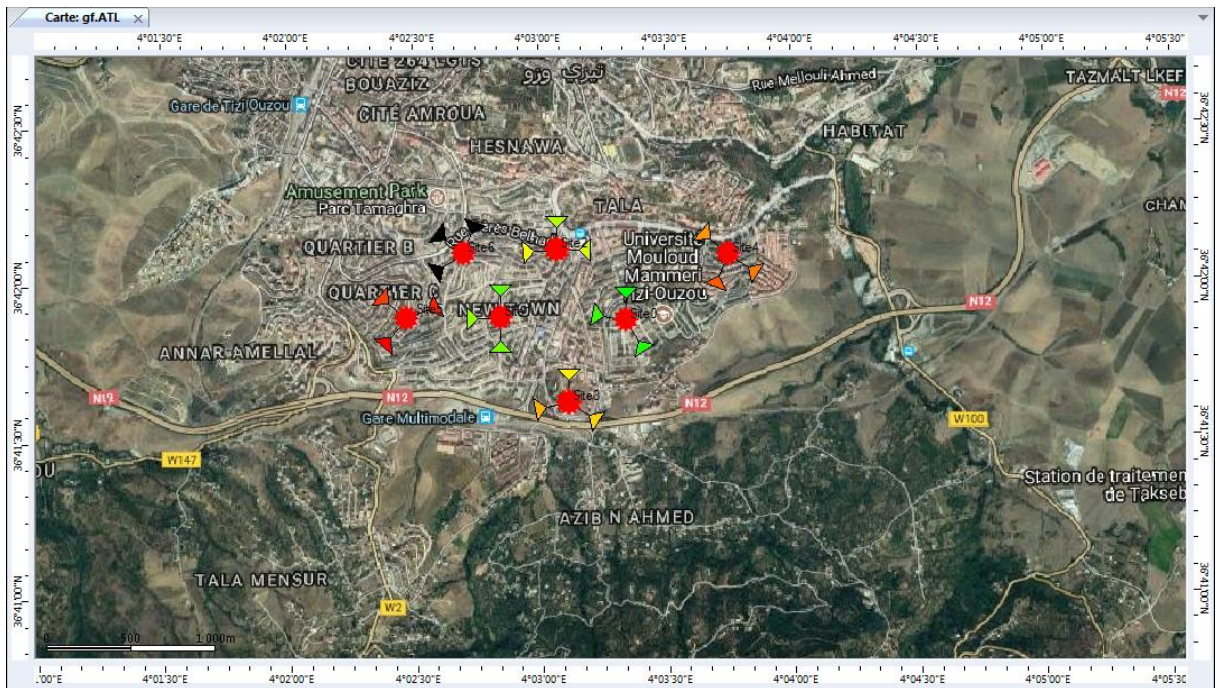


Figure IV.10 : Position des sites et des émetteurs sur la carte.

	X	Y	Altitude(m)	Hauteur de support(m)	Azimute électrique	Azimute mécanique
Site0	4°3'22.15''E	36°41'56.24''N	129	25	00	138°
Site1	4°2'50.39''E	36°41'53.14''N	143	25	00	240°
Site2	4°3'3.95''E	36°42'6.17''N	123	25	00	0°
Site3	4°3'6.58''E	36°41'36.94''N	157	25	00	130°
Site4	4°3'44.8''E	36°42'5.03''N	107	25	00	0°
Site5	4°2'28.11''E	36°41'53.27''N	155	25	00	110°
Site6	4°2'41.81''E	36°41'40.14''N	155	25	00	250°

Tableau IV.1 : Description des sites installé

Une fois les sites positionnés, il faut maintenant simuler le comportement du réseau. Pour cela, il faut effectuer un calcul de couverture radio. On s'intéressera plus particulièrement aux zones urbaines pour cette raison on a choisi cost 231 de hata (voire chapitre III ; III.3.1.2) comme notre modèle de propagation.

La résolution, paramétrable dans l'onglet 'prédictions', permet de régler le pas des simulations.

➤ **Prédictions de couvertures :** Deux types de prévisions de couverture LTE sont disponibles dans Atoll: prévisions de couverture utilisés pour analyser le niveau de signal (signaux de référence, SCH / PBCH, PDSCH / PDCCH) sur la liaison descendante, ainsi que sur la liaison montante une fois que les gains et les pertes utilisateur de gamme ont été envisagées. Des prédictions de couverture sont utilisées pour analyser la qualité du signal. Ces prévisions de couverture ne dépendent pas de l'état de charge du réseau.

En utilisant les prévisions de couverture de qualité du signal, nous pouvons étudier la zone de couverture en termes d'efficacité de service et de la capacité de chaque cellule de réseau. Ces prévisions de couverture dépendent de l'interférence dans le réseau et les conditions de charge de cellule. Pour cette raison, la charge du réseau doit être définie afin de calculer ces prévisions de couverture.

Couverture par niveau de signal : Pour faire une prédiction de la couverture par niveau de signal, sélectionnez :

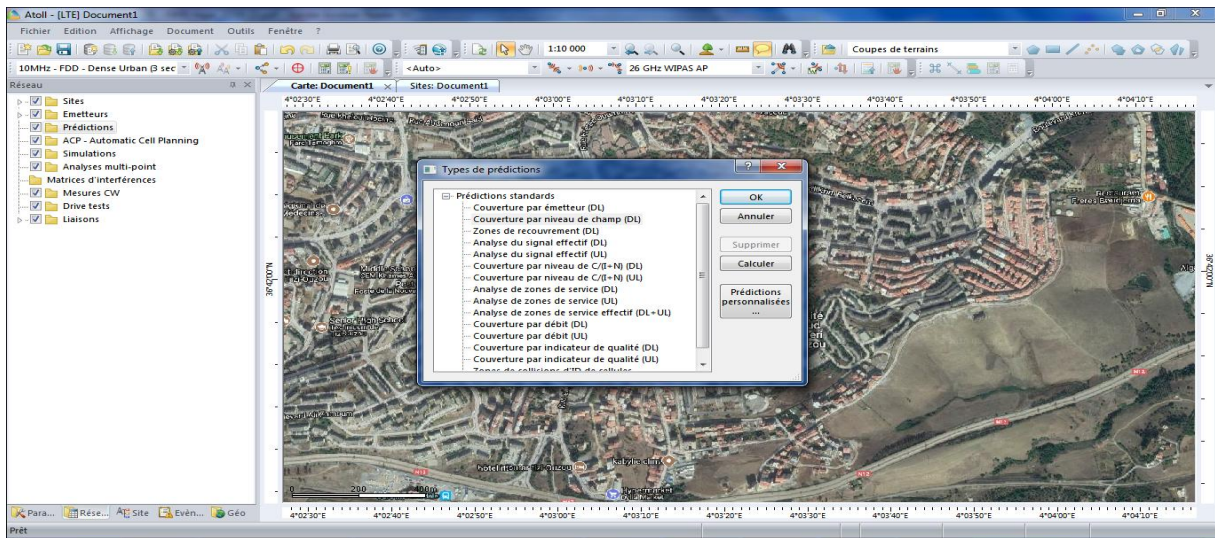


Figure IV.11 : Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal.

Dans la simulation on va utiliser principalement les sites macro et micro. Notre simulation se base sur sept site macro qui couvre notre zone cible. La figure dessous montre la première prédiction obtenue :

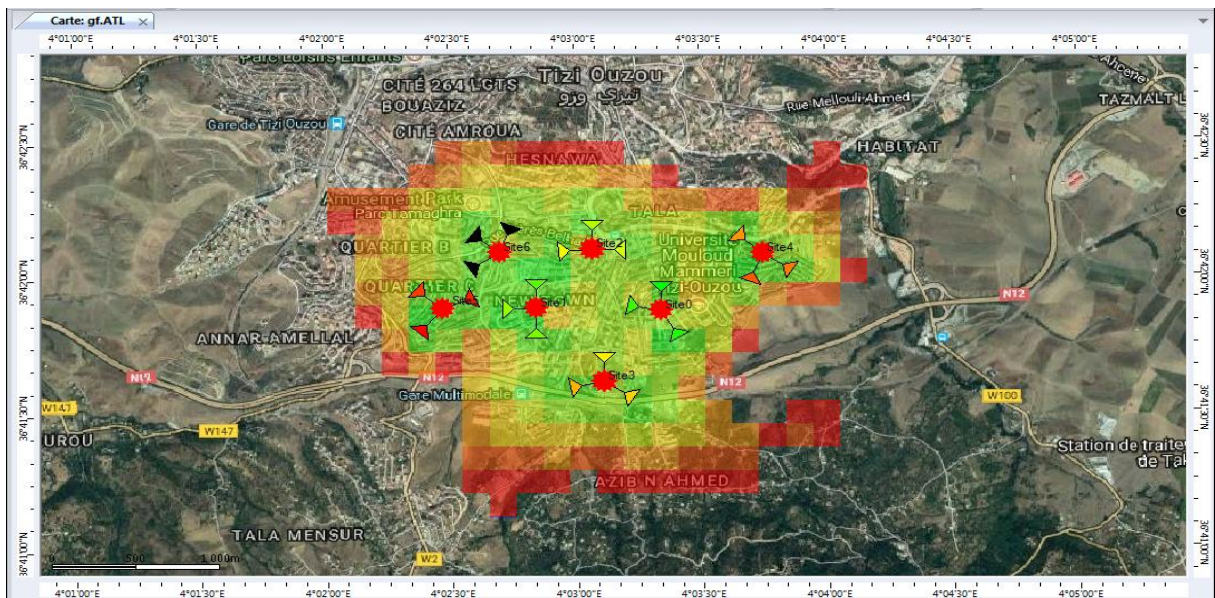


Figure IV.12: Résultats de prédiction de la couverture par le niveau de signal.

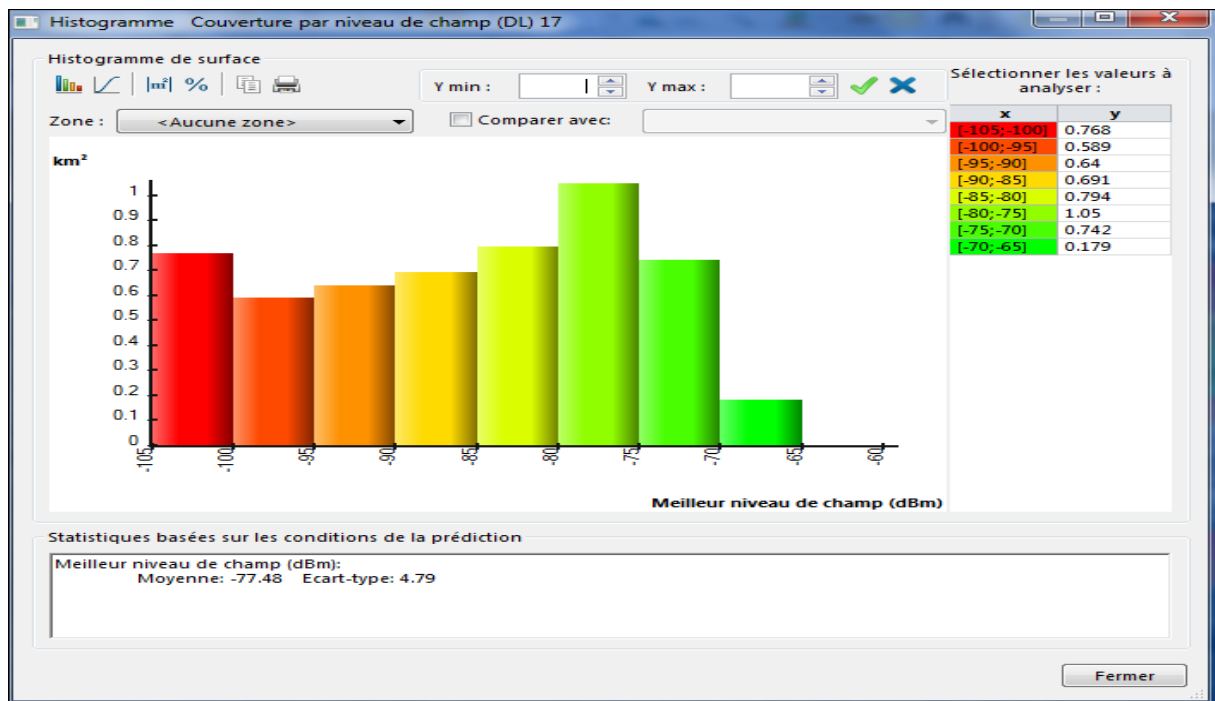


Figure IV.13: Histogramme de couverture par le niveau de signal.

Dans les zones denses urbaines les mobiles ne peuvent capter que le signal à l'extérieur des bâtiments. En effet on a ajouté d'autres sites pour résoudre ce problème.

On suppose un seuil outdoor de -110 dBm et un niveau de champ avoisinant seuil deep indoor de -75 dBm. On constate aussi que les niveaux dans les zones non habitées sont trop élevés.

Les résultats de simulation sur la carte sont bons et grâce à l'optimisation on voit que l'on respecte bien le seuil deep indoor dans les zones d'habitation denses. [14]

La prédiction à apporter de bon résultat en matière de couverture, les black spots seront corrigé par de nouveaux sites.

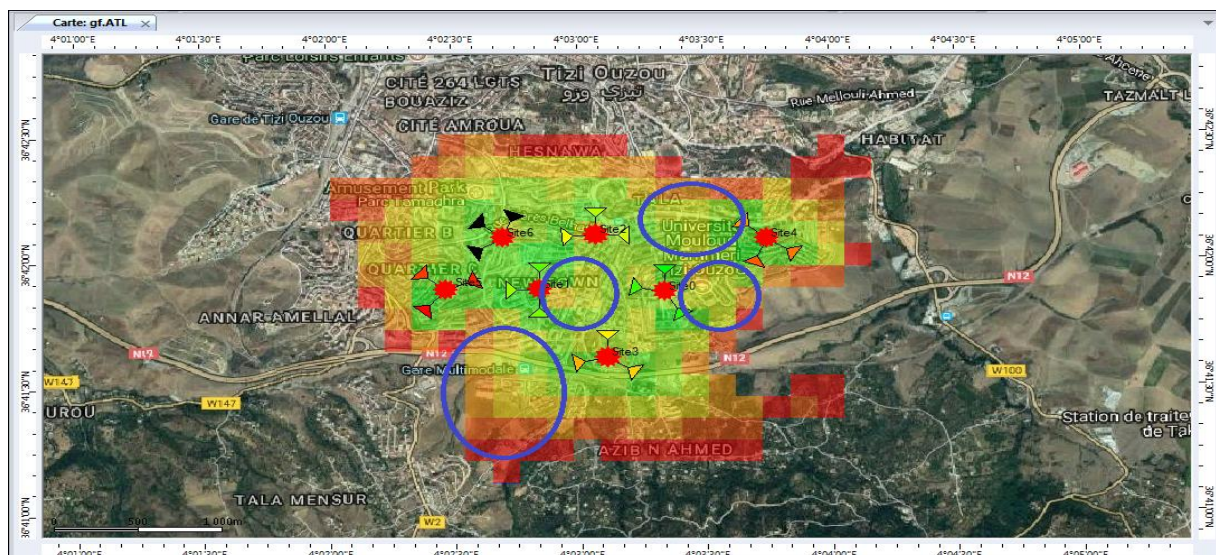


Figure IV.14 : Les zones à recouvrir.

CHAPITRE IV SIMULATION ATOLL

On remarque qu'il y a une couverture assez moyenne dans les zones en cerclées. Une fois Atoll a fini de calculer la prédiction de la couverture du niveau du signal, nous avons procédé pour une optimisation en ajoutant d'autres sites :

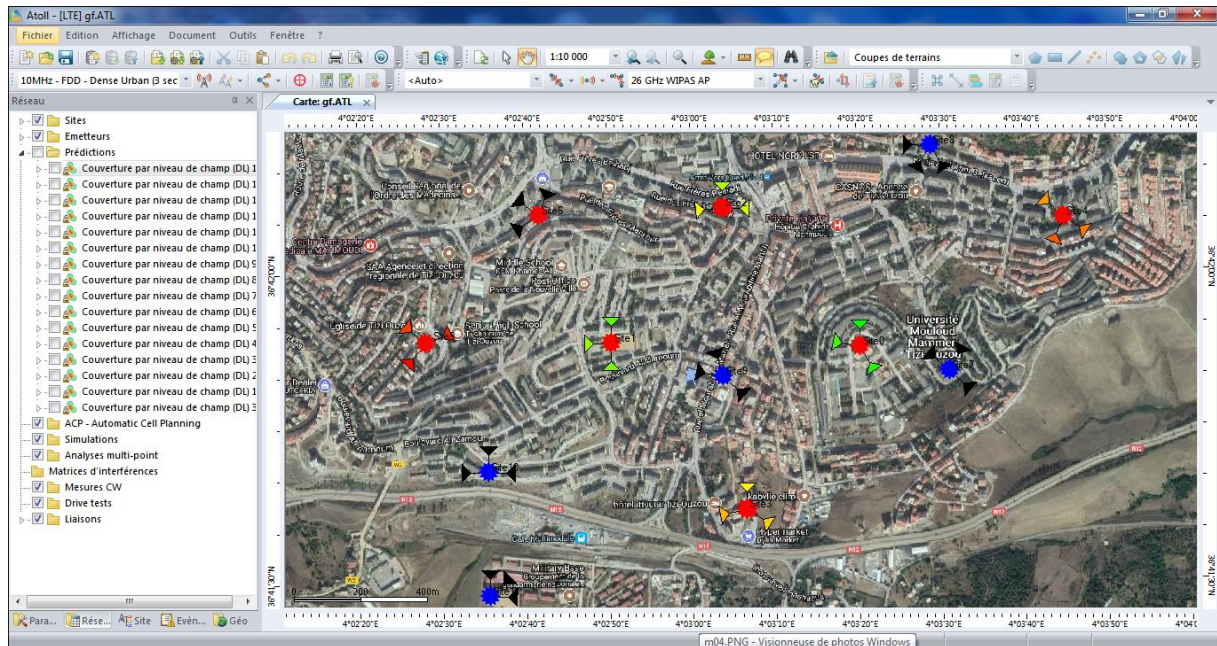


Figure IV.15 : L'installation des nouveaux sites.

	X	Y	Altitude(m)	Hauteur de support(m)	Azimute électrique	Azimut mécanique
Site7	4°3'31.01''E	36°41'50.22''N	134	25	00	45°
Site8	4°3'28.97''E	36°42'12.05''N	119	25	00	338°
Site9	4°3'3.77''E	36°41'49.85''N	132	25	00	87°
Site10	4°2'35.51''E	36°41'40.75''N	168	25	00	0°
Site11	4°2'35.59''E	36°41'28.74''N	159	25	00	55°

Tableau IV.2 : Description des sites de correction installé

Les prédictions des nouveaux sites sont représentées dans la figure :



Figure IV.16 : prédiction des nouveaux sites.

Après avoir ajouté plusieurs sites afin de couvrir cette zone on obtient ce résultat :

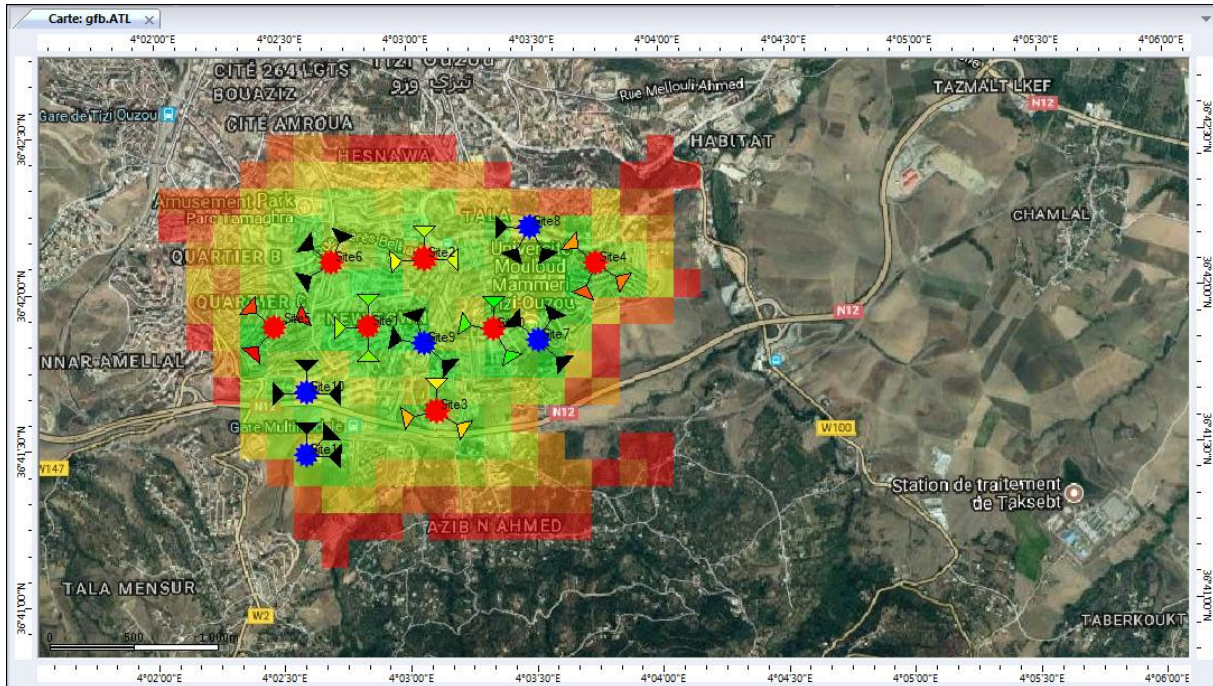


Figure IV.17 : Résultats de la nouvelle prédiction de la couverture par le niveau de signal.

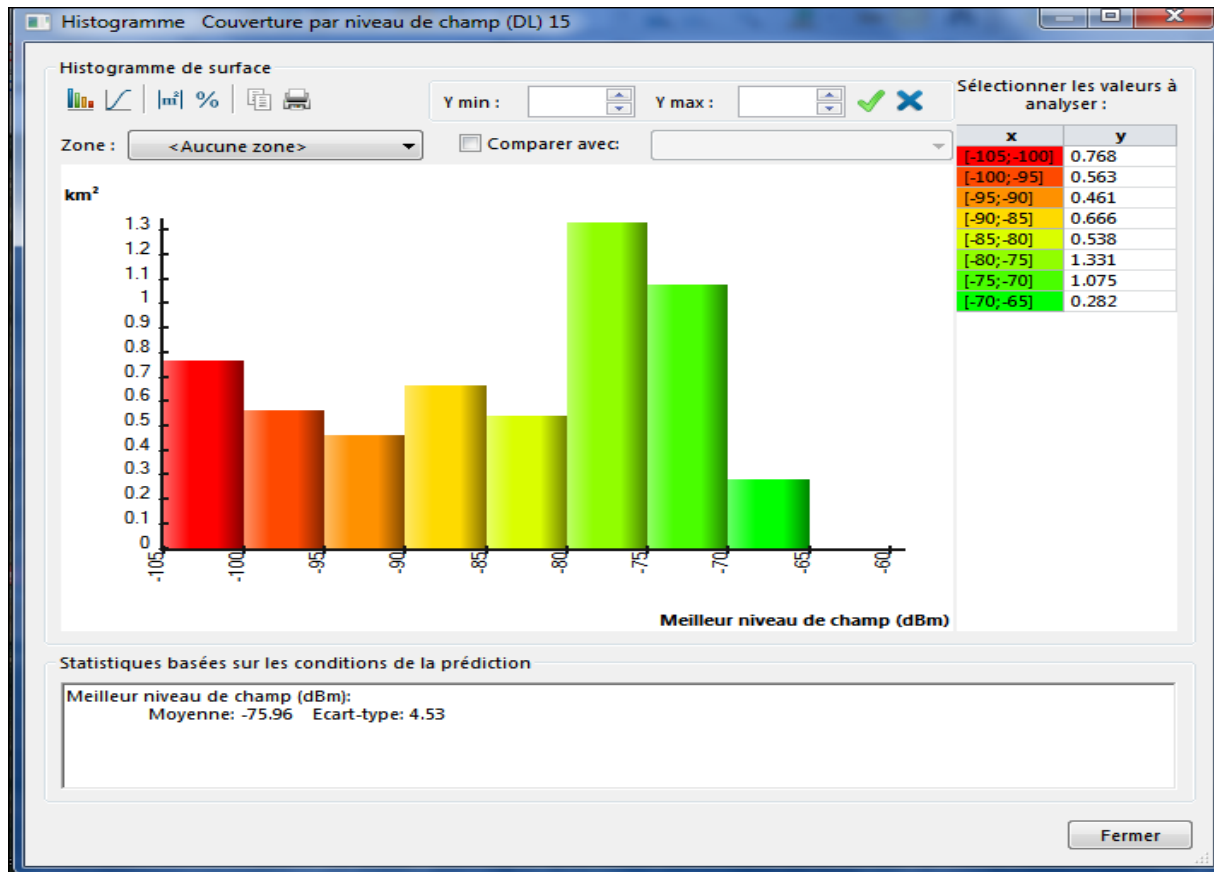


Figure IV.18 : Histogramme de la nouvelle couverture par le niveau de signal.

b) Capacités :

Après étude de besoin en capacités nous pouvons ajouter d'autres secteurs sur des sites déjà existants ou installer d'autres nouveaux sites

Pour notre cas nous allons utiliser une largeur de bande de 20 Mhz qui peut offrir un débit jusqu'à 130Mbps dans les meilleures conditions radio et dans notre cas nous avons une demande totale de 10GHz de trafic dans cette zone, dans la pratique et selon les conditions radio on considère le débit max de 110Mbps au lieu de 130Mbps

Avec un simple calcul arithmétique on aura besoin de $10000/110 = 90.9$ donc 91 secteur.

Dans le cas d'une configuration de 3X3X3 pour chaque site nous aurons besoin de 11 sites, dans notre simulation nous avons 12 sites ce qui est suffisant, nous avons un nombre supplémentaire de secteurs qui est de 9, donc 0.99 Ghz de capacités supplémentaires seront réservés pour de nouveaux clients ou d'éventuels upgrade pour des clients existants.

Si il y a une forte demande pour un service internet on pourra toujours ajouter des secteurs sur des sites existants ou ajouter de nouveaux sites . [14]

IV.5 Conclusion :

L'outil « Atoll », consiste à une solution robuste pour la planification en permettant la lecture des modèles numériques du terrain, la sélection des emplacements des sites, le paramétrage des sites et l'élaboration des cartes de prédiction de couverture et de qualité dans la zone géographique de déploiement.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail portait sur l'étude de dimensionnement du réseau LTE (Long Term Evolution of UMTS) ; l'objectif principal de ce projet est de dimensionner et planifier la technologie LTE dans le réseau d'accès déjà existant. Un outil évolutif qui fournit une solution efficace, qui suit l'évolution rapide du standard 3GPP LTE et qui tient compte des nouvelles technologies introduites, telles que MIMO, CoMP et l'agrégation de porteuses, etc.

Dans la première partie nous avons commencé par une présentation des différentes évolutions de générations de téléphonie mobile, la deuxième partie, est une étude générale du réseau LTE ou on a parlé de son architecture, ses caractéristiques, son interface radio ainsi que les avantages qu'il assure. La troisième partie a été consacrée pour la planification détaillée d'une solution de dimensionnement du réseau orienté couverture et orienté capacité, de dimensionnement de l'interface X2 et de l'interface S1. Ce processus est caractérisé par sa complexité et comprend plusieurs tâches, principalement l'établissement du bilan de liaison radio, le choix d'un modèle de propagation adéquat pour le dimensionnement de couverture, l'établissement d'un modèle de trafic et le calcul de la capacité de la cellule pour le dimensionnement de capacité.

Dans le dernier chapitre nous avons présenté L'outil « Atoll », dans sa version V 3.3.2, consiste à une solution robuste pour la planification dans l'E-UTRAN, qui ne couvre que le processus de pré-planification et de dimensionnement. Il permet la lecture des modèles numériques du terrain, la sélection des emplacements des sites, le paramétrage des sites et l'élaboration des cartes de prédiction de couverture et de qualité de service dans la zone géographique de déploiement. Autrement dit il facilite les résultats prédits ce qui permet aux opérateurs d'offrir des meilleurs résultats avec moins de coût. [14]

Notre simulation est à base d'une méthode appelée : la méthode macro/micro. Son principe est de couvrir avec des sites à macros cellules et de corriger les trous de couverture avec des sites à micros cellules. Cette méthode utilisée généralement pour bénéficier d'une large couverture, meilleure qualité de service et à moindre coût.

Ce projet était l'occasion pour approfondir nos connaissances sur le dimensionnement des réseaux mobiles de la quatrième génération LTE (4G LTE) , ces derniers constituent la solution la plus recherchée par les opérateurs télécoms pour remédier au compromis dimensionnement – coût, face aux exigences de consommateur qu'est susceptible non seulement d'établir une connexion en tout moment pour récupérer ce dont il a besoin mais en plus, il est capable de jouir d'une multitude de services à travers le même réseau. C'est le principe de la convergence des réseaux aux quels répondent les réseaux des nouvelles générations et en particulier LTE.

1. “LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Bsed Radio Access” 1ere edition 2009 par John Wiley Sons, Ltd,Chichester, West Sussex,UK . ISBN 978-0-470-99401-6
2. Atoll Radio planning and optimization software Measurements and Model Calibration Guide version 3.3.2.
3. BETAOUAF Djezila , BOUMECHERA Wissem, << Développement d’un Outil de Dimensionnement et de Planification d’un Réseau 4G-LTE >> Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, Mai 2015.
4. Ericsson, Inc, << LTE 10A Air Interface >>, Ericsson LTE Plinning , Internal and confidential document © Copyright 2009.
5. Ericsson, Inc, << LTE L12 Radio Network Functionality >>, Ericsson LTE Plinning, Internal and confidential document © Copyright 2009.
6. Ericsson, Inc, << LTE/SAE System Overview >>, Ericsson LTE Plinning , Internal and confidential document © Copyright 2009.
7. Farooq KHAN : Technoligy director , Samsung Telecom Harri HOLMA and Antti TOSKALA: Nokia siemens Networks, Finland. ISBN 978-0-470-99821-2.
8. Hamlili Heyem <<Conception et développement d’un outil d’aide à la planification et dimensionnement de l’E-UTRAN d’un réseau LTE-Advanced >> Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, mai 2016.
9. K.FAZEL Ericsson GnbH , et S.KAISER DOKOMO Communications Laboratories Europe GmbH , Germany : “ Multi Carrier and Spread Spectrum Systems from OFDM and MC-CDI to LTE and WIMAX “ 2ème
- 10.Khalil Ibrahim. Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs. Autre. Université d’Avignon, 2009. Français. <NNT : 2009AVIG0169>.
- 11.LEMAMOU Eunice Adjarath, << planification globale des réseaux mobiles d la quatrième génération (4G) >> Université De MONTREAL, AVRIL 2014.

12. Mohamed AYADI, << Mécanismes de prédiction de la propagation à apprentissage >> Université 7 NOVEMBRE A CARTHAGE, Ecole Supérieure des Communications de Tunis, Février 2007.
13. R&D Center, Dallas, USA “LTE for 4G Mobile Broadband: Air interface Technologies and Performance”, édition 2009 Cambridge University Press, New York. eBook ISBN -13: 978-0-511-51666-5.
14. Rapport de la calibration du modèle de propagation de l'outil de planification Atoll document. Djezzy
15. SEIDE et Germine, << planification d'un réseau de quatrième génération à partir d'un réseau de troisième génération, >> Université De MONTREAL, AOUT 2011.
16. Tarek TOUHAMI, << La mise en place d'un outil d'optimisation d'un réseau Advanced LTE Pour Tunisie Telecom >> Université Virtuelle de Tunis (UVT), Juin 2015.
17. Yannick Bouguen, Éric Hardoin, François - Xavier Wolff, << LTE et les réseaux 4G >>, Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
18. ZEGGAI Sara et ZOUAG Bilal Mohamed, << Étude d'une liaison radio avec relais et calcul du bilan de liaison, >> Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, juin 2016-2017.
19. ZUBEIRI Iman << Étude de la capacité des réseaux LTE >> UNIVERSITÉ Sidi Mohamed Ben Abdelah

Sites web:

<http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2015/05/08/bearer-eps/>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/EUTRAN>

<https://www.telecomspourtous.fr/lte.html>

<http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2015/07/09/quand-le-enb-sature-til/>

http://mxor.com/download/mobile_internet.pdf <http://www.3gamericas.org/>

<http://www.lteuniversity.com/>

http://www.cosmoc.org/free_tutorials/rohdel/LTE_tutoriale/index.html

<http://www.eventheslix.com/lte-tutorials.html>