



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

*Université A/Mira de Bejaïa
Faculté de Technologie
Département Génie électrique*

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication

Option : Réseaux et Télécommunications

Thème

Modèle de propagation et de couverture de la 4G

Réalisé par

OUARI YANIS

Date de soutenance : 23/09/2020.

Devant le jury composé de :

Mr BERRAH.....*Encadreur*

Mr MEKHMOUKHE.....*Président*

Mr KHIREDINE.....*Examineur*

Promotion 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, louanges à Dieu le tout puissant, pour m'avoir permis de venir à bout de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur Berrah Smail pour m'avoir encadré dans mon travail.

Je témoigne toute ma reconnaissance aux membres du jury, qui ont bien voulu examiner et évaluer mon mémoire.

J'exprime aussi ma gratitude à ma famille, pour m'avoir soutenu tout au long de mes études.

Enfin, je ne saurais oublier toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont aidé dans l'élaboration du présent mémoire.

Dédicaces

A la mémoire de mon père et de mon grand-père

A toute ma famille

A tous mes amis et proches

Janis

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1	2
I.Introduction.....	3
I.2Principes et concepts de bases	3
I.2.1 Concept cellulaire	3
I.2.1.1Types de cellules :.....	4
I.2.1.2 Réutilisation de fréquence	4
I.2.1.3 La distance de réutilisation	4
I.2.2 LE HANDOVER	5
I.3 Evolution des réseaux mobiles.....	5
I.3.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)	5
I.3.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	6
I.3.2.1 Le réseau GSM (2G).....	6
I.3.2.2 Réseau GPRS (2.5 G)	6
I.3.2.3 Le réseau EDGE (2.75G).....	6
I.3.3 Les réseaux mobiles de la troisième génération	6
I.3.3.1 Le réseau UMTS.....	6
I.3.3.2 HSPA	7
I.3.3.3 HSPA +	7
I.3.4 Réseaux cellulaires de quatrième génération.....	7
I.3.4.1 Le réseau LTE.....	7
I.3.4.2 Le réseau LTE-Advanced	7
I.4 But de la 4G/LTE :.....	7
I.5 Architecture du réseau LTE	8

I.5.1 Le réseau d'accès E-UTRAN	8
I.5.2 Réseau coeur EPC (<i>Evolved Packet Core</i>)	10
I.6 Interfaces de communication	11
I.7Caractéristiques du réseau LTE :	12
I.7.1 La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés :	12
I.7.2 Débit :	12
I.7.3 Latence :	12
I.7.3 L'agilité en fréquence :	12
I.7.4 La mobilité :	12
I.7.5 Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G :	12
I.8 Les technologies utilisées en LTE	13
I.8.1 Le duplexage :	13
I.8.2 Modulation	14
I.8.2.1 QAM	15
I.8.2.2 QPSK	15
I.8.3 Technique d'accès multiple	16
I.8.3.1 OFDM	16
I.8.3.2 OFDMA	16
I.8.3.3 SF FDMA	18
I.8.4 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output):	19
I.9 Les canaux radio	20
I.9.1 Les canaux logiques	20
I.9.2 Les canaux de transport	21
I.9.3 Les canaux physiques	21
I.10 Architecture protocolaire du réseau LTE	22
I.10.1 La couche physique	22
I.10.2 La couche 2	23
I.10.2.1 la sous-couche MAC	23
I.10.2.2 la sous-couche RLC	23
I.10.2.3 la couche PDCP	23

I.10.4 La couche NAS	24
I.11 Le Handover dans LTE	24
Chapitre II.....	25
II.1 INTRODUCTION	26
II.2 Processus de Dimensionnement	26
II.2.1 Pré-dimensionnement	27
II.2.2 Dimensionnement de couverture.....	27
II.2.3 Dimensionnement de capacité.....	27
II.2.4 Optimisation	27
II.3 Dimensionnement de couverture	28
II.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture	28
II.3.2 Evaluation des paramètres de la liaison :	28
II.3.2.1 Le bilan de liaison RLB	29
II.3.2.1.1 Paramètres du bilan de liaison.....	30
II.3.2.2 Modèle de Propagation.....	32
II.3.2.2.1 Propagation en espace libre.....	32
II.3.2.2.2 Le modèle Okumura-Hata:.....	33
II.3.2.2.3 Modèle de COST 231-Hata.....	34
II.3.2.2.4 Le modèle Walfish-Ikegami.....	34
II.3.2.2.5 Modèle Erceig Greenstein.....	36
II.3.2.3 Calcul de la couverture pour les Uplink.....	36
II.3.2.3.1 Débit requis	37
II.3.2.3.2 SINR requis	37
II.3.2.3.3 Sensibilité eNodeB récepteur	38
II.3.2.3.4 Les marges de bruit	38
II.3.2.3.5 Equation bilan de liaison Uplink.....	41
II.3.2.4 Calcul de la couverture pour les downlink.....	42
II.3.2.4.1 Pertes de trajet	42
II.3.2.4.2 Débit binaire requis	42
II.3.2.4.3 Puissance par bloc de ressource	42

II.3.2.4.4 Augmentation du bruit à la bordure de la cellule.....	42
II.3.2.4.5 Equation bilan de liaison Downlink.....	43
II.3.2.4.6 La sensibilité du l'équipement utilisateur récepteur	43
II.3.2.4.7 SINR à la bordure de la Cellule	44
II.3.2.4.8 Limite du Bilan de liaison	44
II.3.2.5 Rayon de la cellule	44
II.3.2.6 Le nombre de sites.....	44
II.3.2.7 Dimensionnement de l'interface S1 et X2	45
II.3.2.7.1 L'interface X2	45
II.3.2.7.2 Interface S1.....	46
II.4 Dimensionnement de capacité.....	46
II.4.1 Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink.....	46
II.4.1.1 Débit de la cellule.....	46
II.4.2 Calcul dimensionnement de capacité Downlink	46
II.4.2.1 SINR.....	46
II.4.2.2 Débit de la cellule.....	47
II.4.2.3 Nombre des sites demandés	47
CHAPITREIII	48
III.1 Introduction	49
III.2 Présentation du logiciel Matlab.....	49
III.4 Présentation de l'application développée.....	52
III.4.1 L'interface d'accueil	52
III.4.2 Le bilan de liaison	53
III.4.3 PREMIERE ZONE D'ETUDE.....	54
III.4.3.1Choix de modèle de propagation	54
III.4.3.2 Le modèle Okumura-Hata.....	55
III.4.3.3Le modèle Cost231-Hata	56
III.4.3.4 Le modèle Walfish-Ikegami	58
III.4.3.5Le modèle ErceigGreenstein.....	59
III.4.3.6 CHOIX DU MODELE APPROPRIER	60

III.4.3.7 Analyse des résultats.....	62
III.4.4.1 Le modèle Okumura-Hata.....	62
III.4.4.2 Le modèle Cost231-Hata	63
III.4.4.3Le modèle Walfish-Ikegami	64
III.4.4.4 Le modèle ErceigGreenstein.....	64
III.4.4.5CHOIX DU MODELE APPROPRIER	65
III.4.4.6 Analyse des résultats.....	65
III.5 Conclusion.....	65
Conclusion Générale	67
Références bibliographiques	69

Liste des figures

Figure I.1 taille des cellules en fonction du type d'environnement à couvrir	4
Figure I.2 évolution des réseaux mobile de la 1G a la 5G	5
Figure I.3 Architecture du réseau LTE.....	8
Figure I.4 architecture du réseau d'accès E-UTRAN	9
Figure I.5 Interface de connexion entre la LTE et les réseaux non 3GPP	12
Figure I.6 Le duplexage TDD et FDD	14
Figure I.7 La structure de la trame de type 1	14
Figure I.8 La structure de la trame de type 2	15
Figure I.9 la technique de la modulation adaptative	16
Figure I.10 constellation QAM a 16 et 64 états	17
Figure I.11 constellation QPSK	18
Figure I.12 le préfixe cyclique (CP	19
Figure I.13 l'utilisation des sous porteuses en LTE.....	19
Figure I.14 Bloc de ressources	20
Figure I.15 La différence OFDMA et SC-FDMA.....	21
Figure I.16 La différence OFDMA et SC-FDMA.....	21
Figure I.17 Schéma représentatifs des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO	22
Figure I.18 Association entre canaux logiques, de transport et physiques en vois montante et descendante.....	24
Figure II-0-I Processus de planification	30
Figure II.2 Dimensionnement de couverture.....	32
Figure II.3 Marge des lignes d'alimentation	43
Figure II.4 bilan de liaison Uplink	44
Figure II.5 bilan de liaison Downlink	46
Figure III.1 Logo Matlab.....	52

Figure III.2 Fenêtre principale du Matlab	53
Figure III.3 Command Windows... ..	53
Figure III.4 Fenêtre principal d'un nouveau GUI.....	54
Figure III.5 Interface graphique MATLAB vierge	54
Figure III.6 Interface des propriétés des objets	55
Figure III.7 Page d'accueil de l'application	55
Figure III.8 Calcul du bilan de liaison.....	56
Figure III.9 Interface de choix du modèle.....	58
Figure III.10 Interface du modèle OKUMURA-HATA	58
Figure III.11 Dimensionnement avec le modèle OKUMURA-HATA	59
Figure III.12 Interface du modèle COST231-HATA.....	60
Figure III.13 Dimensionnement avec le modèle COST231-HATA	60
Figure III.14 Interface du Modèle WALFISH-IKEGAMI.....	61
Figure III.15 Dimensionnement avec Modèle WALFISH-IKEGAMI	62
Figure III.16 Interface du Modèle d'Erceig Greenstein.....	62
Figure III.17 Dimensionnement avec Modèle Erceig Greenstein.....	63
Figure III.18 Interface ETUDE DE CAS	64
Figure III.19 Choix de la configuration optimale pour la zone à étudier.....	64
Figure III.20 modèle Okumura-Hata pour la zone 2.....	65
Figure III.21 Le modèle Cost231-Hata pour la zone 2	66
Figure III.22 Le modèle Walfish-Ikegami pour la zone 2.....	67
Figure III.23 Le modèle Erceig Greenstein pour la zone 2.....	67
Figure III.24 Etude des cas pour la zone 2.....	68

Liste des tableaux

Tableau I.1 L'attribution des sous trames	16
Tableau I.2 les différentes phases et signaux à transmettre pour la modulation QPSK.....	17
Tableau II.1 Modèle OKUMURA-HATA	36
Tableau II.2 Modèle de COST 231-Hata	37
Tableau II.3 Le modèle Walfish-Ikegami	38
Tableau II.4 type de terrain	39
Tableau II.5 le nombre de blocs de ressources en fonction de la bande passante.....	40
Tableau II.6 Marge de pénétration	41
Tableau II.7 Perte de types de signal.....	42
Tableau II.8 Marge de Shadowing	42
Tableau II.9 Marge des lignes d'alimentation.....	43
Tableau II.10 surface totale de la zone en fonction du type de la zone.....	48

Liste des abréviations

1G : première génération
2G : deuxième génération
3G : troisième génération
4G : quatrième génération
5G : cinquième génération
3GPP: 3rd Generation Partnership Project

A

AM: Acknowledged Mode
AMPS: Advanced Mobile Phone System
AUC: Authentication Center

B

BCCH: Broadcast Control Channel
BCH: Broadcast Channel
BG: Border Gateway
BLER: Block Error Rate
BSC: Base Station Controller
BSS: Base Station Subsystem
BTS: Base Transceiver Station

C

CCCH: Common Control Channel
CRC : Cycle de contrôle de redondance

D

DCCH: Dedicated Control Channel
DL: Downlink
DL-SCH: Downlink Shared Channel.
DTCH: Dedicated Traffic Channels

E

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR: Equipment Identification Register
EIRP: Effective Isotropic Radiated Power
EPC: Evolved Packet Core Network
ePDG: Evolved Packet Data Gateway
EPS: Evolved Packet System
ETACS: Extended Total Access Communication System
E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
ENodeB: Evolved NodeB

F

FDD: Frequency Division - Duplexing
FUSC: Full Usage of Subchannels
FDMA: Frequency Division Multiple Access.

G

GERAN :GSM Edge Radio Access Network
GGSN: Gateway GPRS Support Node
GMSC: Gateway MSC
GPRS: General Packet Radio Service
GPS: Global Positioning System
GSM: Global System for Mobile

H

HARQ: Hybrid ARQ
HLR: Home Location Register
HS: High Speed
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access
HSS: Home Subscriber Server

I

IMEI: International Mobile Equipment Identity
IMS: IP Multimedia Sub-system
ITU: International Telecommunications Union

L

LTE: Long Term Evolution

M

MAC: Medium Access Control
MAPL: Maximum Allowable Path Loss
MCCH: Multicast Control Channel
MCH: Multicast Channel
ME: Mobile Equipment
MIMO: Multi-Input Multiple-Output
MISO: Multi-Input
MME: Mobility Management Entity
MSC: Mobile services Switching Center
MTCH: Multicast Traffic Channel

N

NGN : New Generation Network
NMC: Network and Management Centre
nRB : nombre de blocs de ressources
NSS: Network Switching Subsystem

O

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OLSM: Open Loop Spatial Multiplexing

OMC: Operations and Maintenance Center

OSS: Operation Subsystem

P

PBCH: Physical Broadcast Channel

PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel

PCCH: Paging Control Channel

PCI: Physical Cell Id.

PCRF: Policy and Charging Rules Function

PDCCH: Physical Downlink Control Channel

PDCP: Packet Data Convergence Protocol

PDN-GW: Packet Data Network Gateway

PDP: Packet Data Protocol PUSC: Partial Usage of Subchannels

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel

PLMN: Public Land Mobile Network

PMCH: Physical Multicast Channel

PRACH: Physical Random Access Channel Protocol

PSS : Primary synchronization signal

PUCCH: Physical Uplink Control Channel

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel

Q

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QDS : Qualité de service

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

R

RA: Rural Area

RACH: Random Access Channel

RB: Resource Blocks.

RE: Resource Element.

RLC: Radio Link Control

RNC: Radio Network Controller

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de

RRC: Radio Resource Control

RRC: Radio Resource Control

RSRP : Reference signal receive power

RSRQ: Reference Signal Receive Quality.

RSSI: Received Signal Strength Indication

RTC : Réseau Téléphonique Commuté Division Multiple Access

RTCP: Real-time Transport Control

RX: Reception

S

SAE: System Architecture Evolution

SC-FDMA: Single Carrier - Frequency Services

SGSN: Serving GPRS Support Node

SGW: Serving Gateway

S-GW: Serving Gateway

SIM: Subscriber Identity Module

SIMO: Single Input Multiple Output

SINR: Signal to Interference & noise Ratio

SIP: Standards IP

SISO: Single Input Single output

SPM: Standard Propagation Model

SSS: Secondary synchronization signal

T

TDD: Time Division Duplexing.

TDMA: Time Division Multiple Access Telecommunications System

TX : Transmission.

U

UE: User Equipment

UL: UpLink

UL-SCH: UpLink Shared Channel

UM: Unacknowledged Mode

UMTS: Universal Mobile

W

WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières années, le secteur des télécommunications a connu des progrès technologiques énormes en raison de la forte demande de la population et de l'industrie. Dans ce domaine, l'accent est mis sur les réseaux mobiles. Leurs développements continuent de croître, et plusieurs générations ont vu le jour (1G, 2G, 3G, 4G et la 5G à venir). En fournissant un débit exceptionnel qui continue d'augmenter, la bande passante devient de plus en plus large. L'un des avantages de cette bande passante est le nombre d'utilisateurs pouvant être pris en charge. Par exemple, les réseaux 4G autorisent des débits très élevés, c'est-à-dire que la vitesse théorique de transmission des données est d'environ 100 Mb/s [1].

Cette rapide évolution permet l'intégration de nouveaux services et à amener les opérateurs à adapter leurs méthodes de planification aux nouvelles technologies, ce qui augmente la complexité au niveau du réseau. Cette complexité devient plus importante quand ces réseaux regroupent plusieurs technologies d'accès différentes en un réseau hétérogène. La phase de planification correspond à assurer la meilleure couverture radio, la compatibilité avec les réseaux actuels, la gestion de la mobilité intercellulaire des utilisateurs, l'anticipation des interférences, la taille de la cellule et la charge supportée. Ceci va permettre une couverture adéquate et un bon service pour soutenir l'augmentation potentielle du trafic [2].

Dans le cadre de ce projet, nous proposons de réaliser un outil de planification et de dimensionnement de la couverture radio du réseau 4G selon les différents modèles de propagation les plus utilisés, tout en choisissant le modèle le plus approprié en termes 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 mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre introduira le concept cellulaire, puis décrira les systèmes de communication mobiles et leurs évolutions depuis la 1G jusqu'à la 4G.

Le deuxième chapitre sera focalisé sur la planification et la détermination de la couverture radio du réseau LTE-A. Nous allons d'abord expliquer les différents processus de dimensionnement, puis définir plus en détail les formules mathématiques et les calculs des paramètres de bilan de liaison, ainsi que les différentes règles spécifiques au modèle de propagation requises pour la planification de la couverture.

Le dernier chapitre traitera la conception et réalisation d'un outil planificateur qui sert à faciliter le calcul des certains paramètres (Bilan de liaison, le rayon de la cellule...). Nous exposerons les différentes interfaces de cette application avec des descriptions de chacun, puis nous finirons par un choix de modèle optimal et une analyse des résultats.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES

I Introduction

Le domaine des télécommunications a connu ces dernières années une croissance importante, spécialement le réseau mobile, qui a subi une progression étalée sur cinq générations, à savoir (1G ,2G ,3G ,4G et 5G). Dans le but de satisfaire le besoin des clients d'une part, et d'offrir un ensemble de services pertinents d'autre part ; Chaque réseau doit être constamment contrôlé et suivi, d'une façon à connaître l'état de fonctionnement de leurs infrastructures, et de pouvoir améliorer leurs compétitivités afin d'avoir de meilleures performances [3].

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement les caractéristiques de chaque génération et éventuellement leurs architectures. Néanmoins, le réseau 4G sera détaillé puisqu'il est le sujet principal de notre étude.

I.2 Principes et concepts de bases

I.2.1 Concept cellulaire

Le fonctionnement du réseau mobile est basé sur un système cellulaire, une cellule est un modèle théorique, qui a la forme d'un hexagone, ressemblant plus au cercle, dont la juxtaposition de ces derniers permet de couvrir une zone géographique sans laisser d'espace vide.

Les stations de bases sont réparties sur le territoire selon un schéma qui permet à une cellule d'utiliser plusieurs fréquences qui seront différentes de celles des cellules voisines, ces mêmes fréquences seront réutilisées par des cellules suffisamment éloignées de façon à éviter les interférences. [4]

Le nombre de communications simultanées que peut débiter une station de base est limité à cause du nombre de porteuses (fréquences) disponibles.

Les cellules sont calculées d'une façon à tenir compte de plusieurs facteurs :

- La topologie (bâtiment, montagne, voiture...).
- La densité urbaine (nombre d'abonné ou communication)
- Condition de réutilisation de fréquence pour deux cellules adjacentes pour éviter les interférences (la distance qui sépare deux cellules utilisant la même bande de fréquence doit être 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule).
- On désigne trois services principaux :
 - Le service outdoor en assurant une succession de communication à l'extérieur.
 - Le service indoor pour une succession de communication à l'intérieur on souligne deux critères : soft indoor pour un utilisateur situé juste derrière la façade d'un bâtiment, et le service deep indoor pour un usager qui se trouve plus à l'intérieur.
 - Le service incar, en tenant compte des utilisateurs qui se trouvent dans une voiture en augmentant le bilan de puissance.

I.2.1.1 Types de cellules

La taille d'une cellule change en fonction d'un ensemble d'exigences telle que : la topologie du terrain, la densité d'abonnés et la nature de l'environnement [4].

On distingue 3 types de cellules :

- **Micro cellules** : leurs portées maximales sont de 500 m environ, couvrant ainsi des zones urbaines est reliant un trafic moyennement dense, elles permettent des débits de l'ordre de 384Kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120km/h.
- **Macro cellules** : sont des cellules dont leurs zones d'action couvrent jusqu'à 30 km, reliant un trafic moins élevé, elles permettent des débits de l'ordre de 144Kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500km/h.
- **Pico cellules** : ces pico cellules sont placées dans des endroits où le trafic est considérable, elles permettent des débits de l'ordre de 2Mbits/s pour un déplacement de l'ordre de 10km/h.

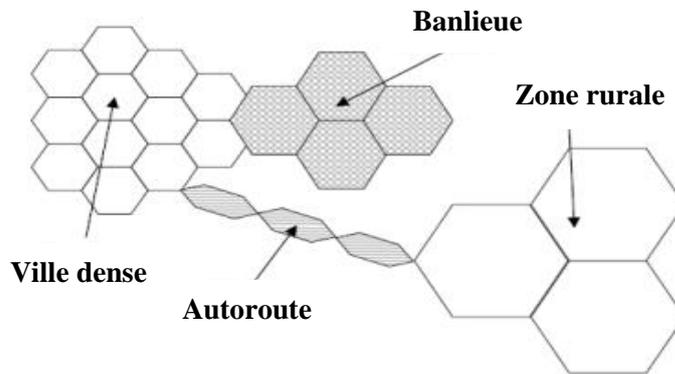


Figure I.1 taille des cellules en fonction du type d'environnement à couvrir

I.2.1.2 Réutilisation de fréquence

On peut réutiliser une même porteuse dans des cellules différentes si celles-ci sont suffisamment éloignées. Ainsi, on définit le motif, constitué de plusieurs cellules dans lequel chaque fréquence est utilisée une seule fois. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir.

Un opérateur peut couvrir une zone géographique d'étendue illimitée en réutilisant les fréquences, en utilisant une bande de fréquences limitée. Grâce à ce concept, on peut avoir une très grande capacité en nombre d'utilisateurs par unité de surface [4].

I.2.1.3 La distance de réutilisation

Afin de réutiliser une fréquence dans deux cellules différentes, il faut que la distance minimale D qui sépare ces deux dernières soit [4] :

$$D = \sqrt{3 \cdot k} \cdot R \quad (I.1)$$

Avec R : le rayon d'une cellule et k la taille du motif.

I.2.2 Le HANOVER

Quand le mobile change de cellule, la procédure de handover permet au terminal mobile de maintenir une communication continue. En effet, lorsque le signal de transmission entre le téléphone et la station de base s'affaiblit, le logiciel du téléphone mobile recherche une autre station de base disponible dans une autre cellule, ce qui peut à nouveau assurer la continuité de la communication sans interruption, il existe deux types de handover , handover intercellulaire permet un changement de cellules gérées par deux BTS ou NodeB différentes sans interruption de conversation et handover intracellulaire permet un changement de canal radio gérés par une seule BTS ou NodeB.

I.3 Evolution des réseaux mobiles

Avant d'expliquer l'état actuel de la technologie actuellement utilisée, il nous semble intéressant de faire le point sur le développement des réseaux cellulaires.

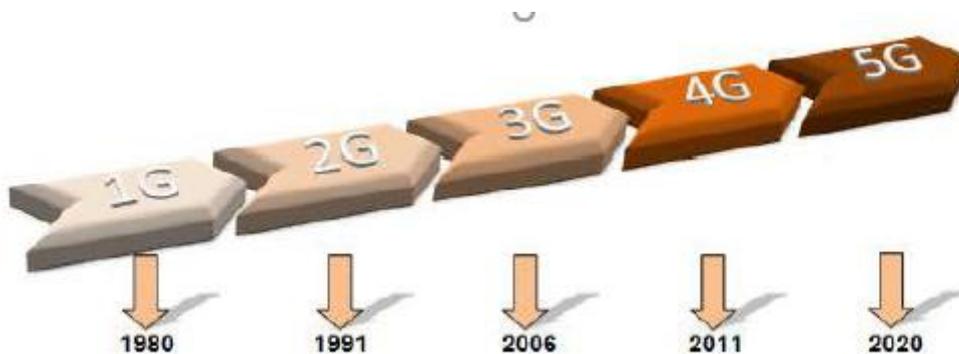


Figure I.2 évolution des réseaux mobile de la 1G a la 5G

I.3.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)

Apparue au début des années 1980, la première génération travaillait dans les bandes de fréquences 890-915 MHz et 953-960 MHz. Cette génération comprend des systèmes de communication analogiques principalement utilisés pour la transmission vocale, mais à cette époque, la qualité de son service était médiocre et les coûts de communication élevés. Elle présente surtout de nombreux défauts, d'une part Les normes d'une zone à l'autre ne sont pas compatibles, par contre, et d'autre part la transmission analogique n'était pas sécurisée [6].

Le système cellulaire de première génération (1G) utilisait essentiellement les normes suivantes [7] :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System), il est lancé aux Etats-Unis, c'est est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA.
- NMT (Nordic Mobile Téléphone) a été 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 des téléphones mobiles (2G)

Le système cellulaire de deuxième génération (2G) a été développé à la fin des années 1980. Elle définit la conversion de l'analogique au numérique et elle est basé sur le multiplexage FDMA et TDMA la modulation GMSK et utilise une Fréquence de 900 MHz et une largeur de canal de 200KHZ. Le système offre aux utilisateurs une meilleure qualité et une capacité élevée à moindre coût. La deuxième génération utilise principalement les standards suivants [8]: GSM (2G), GPRS (2.5G) et EDGE (2.75G).

I.3.2.1 Le réseau GSM (2G)

La norme GSM autorise une vitesse maximale de 9,6 kb / s, qui peut transmettre la voix et une petite quantité de données numériques, telles que les messages texte SMS ou MMS, sa largeur de canal est de 200 KHZ, elle est Basé sur FDMA et TDMA, et introduit la modulation GMSK [9].

I.3.2.2 Réseau GPRS (2.5 G)

Le GPRS est utilisé dans les téléphones mobiles GSM et le complète, lui offrant des débits de données plus élevés (jusqu'à 171 Kbit / s en théorie et plus proche de 20 Kbit / s en pratique). Il utilise la même interface radio que GSM, et il ajoute la transmission de paquets au protocole GSM [10].

I.3.2.3 Le réseau EDGE (2.75G)

EDGE représente la deuxième évolution du système 2G, qui change le type de modulation. Il utilise la modulation 8-PSK, qui implique des modifications des stations de base et des terminaux mobiles. Cette technique de modulation permet d'avoir une efficacité spectrale plus élevé que celle de la modulation utilisée par GSM et GPRS, et nous permet d'obtenir un débit de réception moyen de 130 kb / s et un débit de transmission moyen de 60 kb / s (3 fois celui du GPRS) [11].

I.3.3 Les réseaux mobiles de la troisième génération

La 3G est le même standard technique que le standard GSM ou EDGE, c'est le développement de ces derniers et il permet d'atteindre des débits de données plus élevés. De cette façon, on a accès aux appels vidéos, aux vidéos MMS, à la vidéo à la demande et à la télévision ou profiter d'un accès Internet efficace et confortable. Il existe plusieurs formes de 3G dans le monde, CDMA2000 apparaît principalement aux États-Unis, et UMTS est basé sur le GSM européen [1].

I.3.3.1 Le réseau UMTS

L'UMTS est donc le standard de télécommunications de troisième génération utilisé en Europe et basé sur la technologie W-CDMA. Il est développé depuis 2004 et permet d'atteindre des débits compris entre 384 kbit / s et 2 Mbit / s et fonctionne dans la bande de fréquences de 1900 MHz à 2200 MHz organisée comme suit :

- De 1920 à 1980 MHz pour la liaison montante.
- De 2110 à 2170 MHz pour la liaison descendante.
- La largeur fréquentielle du canal est de 5 MHz.

Il utilise la modulation BPSK (uplink) QPSK (downlink). [12]

I.3.3.2 HSPA

HSPA a été introduit par 3GPP et est maintenant largement connu dans le commerce sous le nom de 3G+. Il implique la transition de la commutation de circuits à la commutation de paquets sur l'interface radio. La norme utilise la bande de fréquences 900/2100 MHz

Il regroupe :

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

Pour la liaison descendante, le 16-QAM (modulation d'amplitude en 16 quadratures) a été introduit. La modulation QPSK a été introduite pour la voie montante. Ces changements offrent aux utilisateurs des débits maximums de 14,4 Mbit / s en voie descendante et 5,8 Mbit / s en voie montante, et une latence réduite [13].

I.3.3.3 HSPA +

Le HSPA + a été normalisé par 3GPP. L'introduction de nouvelles techniques a permis d'améliorer le débit et l'efficacité. Dans la liaison descendante, la modulation 64QAM est prise en charge et la modulation 16QAM dans la liaison montante qui fonctionnent dans la bande de fréquences 900/2100 MHz. Une cellule peut transmettre simultanément des données aux utilisateurs sur deux porteuses de la liaison descendante. Par conséquent, le spectre qui prend en charge la transmission n'est plus limité à 5 MHz, mais à 10 MHz, ce qui double le débit fourni aux utilisateurs à environ 42 Mbit / s en théorie, et le débit réel est de 10 Mbit / s [13].

I.3.4 Réseaux cellulaires de quatrième génération

I.3.4.1 Le réseau LTE

Le LTE a été lancé par 3GPP, il nous fournit une large couverture de trafic en temps réel à haut débit. En théorie, le LTE peut atteindre des débits de 50 Mb / s sur la liaison montante et de 100 Mb / s sur la liaison descendante, mais en réalité, il ne peut atteindre que 40 Mbit / s, ce qui fournit plusieurs bandes de fréquences de 1,25 à 20MHz. Cela vous permettra de couvrir de grandes surfaces. Sous les meilleures performances, la taille de la cellule est d'environ 5 km, sous des performances raisonnables, elle est de 30 km et sous des performances acceptables, elle est de 100 km. Grâce au LTE, nous nous dirigeons vers la transmission de toutes les informations vocales et de données sur IP [14].

I.3.4.2 Le réseau LTE-Advanced

LTE Advanced est une amélioration du standard LTE, tout en conservant une rétrocompatibilité totale avec LTE, au niveau du terminal et du réseau, grâce à des fréquences radio et un codage identiques (OFDMA et SC-FDMA) déjà utilisés dans les réseaux LTE. Cette technologie vise à améliorer le LTE en termes de vitesse, capacité, délai, couverture et réduction des interférences. LTE-Advanced pourra fournir des débits pics de 1 Gb / s à l'arrêt et un débit de 100 Mb / s pour le terminal mobile. [15].

I.4 But de la 4G/LTE

La 4G vise à améliorer la capacité à gérer le nombre de téléphones mobiles dans une seule cellule, à assurer des débits élevés en déplacement en établissant l'interopérabilité entre les différentes technologies existantes et à offrir aux utilisateurs une mobilité totale. Pour rendre

le canal entre les réseaux transparents pour les utilisateurs pour éviter les interruptions de service pendant le processus de commutation et pour basculer l'utilisation vers tout IP [16].

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont :

- Fournir une meilleure qualité de service.
- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Minimiser le cout de signalisation des différentes technologies existantes et donner aux utilisateurs une mobilité complète. Afin d'optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout en bout, la perte des paquets.

I.5 Architecture du réseau LTE

L'architecture physique des réseaux LTE est composé de 3 partie :

1. Le réseau d'accès (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) EUTRAN.
2. Le réseau cœur (Evolved Packet Core) EPC.
3. L'équipement utilisateur (User Equipment) UE.

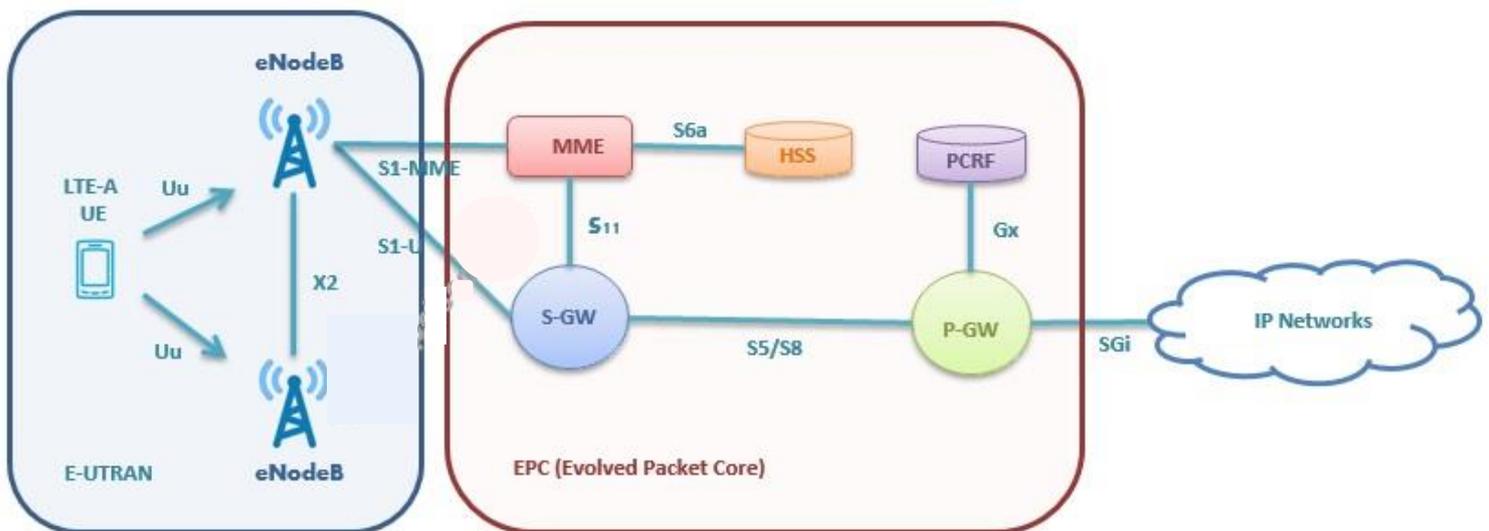


Figure I.3 Architecture du réseau LTE

I.5.1 Le réseau d'accès E-UTRAN

L'architecture E-UTRAN comprend des eNodeB avec des liaisons en fibre optique et des liaisons IP interconnectant les eNodeB entre eux (liaisons X2) et une interface S1 avec le réseau cœur [17].

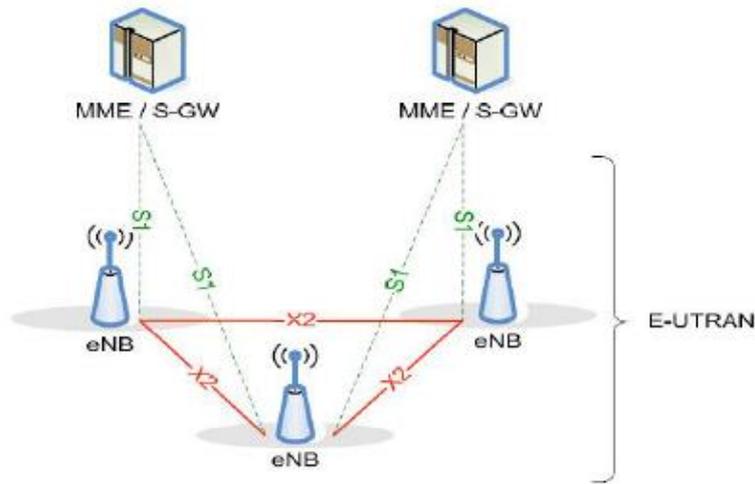


Figure I.4 architecture du réseau d'accès E-UTRAN

a. L'eNodeB (Evolved Node B)

Ces antennes peuvent minimiser les pertes de paquets de données pendant le mouvement de l'utilisateur durant le Handover, acheminer le flux de données de l'UE vers l'EPC et de chiffrer les données de l'utilisateur [18].

b. L'interface X2

Ceci est une interface maillée. Le but de son introduction est de permettre à des eNodeBs de limiter la perte de paquets dans le cas de la mobilité des utilisateurs et d'échanger des informations de signalisation durant le Handover ou la signalisation sans impliquer le réseau cœur [19].

L'interface X2 est divisée en deux parties :

- **L'interface X2-C (X2 Control plan interface)**

Il s'agit d'une interface de signalisation, comprenant un ensemble très limité de fonctions et de procédures, toutes liées à la mobilité des utilisateurs entre les eNodeBs afin d'échanger les informations entre les différents nœuds (portées allouées, sécurité...) [19].

- **L'interface X2-U (X2 User plane interface) :**

Son activité est de permettre le transfert de paquets de données placés dans des les mémoires tampons (buffers) entre eNodeB et le transfert de paquets de données entre eNodeB, utilisé pendant un temps limité lorsque le terminal passe d'un eNodeB à un autre [19].

c. L'interface S1 :

C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau central, qui peut être divisée en deux interfaces de base :

- **S1-C (S1-Contrôle)** c'est une interface de signalisation, qui supporte un certain nombre de fonctions et procédures entre eNodeB et le MME.
- **S1-U (S1-Usager)** : sa fonction est de transporter les paquets utilisateurs entre l'eNodeB et le SGW. [19]

I.5.2 Réseau coeur EPC (*Evolved Packet Core*)

L'objectif du réseau central est de gérer la sécurité, de gérer les utilisateurs, de gérer la mobilité et de gérer la qualité de service à travers l'équipement.

Il comporte :

a. HSS (Subscriber Home)

Le HSS est une base de données. Il est utilisé pour stocker les informations d'abonnement qui peuvent être utilisées pour le contrôle des appels et la gestion de session utilisateur effectuée par le MME. Il stocke et permet d'identifier l'utilisateur, la numérotation et le profil des services auxquels il est affecté. En outre, il contient des informations sur les abonnements à d'autres réseaux tels que GSM, GPRS, 3G et LTE [20]

b. MME « Mobility Manager Entity »

Il est chargé d'utiliser les informations du HSS pour localiser l'utilisateur, comprendre son statut et gérer le processus de vérification d'identité et de mobilité de l'UE et négocier la qualité de service à fournir. Il fournit le dernier point de protection par le codage, c'est donc un point pour vérifier l'interception de signalisation. Il contrôle le signal entre l'UE (équipement utilisateur) et le réseau cœur. Le MME est responsable de la diffusion d'un message de paging lorsque l'UE ne peut pas recevoir le paquet de données qui lui est envoyé. Il sélectionne le PGW et le SGW lorsque le terminal rejoint le réseau et se connecte à Internet et il est impliqué dans le transfert intercellulaire (handover) [20].

c. Serving Gateway(SGW)

Le SGW est défini pour participer au routage et à la transmission de paquets de données entre eUTRAN et le réseau central et pour gérer les « données utilisateur ». Il est utilisé pour la mobilité inter-eNode B (transfert inter-eNode B) et avec d'autres technologies d'accès 3GPP (Third Generation Partnership Project) telles qu'UMTS ou GPRS [20].

d. PDN Gateway (PGW)

PDN-GW agit comme un routeur par défaut par lequel transitent les requêtes de l'utilisateur, c'est un nœud qui connecte les utilisateurs mobiles à d'autres réseaux PDN. La passerelle PDN attribue une adresse IP à chaque terminal mobile, filtre les paquets de données et enregistre les octets échangés [20].

e. PCRF (Policy and Charging Rules Function)

Le PCRF est responsable des principales décisions de contrôle, c'est une entité qui gère la qualité de service requise par le réseau, en fait, elle gère la stratégie de tarification que le PDN-GW doit envisager et opère en fonction des actions des utilisateurs [30]

f. La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

Il s'agit d'un ensemble d'éléments pouvant fournir des services multimédias sur un réseau IP, dont l'architecture utilise la technologie VoIP. IMS prend en charge les services interpersonnels multimédias : voix IP, vidéoconférence, messagerie instantanée [30].

I.6 Interfaces de communication

Nous retrouvons :

Uu : interface entre l'utilisateur et l'eNodeB. C'est l'interface radio de l'EUTRAN qui est basée sur l'OFDMA dans le sens descendant et SC-FDMA dans le sens montant des communications.

X2 : interface entre les eNodeB qui se charge du handover sans impliquer l'EPC.

S1-U : interface entre eNodeB et SGW, pour les données d'utilisateurs.

S1-MME : interface entre eNodeB et MME, échange de la signalisation.

S5/S8 : interface entre SGW et PGW.

S11 : interface entre SGW et MME. Un seul MME peut prendre en charge multiple SGW, chacun avec sa propre interface S11, utilisé pour coordonner l'établissement des supports du SAE dans l'EPC. La signalisation sur ces interfaces est utilisée pour installer les supports des ressources associés.

S10 : interface entre les MME. C'est une interface de signalisation.

S6a : C'est l'interface entre MME et HSS. Utilisé par MME pour rechercher des abonnements et des informations d'identification sur le HSS. Lors de cette procédure ce dernier peut stocker l'adresse actuelle de l'utilisateur du MME dans sa base de données.

SGi : interface entre PGW et le réseau IP. Utilisé par le PGW pour envoyer et recevoir des données à partir des réseaux informatiques externes.

Gx ou S7 : interface entre PDN et PCRF. Permet à ce dernier de demander l'installation des supports EPC avec la QoS appropriée.

Rx : interface entre PCRF et le réseau PDN externe, en général vers le domaine de service.

L'interconnexion du réseau LTE avec les réseaux 3GPP (3G/2G) se fait par l'intermédiaire des interfaces S3, S4, S12 [12], comme le montre la figure ci-dessous.

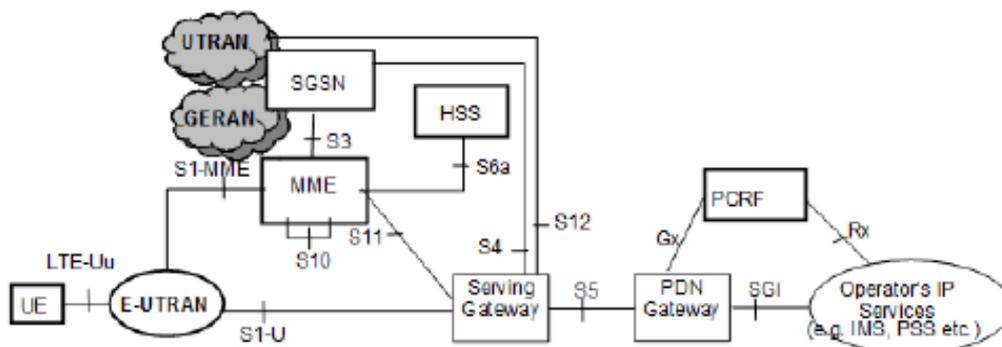


Figure I.5 Interface de connexion entre la LTE et les réseaux non 3GPP

S3 : interface de signalisation utilisée pour coordonner le changement inter-système entre le MME et le SGSN.

S4 : contient l'interface du plan d'utilisateur et le plan de contrôle, localisé entre SGW et SGSN.

S12 : interface entre l'EPC et le réseau d'accès, utilisé pour acheminer les données directement entre le SGW et l'UTRAN.

I.7 Caractéristiques du réseau LTE

I.7.1 La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés

Dans le cas de plusieurs UE actifs, la capacité du réseau limite la valeur du débit. Le LTE permet d'augmenter la capacité des réseaux mobiles : pour la bande passante active de 5 MHz, chaque cellule accepte 200 utilisateurs simultanés à l'état actif, et pour des bandes passantes plus élevées, au moins 400 utilisateurs sont acceptés [1].

I.7.2 Débit

Il définit la capacité maximale qui peut être atteinte en transmettant des informations (bits) par unité de temps (s) dans la communication entre l'émetteur et le récepteur.

L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter :

- un débit maximum de 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bits/s/Hz.
- un débit maximum de 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bits/s/Hz [1].

I.7.3 Latence

C'est la capacité de répondre rapidement aux demandes des utilisateurs ou des services.

On a deux plans :

a. La latence du plan de contrôle

Indique le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service. Il correspond au temps de transition entre l'état de veille et l'état actif de l'UE qui est inférieur à 100 ms.

b. La latence du plan usager

Il est défini par le temps de transmission du paquet de données entre la couche IP de l'UE et la couche IP du nœud dans le réseau d'accès, et vice versa. La caractéristique du LTE est que le temps d'attente est inférieur à 5 ms quand un seul terminal est actif, alors qu'il est d'environ 20 ms dans des conditions de charge moyenne de l'interface radio [18].

I.7.3 L'agilité en fréquence

LTE propose six options de bande passante, à savoir 1,4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz. L'objectif est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent fournir [18].

I.7.4 La mobilité

Mobilité garantie à des vitesses allant jusqu'à 350 km / h En effet, le transfert peut être effectué dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse [18].

I.7.5 Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G

Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel [18].

I.8 Les technologies utilisées en LTE

I.8.1 Le duplexage

Le duplexage définit la façon dont les transmissions de liaison montante et de liaison descendante sont séparées. La liaison descendante est une transmission de la station de base vers l'UE, et la liaison montante est une transmission de l'UE vers la station de base.

- Il existe deux principaux modes de duplexage :
 - FDD (frequency division duplexing) : L'émission et la réception se font à des fréquences différentes.
 - TDD (Time Division Duplex) : L'émission et la réception se transigent à une même fréquence, mais à des instants différents.

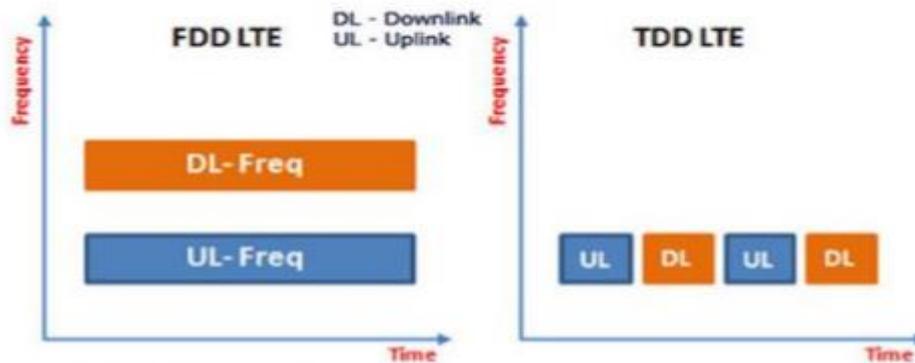


Figure I.6 Le duplexage TDD et FDD

- Deux structures de trames temporelles sont définies selon le mode FDD ou TDD :

a. La structure de la trame de type 1

La structure de type 1 définie pour le mode FDD, dix sous-trames peuvent être utilisées pour la voie montante et dix sous-trames peuvent être utilisées pour le canal de liaison descendante toutes les 10 ms. Chaque sous-trame est composée de deux intervalles de temps (slots), chaque intervalle de temps est de 0,5 ms, numéroté de 0 à 19[13].

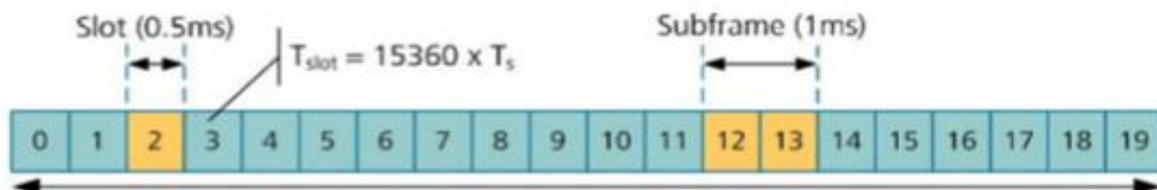


Figure I.7 La structure de la trame de type 1

b. La structure de la trame de type 2

La structure de type 2 définie pour le mode TDD a également une durée de 10 ms et comprend deux demi-trames de 5 ms chacune, qui varient de sorte que l'intervalle de temps peut être utilisé sur la liaison montante ou descendante selon les besoins [13].

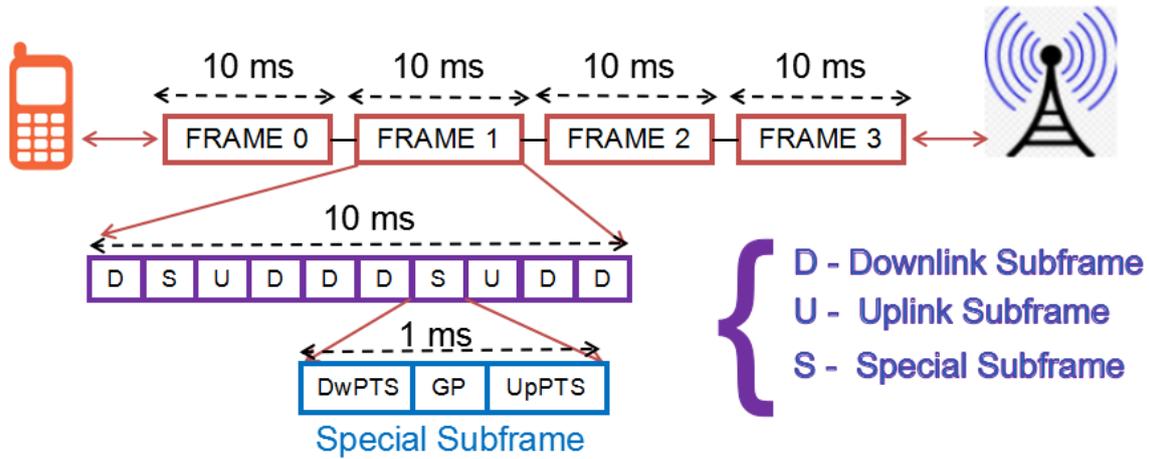


Figure I.8 La structure de la trame de type 2

- Chaque demi-trame comporte 5 sous-trames, dont la seconde peut correspondre à une sous-trame spéciale contenant trois champs particuliers :
 - Un champ pour le pilote dans le sens descendant DwPTS (Downlink Pilot Time Slot). Ce champ peut contenir des données.
 - Un champ pour le pilote dans le sens montant UpPTS (Uplink Pilot Time Slot). Ce champ peut contenir des données.
 - Un temps de silence GP (Gap Period) entre les deux champs précédents. Cet intervalle de temps permet de former un décalage temporel entre différentes stations mobiles, évitant ainsi le chevauchement entre les deux sens de transmission.

I.8.2 Modulation

La modulation utilisée dans LTE est la modulation adaptative (AMC) qui change en fonction de la distance entre l'abonné et l'eNode B.

L'Adaptive Modulation and Coding (AMC) est une technologie de modulation / codage adaptatif de l'information qui comprend l'ajustement du code de correction et de la modulation utilisés en fonction de la qualité du signal.

Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Chacune de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que [21] :

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

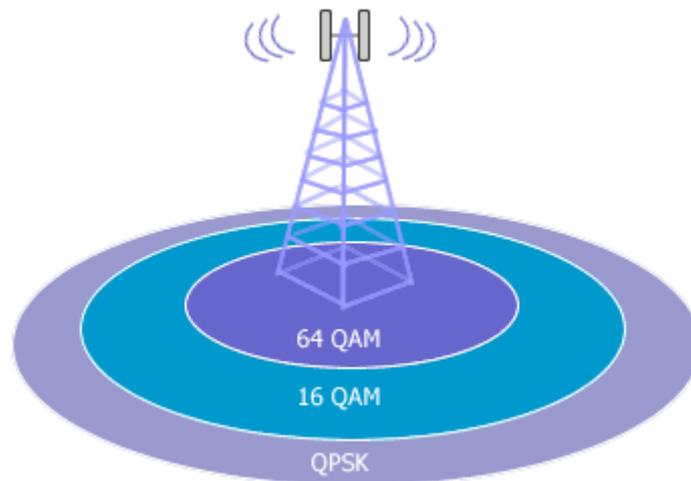


Figure I.9 la technique de la modulation adaptative

I.8.2.1 QAM

Dans les transmissions numériques, le rôle d'un modulateur est de former d'abord des groupes de N bits en un signal appelé symbole. Le type (amplitude, phase, fréquence) et l'indice de modulation (4, 16, 64 ...) détermineront le nombre M de symboles différents pouvant être transmis. Le nombre de symboles (alphabet) détermine alors combien de bits sont codés par symbole selon la relation suivante : $N = \log_2(M)$, on parle donc de 16-QAM, 64-QAM selon le nombre de symboles M possibles [21].

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) est une forme de modulation de porteuse en changeant l'amplitude de la porteuse elle-même et l'onde en quadrature (déphasée de 90° avec la porteuse) en fonction des informations véhiculées par les deux signaux d'entrée. L'amplitude et la phase de la porteuse sont modifiées simultanément en fonction des informations à être transmis, le nombre de bits pouvant être transmis en même temps peut être augmenté pour obtenir un meilleur débit binaire ou diminué pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreurs sur les bits [22].

Le nombre de points de la constellation est indiqué avant le type de modulation QAM.



Figure I.10 constellation QAM a 16 et 64 états

I.8.2.2 QPSK

QPSK peut encoder deux bits par symbole, cette modulation utilise un diagramme de constellation à quatre points, équidistant autour du cercle. Avec quatre phases [22].

Le tableau suivant représente les différentes phases et signaux à transmettre pour la modulation QPSK.

Bits à transmettre	00	01	10	11
Phase	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
Signal transmis	$E \sin 2\pi ft$	$E \cos 2\pi ft$	$-E \sin 2\pi ft$	$-E \cos 2\pi ft$

Tableau I.2 les différentes phases et signaux à transmettre pour la modulation QPSK

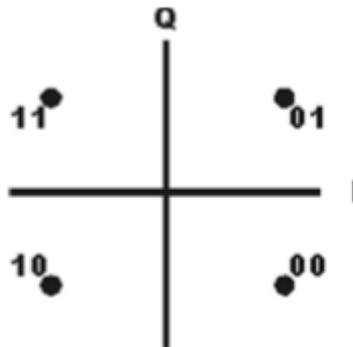


Figure I.11 constellation QPSK

I.8.3 Technique d'accès multiple

La modulation LTE est essentiellement basée sur l'utilisation de la technologie OFDM et des technologies d'accès associées : la technologie OFDMA est utilisée dans le sens descendant (DL), et la technologie SC-FDMA est utilisée dans le sens montant (UL).

I.8.3.1 OFDM

Le système OFDM divise la BP en plusieurs sous-porteuses étroites et transmet les données dans des flux orthogonaux parallèles les uns aux autres, de sorte qu'elles soient très proches les unes des autres (espacement des sous-porteuses de 15 kHz) pour éviter les interférences mutuelles, ce qui signifie que lors de la transmission de symboles. Un intervalle de garde est ajouté après chaque symbole pour contrebalancer les effets multi-trajets, le produit scalaire entre chaque sous-porteuse est égale à 0.

Les données passent dans un buffer, ce qui permet de les convertir de série en parallèle. Ils sont ensuite convertis dans le domaine temporel à l'aide de la transformation de Fourier inverse discrète (IDFT) ou rapide (IFFT). IDFT (ou IFFT) effectuée cette transformation tout en conservant l'orthogonalité entre les différentes sous-porteuses. Cette étape est appelée modulation OFDM [23].

I.8.3.2 OFDMA

OFDMA est une dérivée du codage OFDM, mais contrairement à ce dernier, l'OFDMA est optimisé pour les accès multiples, ce codage permet un facteur de réutilisation de fréquence de "1", c'est-à-dire que les cellules radio adjacentes peuvent réutiliser utilisent les mêmes fréquences radio, il est réparti sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique que nous voulons transmettre, ce qui permet, pour le même débit global, d'avoir un débit

binaires plus faibles sur chaque canal et donc un temps de transmission plus long pour chaque symbole ($66,7 \mu\text{s}$, correspondant à une fréquence de 15 kHz); cela réduit les interférences entre symboles et les problèmes d'évanouissement associés aux <trajets de propagation multiples> qui existent sur les liaisons radio à moyenne et longue portée.

L'OFDMA peut déterminer le nombre de sous-porteuses allouées à l'UE en fonction de ses besoins en débit. Par exemple, un appel vocal allouera moins de sous-porteuses qu'un gros téléchargement.

Pour préserver l'orthogonalité et les caractéristiques sinusoïdales des signaux sur le canal à trajets multiples et pour éviter les interférences entre symboles, un préfixe cyclique (CP) est utilisé dans la transmission OFDMA. En fait, le symbole OFDMA est étendu avec ce préfixe, qui doit être supérieur au plus grand des retards apparaissant dans le canal. Si le symbole de la transmission précédente est retardé en raison de la propagation par trajets multiples, il entrera en collision avec le CP du symbole actuel, et puisque la taille du CP est suffisante, le reste du symbole ne sera pas affecté par la collision où l'information est utile[24].

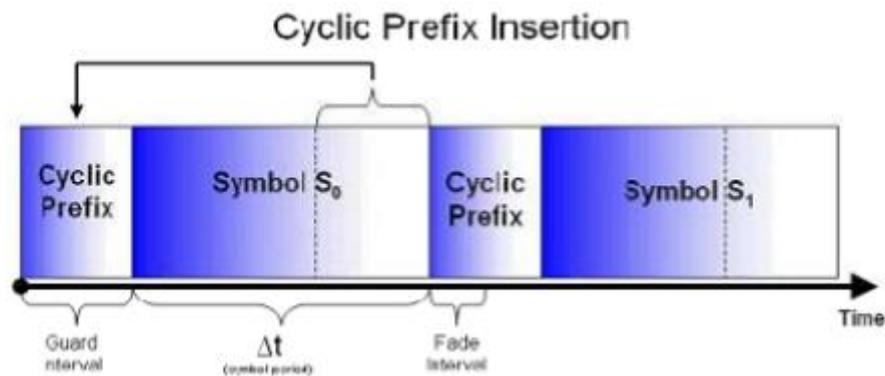


Figure I.12 le préfixe cyclique (CP)

La figure suivante décrit l'utilisation des sous porteuses en LTE : celles en noir, en vert et bleu (les plus nombreuses) transportent les données des utilisateurs, celles en rouge, les informations de synchronisation et de signalisation entre les 2 extrémités de la liaison radio [24].

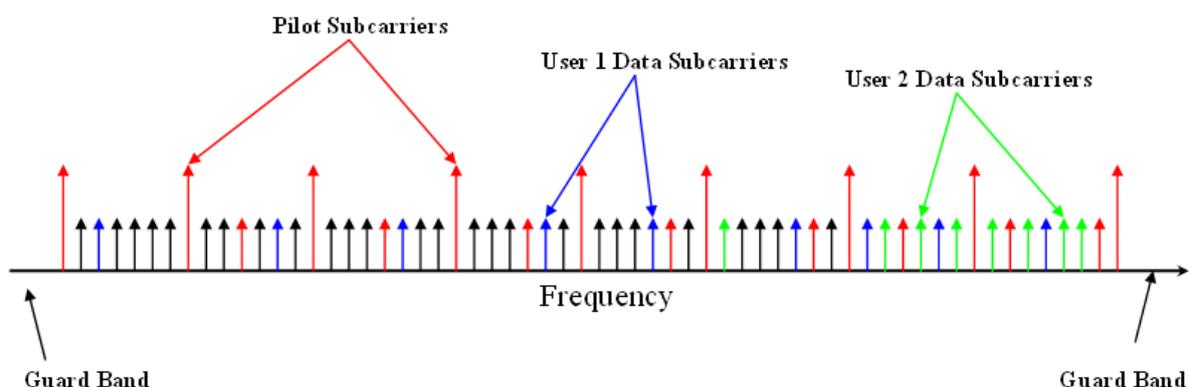


Figure I.13 l'utilisation des sous porteuses en LTE

La transmission de données numériques se produit en parallèle via un ensemble de sous-porteuses, et chaque sous-porteuse transporte une partie des données. L'organisation de ces sous-porteuses est définie comme suit : bloc de ressource (RB), élément de ressource (RE).

Chaque bloc de ressources se compose de 12 sous-porteuses qui ont des fréquences orthogonales consécutives, évitant ainsi les bandes de garde entre les sous-porteuses. Ils ont une largeur de 15 kHz et 7 symboles temporels d'une durée totale de 0,5 ms. Un nombre variable de blocs de ressources peut être attribué chaque seconde au même terminal mobile en fonction du débit requis et des ressources radio disponibles.

Chaque RE correspond un symbole OFDMA qui sera encodé en utilisant la sous-porteuse correspondante. Un RB est donc composé de 12×7 [15].

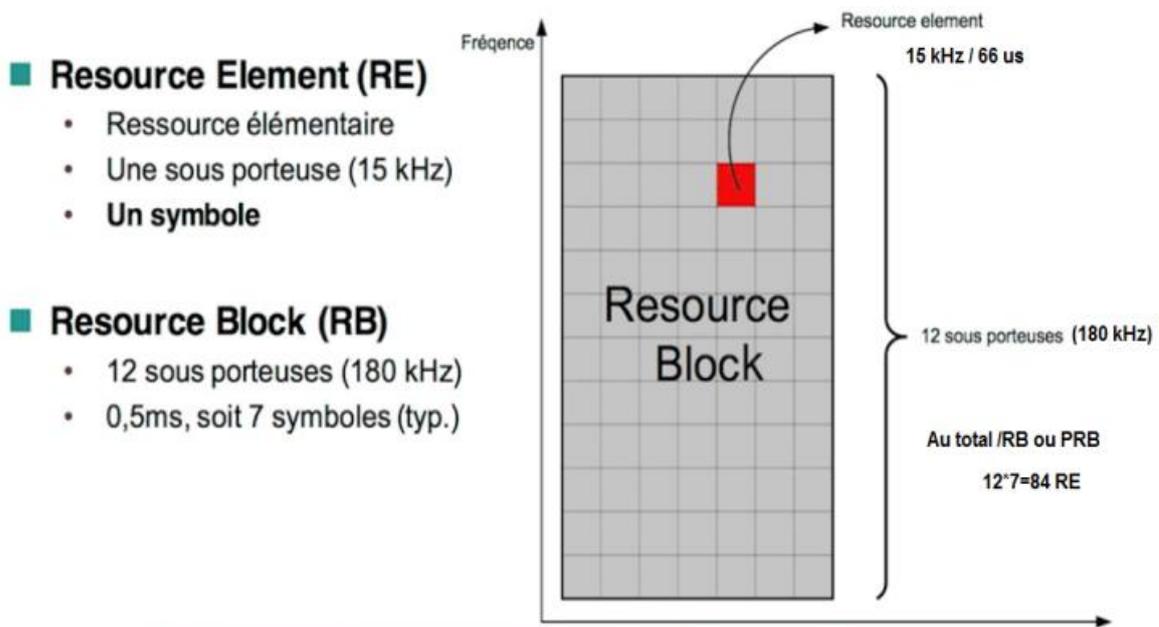


Figure I.14 Bloc de ressources

I.8.3.3 SF FDMA

SF FDMA est une technologie de codage radio à accès multiple par répartition en fréquence adoptée à la place de l'OFDMA pour une liaison montante d'un système LTE. Le principe de base de SC-FDMA est identique à l'OFDMA sauf que la DFT est utilisée avant la modulation OFDM, ce qui permet l'étalement de symboles de données sur un ensemble de sous-porteuses porteuses d'informations et permet ainsi de réaliser une structure avec une seule porteuse, ce codage permet de réduire la consommation l'électricité à travers le terminal et contribue donc à augmenter l'autonomie de sa batterie.

La principale différence entre les deux techniques est que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique à porteuse unique [25].

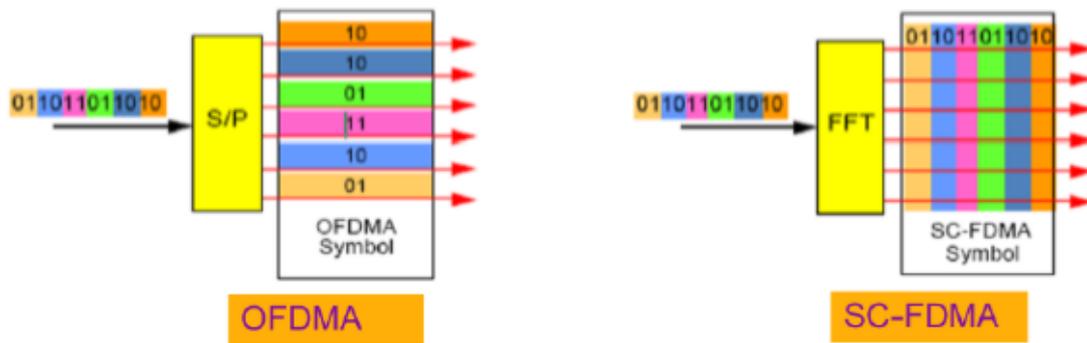


Figure I.15 La différence OFDMA et SC-FDMA

Dans SC-FDMA les RB attribués dynamiquement aux appareils mobiles doivent avoir des fréquences adjacentes (consécutives). En revanche, dans l'OFDMA, les RB utilisé par le terminal peuvent avoir différentes fréquences non adjacentes, étalées sur une bande de 20 MHz (maximum) [25].

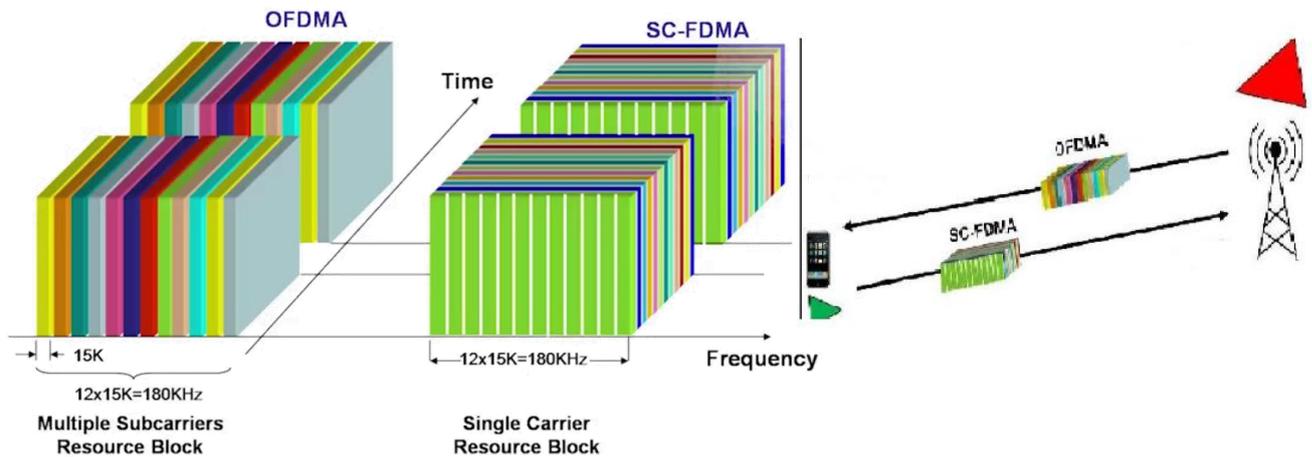


Figure I.16 La différence OFDMA et SC-FDMA

I.8.4 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MIMO est une technique basée sur la diversité spatiale dans la transmission sans fil pour éviter les trajets multiples. La mise en œuvre d'une telle structure permet au système d'atteindre des débits de transmission de données élevés sans changer sa puissance d'émission ou la bande passante allouée au signal. Plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et l'évanouissement indépendant améliore la transmission, il améliore également le rapport signal sur bruit et donc le taux d'erreur binaire [26].

Les systèmes MIMO utilisent 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.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) est basé sur l'utilisation de plusieurs antennes côté émetteur et côté récepteur. Lorsqu'un tel système comprend plusieurs antennes de réception et une antenne d'émission, il est appelé MISO (Multiple Input Single Output). De même, lorsqu'il comprend qu'une seule antenne d'émission et plusieurs antennes de réception, il est appelé SIMO (Single Input Multiple Output). Enfin, si les deux côtés ont une antenne, le système est dit SISO (une entrée, une sortie). La mise en œuvre d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des vitesses élevées et un débit élevé [26].

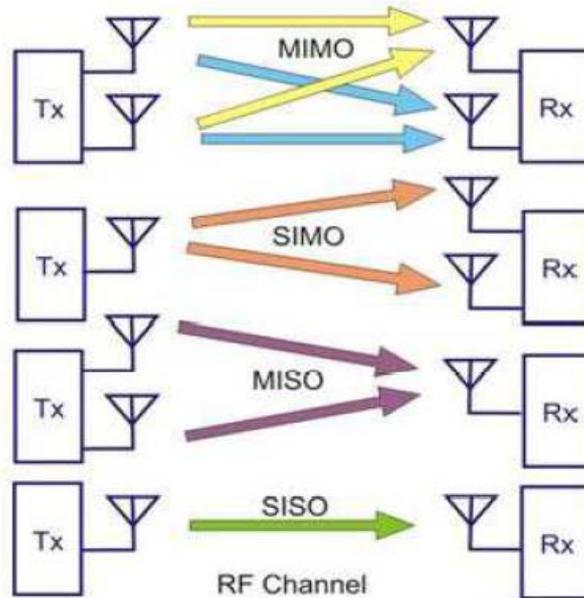


Figure I.17 Schéma représentatifs des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO

I.9 Les canaux radio

Le système LTE utilise le concept de canal pour identifier le type de données transmises sur l'interface radio, les paramètres physiques liés à la transmission et les caractéristiques de qualité de service associées. 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 transmettre des données à la couche N. Ces données doivent être traitées selon les caractéristiques spécifiques du canal. Dans le but d'être flexible et permettre différents schémas pour la transmission de données, les spécifications de l'E-UTRAN ont introduit plusieurs types de canaux [27].

I.9.1 Les canaux logiques

Ils opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis en fonction du type d'informations qu'ils transportent (comme la signalisation du plan de contrôle ou les données du plan utilisateur). Les canaux logiques sont associés à un ou plusieurs flux de données ou de signalisation avec des caractéristiques communes, et les canaux logiques sont divisés en canaux de trafic qui transmettent uniquement les données du plan utilisateur et des canaux de contrôle qui transmettent uniquement les informations du plan de contrôle [27].

- **Les canaux logiques de contrôles**
 - **BCCH** : est un canal Downlink, utilisé par le réseau pour le Broadcast des informations système de l'EUTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio.
 - **PCCH** : est un canal Downlink qui transfère les informations de paging aux terminaux dans une cellule.
 - **CCCH** : ce canal est utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication entre le terminal et l'E-UTRAN.
 - **MCCH** : est utilisé pour la transmission des informations du réseau à plusieurs terminaux.
 - **DCCH** : est un canal point-à-point bidirectionnel qui supporte les informations de contrôle entre un terminal donné et le réseau.
- **Les canaux logiques de trafic**
 - **DTCH** : est un canal bidirectionnel. Il peut supporter la transmission des données utilisateurs tel que la signalisation.
 - **MTCH** : est un canal de données point-à-multipoint pour la transmission de trafic de données du réseau à un ou plusieurs terminaux.

I.9.2 Les canaux de transport

Ils opèrent entre la couche MAC et la couche physique, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, la protection CRC utilisée, le type de codage de canal et la taille du paquet de données envoyé sur l'interface radio [27].

Les canaux de transports sont classifiés en deux catégories [27] :

- **Les canaux de transport E-UTRAN en Downlink**
 - **BCH** : est associé au canal logique BCCH.
 - **DL-SCH** : utilisé pour transporter le contrôle d'utilisateur ou le trafic data.
 - **MCH** : utilisé pour le contrôle des informations de transport.
- **Les canaux de transport E-UTRAN en Uplink**
 - **UL-SCH** : c'est l'équivalent du DL-SCH en Uplink.
 - **RACH** : un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication ou dans le cas du changement d'état.

I.9.3 Les canaux physiques

Utilisés par la couche physique, ils sont définis par les propriétés physiques de leur transmission, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ou logique car ils ne transportent que des informations liées à la couche physique.

Le canal physique correspond à l'ensemble des éléments de ressources temps-fréquence dans la sous-trame, est associé à certaines propriétés physiques telles que la séquence de chiffrement, les schémas de codage et de modulation, les schémas MIMO (voie descendante uniquement) [27].

➤ **Les canaux physiques en Downlink**

- **PDSCH** : transporte les données usager et la signalisation des couches hautes.
- **PDCCH** : transporte les assignations d'ordonnancement pour le lien montant.
- **PMCH** : transporte l'information Multicast/Broadcast.
- **PBCH** : transporte les informations système.
- **PCFICH** : informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH.

➤ **Les canaux physiques en Uplink**

- **PUSCH** : transporte les données utilisateur et la signalisation des couches hautes.
- **PUCCH** : transporte les informations de contrôle nécessaires à l'ARQ (acquittements) et à l'allocation de ressources
- **PRACH** : transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux.

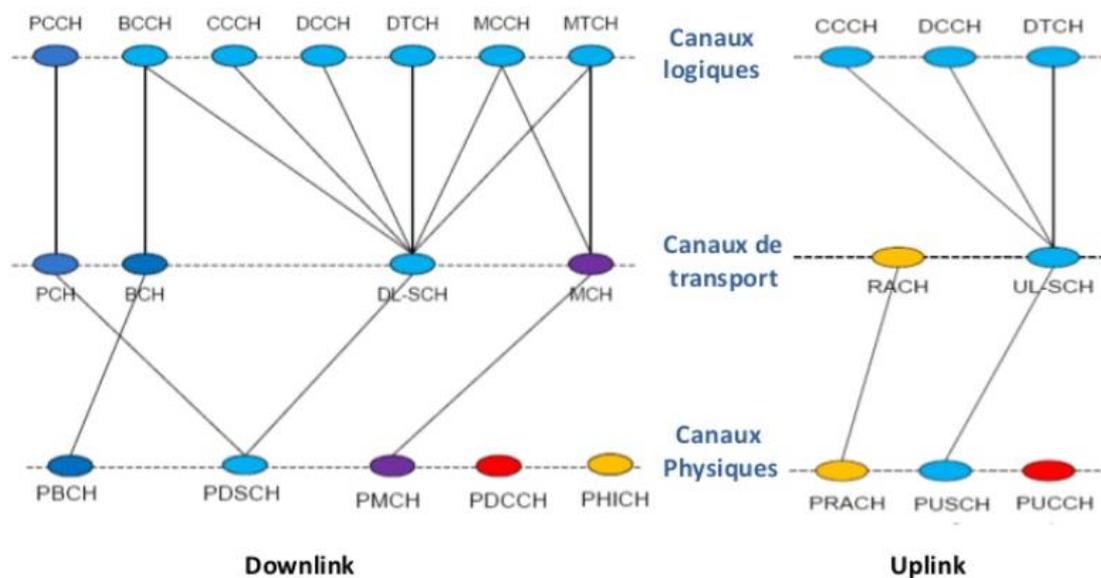


Figure I.18 Association entre canaux logiques, de transport et physiques en voix montante et descendante

I.10 Architecture protocolaire du réseau LTE

I.10.1 La couche physique

La couche physique réalise les fonctions suivantes :

- Le codage de canal, qui protège l'information contre les erreurs de transmission, en introduisant de la redondance dans la séquence de bits transmis.
- La modulation, qui associe les bits à transmettre à des symboles de modulation.
- Les traitements spatiaux (dits MIMO), qui pré-code les symboles de modulation afin de les transmettre de plusieurs antennes.
- Modulation multi-porteuse qui lie le signal à transmettre sur chaque antenne à la multi-porteuse selon les règles OFDMA de liaison descendante et de liaison montante

SC-FDMA. L'opération inverse est effectuée par la couche physique réceptrice et le traitement des interférences (telles que l'égalisation) et certaines fonctions de la couche MAC.

- Les mesures radio, pour estimer le canal de transmission, les niveaux de puissance reçus d'une autre cellule ou d'un autre système radio, ou encore la qualité du signal de la cellule servante.
- La signalisation d'informations de contrôle entre eNodeB et UE [28].

I.10.2 La couche 2

La couche 2 est constituée de trois sous-couches :

- PDCP (Packet Data Compression Protocol).
- RLC (Radio Link Control).
- MAC (Medium Access Control) [28].

I.10.2.1 la sous-couche MAC

Dans la couche MAC, après avoir reçu une confirmation HARQ négative, la méthode de retransmission HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) sera utilisée pour fournir des résultats de mesure de l'état du trafic et de correction d'erreur, il fournit également un service de planification qui gère la fonction d'allocation dynamique des ressources aux utilisateurs.

La couche MAC utilise les services fournis par la couche physique sous forme de canaux de transport [28].

I.10.2.2 la sous-couche RLC

Au niveau du protocole RLC, la fiabilité est gérée en fonction du service demandé, elle crée et transmet des paquets de données entre l'eNodeB et l'UE.

La sous-couche RLC fournit trois modes de transmission, chacun étant adapté aux exigences de qualité de service de diverses applications [28] :

- a. Le mode AM (Acknowledged Mode)** qui nécessite un acquittement. Ce mode de transmission est utile pour les applications tolérantes au délai, tels les téléchargements de fichiers.
- b. Le mode UM (Unacknowledged Mode)** qui ne nécessite pas d'acquiescement et qui convient aux applications à temps réelles, comme le streaming vidéo ou le VoIP.
- c. Le mode TM (Transparent Mode)**

La couche RLC utilise les services de la couche MAC sous forme de canaux logiques.

I.10.2.3 la couche PDCP

La couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol) est utilisée à la fois pour la transmission des données utilisateur et la transmission de signalisation. Elle intègre des procédures de chiffrement et de déchiffrement, ainsi que le mécanisme ROHC (ROBust Header Compression), qui permet la compression et la décompression d'en-tête.

I.10.3 La couche RRC

Le but du protocole RRC est de transmettre des informations de signalisation entre l'UE et la station de base. Les principales fonctions du protocole RRC comprennent les fonctions de lancement et de libération d'appel, le support radio à établir, les informations du système de diffusion, la reconfiguration et la libération, et la mise en œuvre de stratégies de gestion des ressources radio.

RRC est responsable de la configuration et du contrôle des couches de niveau 1 (PHY) et 2 (MAC, RLC et PDCP) [28].

I.10.4 La couche NAS

Le NAS a pour rôle de permettre [28] :

- L'enregistrement de l'UE au réseau
- L'authentification de l'UE
- La mise à jour de la localisation
- La gestion des appels.

I.11 Le Handover dans LTE

Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée, eNodeB prend des décisions de Handover de manière autonome sans impliquer les éléments suivants : MME et S-GW. Les informations nécessaires au transfert intercellulaire sont échangées entre les eNodeB via une interface appelée X2. Une fois que la nouvelle connexion est allouée entre l'UE et le nouvel eNodeB, le MME et le S-GW recevront une notification avec un message de Handover. Une fois que la passerelle a reçu le message, les Gateways effectuent le chemin de commutation.

I.12 Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a étudié le réseau de la quatrième génération LTE pour avoir une idée primordiale sur son fonctionnement, les différents éléments qui le composent. Pour cela, on a abordé en premier lieu, l'architecture générale du réseau LTE, les spécifications ainsi que les fonctionnalités de chaque bloque, puis les caractéristiques générales de cette génération du réseau cellulaire d'autant plus que nous avons défini les principales techniques utilisées dans les interfaces aériennes du réseau LTE.

Chapitre II

Modèles de propagation et couverture de la 4G

II.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 emplacements requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier, et de l'estimation de la portée et de la capacité. Le but d'un réseau cellulaire est de fournir au public des services vocaux et de données et de communiquer n'importe où (dans la zone de couverture) et à tout moment. Une fois la communication établie, elle doit pouvoir continuer avec un niveau de qualité satisfaisant, même si l'utilisateur est en déplacement.

Dans notre chapitre nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : couverture et capacité.

II.2 Processus de Dimensionnement

La première étape de la mise en place du réseau LTE est le dimensionnement qui est donc la phase initiale de planification du réseau. Il fournit une première estimation du nombre d'éléments nécessaires au réseau ainsi que leurs capacités. L'outil de dimensionnement doit pouvoir fournir des résultats avec un excellent niveau de précision, lorsqu'il est paramétré avec toutes les données nécessaires. Le processus de dimensionnement est directement lié à la qualité et l'efficacité du réseau qui en cas de mal conception peut affecter profondément son développement. Le dimensionnement des eNodeB est donc la partie la plus délicate [29].

Il s'agit de trouver la meilleure architecture cellulaire au regard de plusieurs critères que l'on peut résumer comme suit [30] :

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

Le dimensionnement se fait sur deux plans : le plan capacité et le plan couverture. En fait, l'analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception du réseau LTE [31]. Le processus entier peut se résumer en 4 grandes phases :

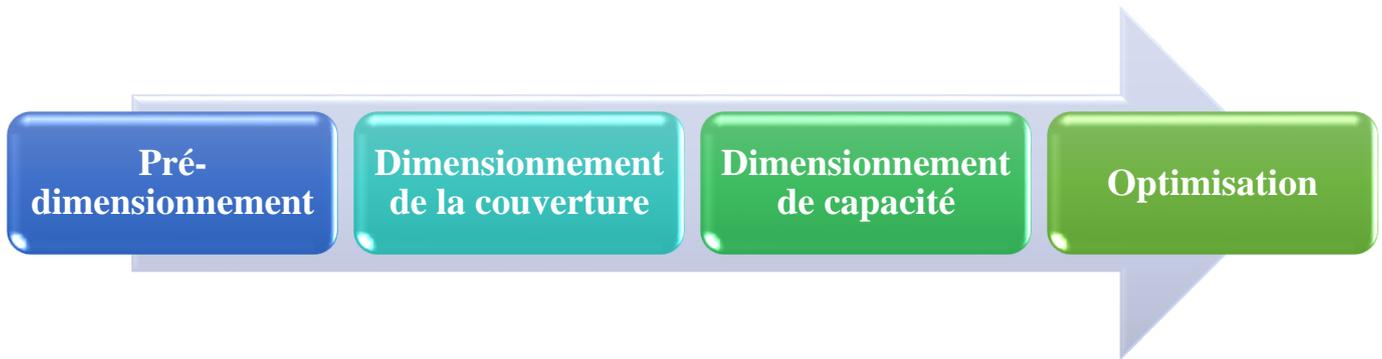


Figure II.1 Processus de planification

II.2.1 Pré-dimensionnement

La phase de pré-planification est la phase préparatoire avant que la planification réelle du réseau puisse commencer. Des informations sur la zone de déploiement doivent être collectées. On donne comme exemple [32] :

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

II.2.2 Dimensionnement de couverture

Le dimensionnement de la couverture d'un réseau consiste à déterminer le nombre des sites nécessaire pour couvrir une zone donnée. On va se baser sur le bilan de liaisons (RLB: Radio Link Budget), qui permet d'estimer le taux perte du trajet (Path Loss). Pour cela, un modèle de propagation approprié doit être sélectionné. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites nécessaire pour couvrir le domaine. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée et complétée par les besoins de capacité [33].

II.2.3 Dimensionnement de capacité

La vérification de la taille des cellules et le nombre des sites obtenus par l'analyse de couverture, sera effectuée par la capacité. On va vérifier si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés [32].

II.2.4 Optimisation

L'Optimisation du réseau est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et de maintenir les exigences de QoS préétablis. Elle consiste à comparer les résultats du dimensionnement (en couverture et en capacité) et d'en retenir que ceux avec le plus grand nombre de sites [33].

II.3 Dimensionnement de couverture

Le dimensionnement de la couverture d'un réseau consiste à déterminer le nombre des sites nécessaire pour couvrir une zone donnée, il possède des limites comme les perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de couverture apparaît 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. On va se baser sur le bilan de liaisons (RLB : Radio Link Budget), qui permet d'estimer le taux perte du trajet (Path Loss). Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié [32].

II.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture

➤ **Exigence de qualité :**

L'exigence de qualité de couverture est d'atteindre le débit binaire demandé avec une certaine probabilité [32].

➤ **Dimensionnement de liaison montante :**

Dans cette partie, nous chercherons à déterminer le rayon à partir du débit binaire au bord de la cellule [32].

➤ **Dimensionnement de liaison descendante :**

Son calcul est basé sur la distance site à site obtenue par le procédé de dimensionnement de liaison montante. Si les conditions ne sont pas remplies en liaison descendante, la distance de site à site doit absolument être réduite jusqu'à ce que les exigences soient remplies autrement le planificateur peut passer à la planification [32].

➤ **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 [32].

II.3.2 Evaluation des paramètres de la liaison

Nous devons estimer la distance maximale entre un émetteur et un récepteur tout en répondant aux exigences des performances dans les conditions de propagation. En premier lieu nous devons déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable PathLoss MAPL), en passant par le bilan de liaison radio (RLB) [33].

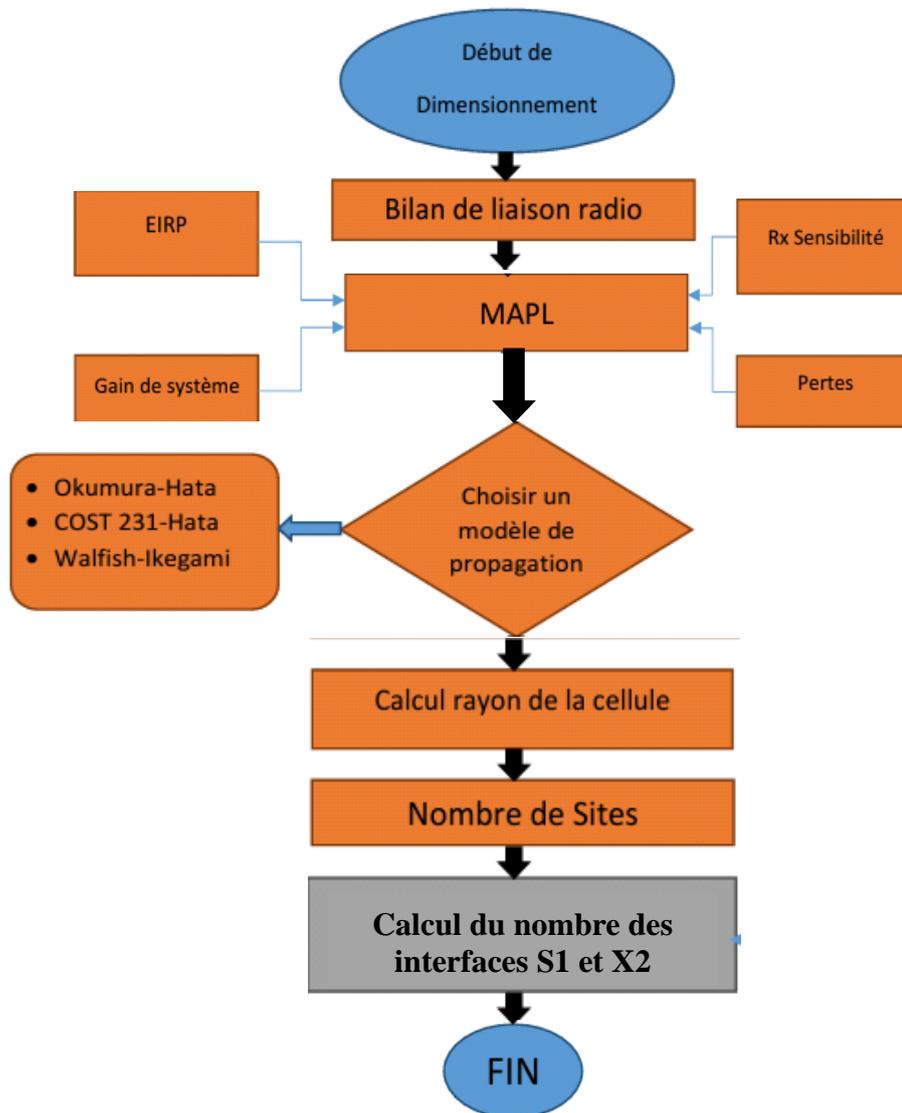


Figure II.2 Algorithme de dimensionnement de couverture

Nous allons suivre le calcul suivant :

II.3.2.1 Le bilan de liaison RLB

Le bilan de liaison radio donne la perte de trajet maximale autorisée à partir de laquelle la taille des cellules est calculée en se basant sur la fréquence de fonctionnement, le modèle de propagation et les paramètres de l'émetteur (Tx) et du récepteur. Ce bilan est nécessaire pour savoir si deux nœuds peuvent communiquer entre eux.

Le RLB prend en compte : des puissances d'émission, des gains, des pertes d'antenne, des gains de diversité et des marges d'interférence. Pour le réseau LTE, l'équation RLB de base (en dB) est calculée comme suit [33]

$$\text{PathLoss} = \text{Txp} + \text{Txg} - \text{TxLosses} - \text{RequiredSINR} + \text{RXGains} - \text{RxLosses} - \text{RxNoise} \quad (\text{II.1})$$

- **PathLoss** : perte de trajet totale rencontré par le signal provenant de l'émetteur au récepteur (dB).

- **T_{xp}** : La puissance transmise par l'antenne de l'émetteur (dBm).
- **T_{xg}** : Gain d'antenne d'émission (dBi).
- **T_x Losses** : les pertes de l'émetteur (dB).
- **Required SINR** : Minimum de SINR requis (dB).
- **R_x Gains** : Gain d'antenne de réception (dB).
- **R_x Losses** : Les pertes du récepteur (dB).
- **R_x Noise** : Bruit du récepteur (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. L'équation peut ainsi être reformulée :

$$\text{MAPL} = \text{Pire} - \text{IM} + \text{RXg} - \text{K} + \text{SHG} - \text{RX} \quad (\text{II.2})$$

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.
- **IM** = Marge d'interférence.
- **RXg** = Gain d'antenne de réception.
- **K** = Perte de câble.
- **SHG** = Gain de soft handover.
- **RX** = Sensibilité de réception.

II.3.2.1.1 Paramètres du bilan de liaison

a. Puissance d'émission :

La puissance d'émission est la puissance maximale de la station de base (eNodeB) ayant une valeur typique pour la macro-cellule 43-46 dBm au niveau du connecteur d'antenne. La puissance de transmission maximale de 23 dBm pour le UE [33].

b. Gain d'antenne :

Le gain d'antenne est défini comme étant la puissance rayonnée par l'antenne, dans une direction donnée, par rapport à la puissance rayonnée par une antenne omnidirectionnelle parfaite qui rayonne uniformément dans toutes les directions. Il est exprimé en dBi [33].

La relation entre gain et la surface effective de l'antenne est donnée par :

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

A : Aire équivalente de l'antenne.

λ : Longueur de l'onde rayonnée.

L'antenne isotrope de référence a un gain $G=1$ et donc une aire équivalente $A = \lambda^2/4\pi$. Il dépend principalement de la fréquence porteuse, de la taille de l'antenne et du type du dispositif. Le gain d'antenne de station de base typique est de 15 à 18 dBi. De même, selon le type de l'appareil, le gain de l'antenne du mobile varie de -5 dBi à 10 dBi [44].

c. PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) :

La puissance rayonnée par une antenne est appelée Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE). Elle correspond à la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour obtenir le même champ à la même direction. La PIRE est donnée en dBm par la formule suivante [44] :

$$\text{PIRE} = P + G + L_r \quad (\text{II.3})$$

Avec :

P : la puissance fournie à l'entrée de l'antenne.

G : le gain de l'antenne étudiée.

L_r : une perte supplémentaire dans la direction considérée.

d. Sensibilité du récepteur :

Un récepteur est caractérisé par sa sensibilité. La sensibilité « S » est le niveau de puissance minimal de réception pour éviter la coupure du lien radio. Elle est donnée par la formule suivante [43] :

$$S = 10 \log_{10} (K \cdot T \cdot B_{RX}) + \text{SINR}_{\text{requis}} + \text{NF} + \text{IM} - G_{\text{Rx,d}} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

K : Constante de Boltzmann ($1,388062 \times 10^{-23}$).

T : Température ambiante en (k).

B_{RX}: Largeur de bande de réception, elle dépend du nombre de blocs ressources requis et la largeur d'un bloc de ressources.

SINR_{requis} : Valeur du SINR requise au récepteur, c'est un indicateur de la performance du système plus il est faible plus le système est performant, dépend du nombre de blocs de ressources, débit d'information requis.

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

IM : Marge d'implémentation (dB) : dépend du constructeur, elle tient compte des erreurs d'échantillonnage et de quantification.

$G_{R_x,d}$: Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du type de récepteur et du nombre d'antennes.

II.3.2.2 Modèle de Propagation

Le modèle de propagation peut estimer la valeur de l'atténuation du trajet. Le choix du modèle de propagation est un compromis entre précision de prédiction et efficacité de calcul. Il est important de noter que le mode de transmission dépend du type de zones telles que les villes, les banlieues et les zones rurales [9].

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

a. Les Modèles empiriques :

Le développement de ces modèles est basé sur la collecte de données liées aux mesures et aux formules mathématiques pour prédire l'influence de l'émetteur et l'atténuation moyenne dans une zone de réception spécifique. L'avantage du modèle empirique est qu'il est simple et dépend rarement des caractéristiques du site. C'est pourquoi ils sont couramment utilisés dans les communications cellulaires pour estimer initialement la perte de propagation [9].

b. Les modèles déterministes ou physiques :

Les résultats donnés par les modèles déterministes sont beaucoup plus précis, mais nécessitent beaucoup d'informations sur le champ d'application. De plus, ils nécessitent beaucoup de temps de calcul. Ils sont généralement réservés à des endroits spécifiques où d'autres modèles ne peuvent pas être utilisés. Ces modèles permettent de prendre en compte les phénomènes de réflexion et de diffraction, de prédire la propagation des ondes radio et de calculer le trajet des ondes radio [9].

Les opérateurs doivent donc acquérir ces bases de données. Les données de terrain proviennent en général des images satellites, Ces données coûtent relativement chères, qui dépend des facteurs suivants [9] :

- Les hauteurs des antennes d'émission et de réception.
- Distance parcourue par l'onde.
- Caractéristique et densité des bâtiments.
- Saison (hiver, printemps...)
- Type de terrain.
- Fréquence de l'onde.

II.3.2.2.1 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 [32].

L'affaiblissement de parcours dans un espace libre est donné par :

$$L_{FS} = 20 \text{Log}_{10} \left[\left(\frac{4\pi dF}{c} \right) \right] \quad (\text{II.5})$$

Avec d : la distance, f : la fréquence et c : la célérité de la lumière.

II.3.2.2 Le modèle Okumura-Hata :

C'est le modèle le plus couramment utilisé. Il prend en compte la fréquence, le rayonnement, la hauteur de la station de base et du mobile et la distance entre l'émetteur et le récepteur. La méthode considère également la nature de l'environnement en limitant le degré d'urbanisation (urbaine, périurbaine ou rurale) Le principe de base de cette méthode repose sur le calcul de l'atténuation de l'espace libre et l'ajout d'un facteur d'atténuation en fonction du degré d'urbanisation. Les conditions de validité du modèle sont résumées comme suit [34].

Le modèle Okumura-Hata a été adapté pour les limites suivantes :

- **Fréquence (f) :** 150 à 1000 MHz
- **Hauteur de la station de base (Hb) :** 10 à 200 m
- **Hauteur du terminal mobile (Hm) :** 1 à 10 m
- **Distance (d) :** 1 à 20 km

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

Urbain	$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b) \cdot \log_{10}(d)]$ <p>Avec</p> $a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7] \cdot h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$
Urbain dense	$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b) \cdot \log_{10}(d)]$ <p>Avec</p> $a(h_m) = 8.29[\log_{10}(1.54h_m)]^2 - 1.1, \text{ pour } F \leq 300 \text{ MHz}$ $a(h_m) = 3.2[\log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97, \text{ pour } F \geq 300 \text{ MHz}$
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2[\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ <p>Où</p> $\alpha = 35.94, \text{ si la zone est rurale quasi-ouverte.}$ $\alpha = 40.94, \text{ si la zone est rurale ouverte.}$

Tableau II.1 Modèle OKUMURA-HATA

II.3.2.2.3 Modèle de COST 231-Hata :

Le modèle Okumura-Hata ne fonctionne que dans la gamme de fréquences inférieure à 1000 MHz. Le groupe COST 231 propose de modifier ce modèle pour créer un autre modèle fonctionnant sur la bande de fréquences 1500-2000 MHz en milieu urbain, puis de l'ajuster pour tous les autres environnements (sous-urbain, urbain dense et rural) ajouter un terme de correction

L'équation d'affaiblissement de trajectoire pour le modèle Hata-COST 231 est formulée comme suit [36].

Urbain	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m)$ $+ (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + 3$ <p>Avec</p> $a(h_m) = 3.2 \log_{10}(11.75 h_m)^2 - 4.97$
Sous urbain et Rural	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m)$ $+ (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d)$ <p>Avec</p> $a(h_m) = (1.1 \log_{10}(F) - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10}(F) - 0.8)$

Tableau II.2 Modèle de COST 231-Hata

Avec :

F : Désigne la fréquence en MHz.

H_b : Désigne la hauteur de la station de base en mètre.

H_m : Désigne la hauteur du terminal mobile en mètre.

D : Désigne la distance en Km.

A(h_m) : Facteur de correction pour la hauteur de l'antenne du récepteur.

II.3.2.2.4 Le modèle Walfish-Ikegami :

On utilise ce modèle pour les environnements urbains et sous-urbains. Généralement, il est conçu pour des fréquences inférieures à 2 GHz, 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.

L'expression du Path Loss peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaires comme suit [32] :

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd} \quad (II.6)$$

Avec :

<p>L_0 : Propagation en espace libre.</p>	<p>$L_0 = 32.4 + 20 \log_{10}(d.F)$ d: distance en Km F: Fréquence en MHz</p>
<p>L_{rst} : perte de diffraction du toit vers la rue.</p>	<p>$L_{rst} = -16.9 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(F) + 20 \log_{10}(h_{roof} - h_m) + Lori$ h_{roof}: hauteur des bâtiments. F: fréquence en MHz. h_m: hauteur du mobile. w: largeur de la rue en mètre. Lori : facteur de correction prenant en compte l'orientation de la rue. $Lori = -10 + 0.345\theta$ pour $0 \leq \theta < 35$ degré $Lori = 2.5 + 0.075(\theta - 35)$ pour $35 \leq \theta < 55$ degré $Lori = 4 - 0.11(\theta - 55)$ pour $55 \leq \theta \leq 90$ degré Avec θ est l'angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue.</p>
<p>L_{msd} : perte par diffraction multimarques.</p>	<p>$L_{msd} = L_{bsh} + Ka + Kd \log_{10}(d) + Kf \log_{10}(F) - 9 \log_{10}(b)$ Avec : b : séparation entre bâtiments en m. Ka : 54 Kd : 18 Kf: $-4 + 0.7(F/(925 - 1))$, pour les cités moyennes et centres sous urbains, avec densité d'arbre modéré. Kf: $-4 + 1.5(F/(925 - 1))$, pour les centres métropolitains. $L_{bsh} = -18 \log_{10}(1 + (h_b - h_{roof}))$ si $h_b < h_{roof}$ Sinon $L_{bsh} = 0$ Avec : h_b: hauteur de station de base. h_{roof}: hauteur des bâtiments</p>

Tableau II.3 Le modèle Walfish-Ikegami

II.3.2.2.5 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 [37].

$$L = 20 \text{Log}_{10}(4\pi \cdot d_0 / \lambda) + 10 y \text{Log}_{10}(d / d_0) + s + X_f + X_h \quad (\text{II.7})$$

Avec :

d_0 : 100 mètres, d : distance en mètres.

$$y = a - (b \cdot hb) + c / hb \quad (\text{II.8})$$

Avec :

Hb : la hauteur de la station de base entre 10 et 80m.

$X_f = 6 \text{Log}_{10}(f / 2000)$

$X_h = -10.5 \text{Log}_{10}(hm / 2)$ pour les terrains de type A et B.

$X_h = -20 \text{Log}_{10}(hm / 2)$ pour les terrains de type C.

L'effet de masque est donné par le paramètre s , qui suit une distribution logarithmique. La valeur typique de l'écart type de « s » est entre 8,2 et 10,6 dépendant du type de terrain et de la densité des arbres.

a , b , et c sont des constantes dépendant de la catégorie de terrain, dont les valeurs sont données dans le tableau [37] :

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

Tableau II.4 type de terrain

II.3.2.3 Calcul de la couverture pour les Uplink

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes :

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

II.3.2.3.1 Débit requis

On commence par définir l'exigence de qualité qui est exprimée comme un débit binaire déterminé qui peut être fourni à un utilisateur sur les bordures de la cellule. Le débit binaire requis dépend du service pour lequel le système est dimensionné. Tous les calculs sont effectués par bloc de ressources.

Le débit binaire requis R_{req} est divisé par le nombre de blocs de ressources n_{RB} pour obtenir le débit binaire par nombre de bloc [38] :

$$R_{req, RB} = \frac{R_{req}}{n_{RB}} \quad (II.9)$$

Le nombre n_{RB} peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante

Bande passante MHz	Nombre de ressource de block
1.4	6
3	15
5	25
10	50
15	75
20	100

Tableau II.5 le nombre de blocs de ressources en fonction de la bande passante

I.3.2.3.2 SINR requis

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 [49].

$$SINR = \frac{S}{Low_n + Low_{th} + N} \quad (II.10)$$

S : le signal utile (dBm).

Low_n : interférences à l'intérieur de la cellule (on considère que ces interférences sont nulles à cause de l'orthogonalité des sous porteuse 'OFDMA') (dB).

Low_{th} : autres perturbations cellulaires (dB).

N : puissance de bruit (dBm).

II.3.2.3.3 Sensibilité eNodeB récepteur

La sensibilité des eNodeB est la puissance du signal nécessaire pour éviter les coupures radio [49].

$$S_{eNB} = N_t + N_f + 10\text{Log}(W_{RB}) + SiNR \quad (\text{II.11})$$

N_t : Densité de puissance de bruit thermique.

N_f: Le facteur de bruit est le rapport du signal d'entrée sur bruit pour déterminer les performances d'amplificateur, le Facteur de bruit de l'eNodeB récepteur est en [dB].

W_{RB} : Bande passante par bloc de ressources : 180 kHz.

SINR : Rapport signal sur interférence et bruit de l'Uplink.

II.3.2.3.4 Les marges de bruit

Les marges de bruit correspondent à l'environnement radio, plusieurs types de marges ont été reconnus ; on peut citer [38].

a. Marge de pénétration :

Perte de pénétration est l'atténuation du signal due à la pénétration aux bâtiments. Elle dépend du type de zone [38].

Environnement	Perte de pénétration dB
Dense urbaine	18-25
Urbaine	15-18
Suburbaine	10-12
Rurale	6-8

Tableau II.6 Marge de pénétration

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.

b. Perte de types de signal(Body)

C'est l'affaiblissement dû à l'absorption d'une partie de l'énergie transmise par le corps humain (seulement pour les services vocaux) [38].

Type de signal	Perte (dB)
VOIP	3
Donnés	0

Tableau II.7 Perte de types de signal

c. Marge de Shadowing :

C'est l'effet masque, les variations du signal sont dues au obstacle qui existe dans le milieu de propagation. 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 [38]:

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

Environnement	Probabilité de couverture				
	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 II.8 Marge de Shadowing

d. 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 [38].

e. 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 [38].

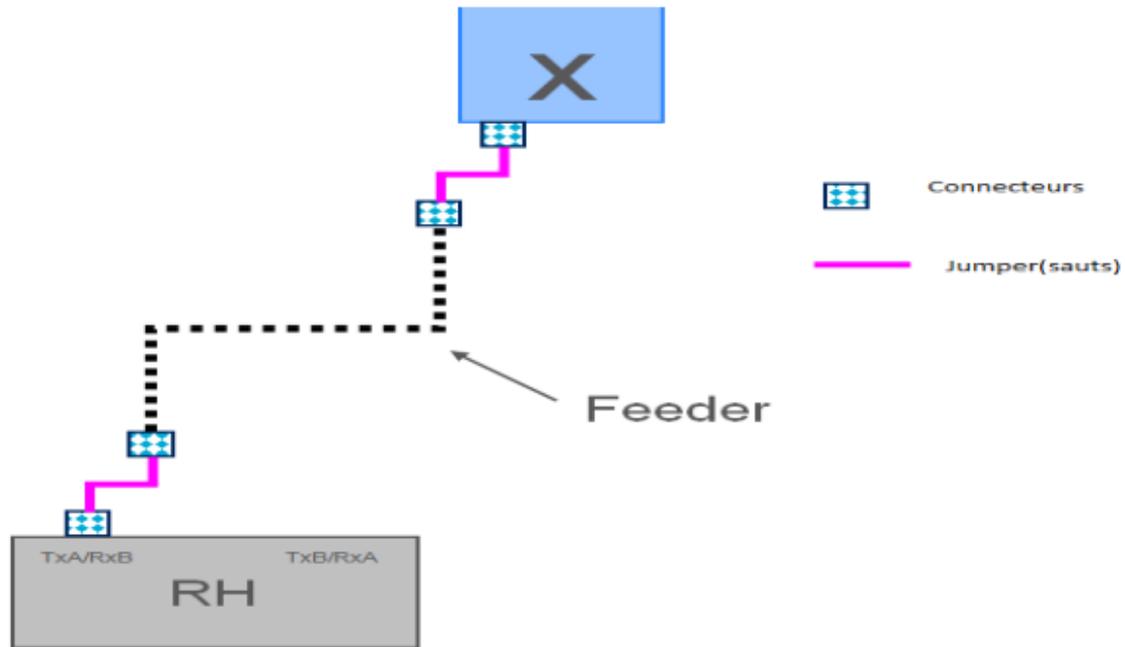


Figure II.3 Marge des lignes d'alimentation

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

$$\text{Length feeder} = \text{Base station height} + 5\text{m}$$

$$\text{Perte Feeder (dB)} = \text{Feeder loss}/100\text{m} \times \text{Feeder length}/100\text{m}$$

$$\text{Perte de Jumper} = 1/2 \text{ cm feeder} \times \text{nombre de cavaliers (jumpers)}$$

$$\text{Perte de connecteurs} = \text{nombre de connecteurs} \times 2 \times 0.1 \text{ dB}$$

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 II.9 Marge des lignes d'alimentation

f. 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 qui est due à la réutilisation de fréquence. Une marge d'interférence sera

alors introduite dans le bilan de liaison pour compenser l'augmentation du bruit et maintenir l'équilibre [38].

$$B_{iUL} = \frac{1}{1 - SINR_{trajet} * Q_{UL} * F} \quad (II.12)$$

Avec :

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

II.3.2.3.5 Equation bilan de liaison Uplink

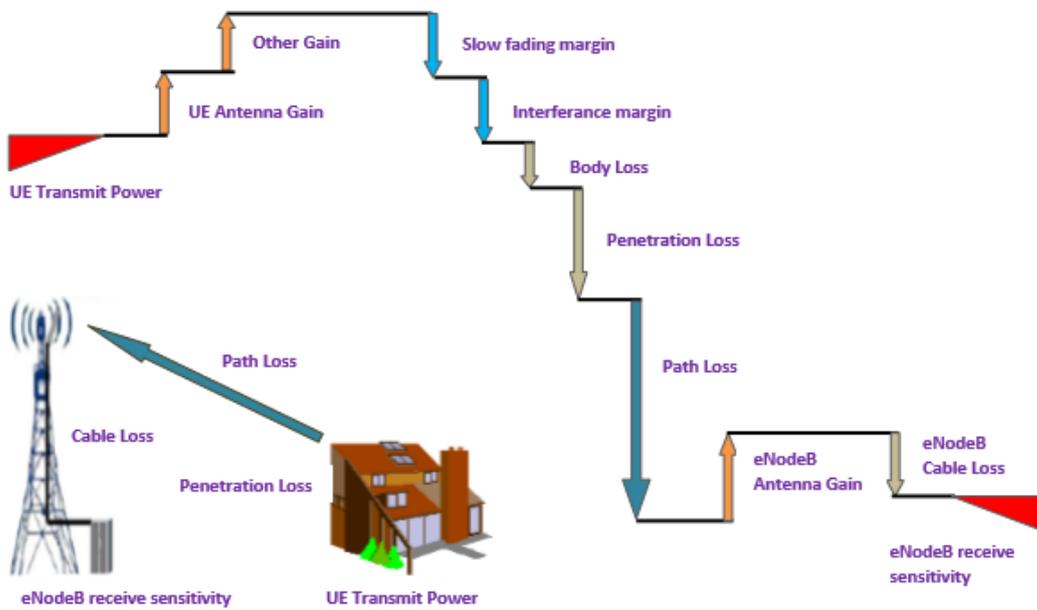


Figure II.4 bilan de liaison Uplink

Son équation est comme suit : [38]

$$L_{Pmax} = P_{UE,RB} - S_{eNB} - PERTES + Ga - Lj + TMAgain \quad (II.13)$$

Avec :

- L_{pmax} : Maximum perte de trajet autorisé pour la propagation dans l'air [dB]
- **Perte** : perte pénétration voiture (Lcl) + perte de pénétration du bâtiment(Lbp) + perte de corps (Lb) + BLNF+ BIUL
- $TMAgain = 2$ dB gains ou 5 dB pour MIMO.
- Perte pénétration voiture = 6dB.
- **BLNF** : log-normale marge d'évanouissement [dB].
- **Ga** : Somme des gains de l'antenne eNodeB, et gain d'antenne de l'équipement utilisateur [dBi].
- **Lj** : Jumper et connecteurs d'antenne [dB].

II.3.2.4 Calcul de la couverture pour les downlink

Le bilan de liaison pour les Downlink est calculée pour :

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

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes :

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

II.3.2.4.1 Pertes de trajet

L'affaiblissement du parcours maximum MA_{Pdl} est calculé à partir du MA_{Plu} pour les liens montants [38].

II.3.2.4.2 Débit binaire requis

On doit divisée R_{req} par n_{RB} pour obtenir le débit binaire requis [38].

II.3.2.4.3 Puissance par bloc de ressource

La puissance est partagée par tous les blocs de ressources, sa formule est la suivante [38] :

$$P_{Tx, RB} = \frac{P}{n_{RB}} \quad (II.14)$$

Avec :

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

II.3.2.4.4 Augmentation du bruit à la bordure de la cellule

Le bruit de liaison descendante B_{IDL} sur le bord de la cellule est nécessaire pour le bilan de liaison. Il se détermine par la formule suivante [38] :

$$B_{IDL} = 1 + \frac{P_{Tx, RB} * Q_{dl} * F_c}{N_{RB, dl} * LS_{Amax}} \quad (II.15)$$

Avec :

- Q_{DL} : Facteur de charge de la liaison descendante.
- F_c : Le ratio moyen entre les puissances reçues d'autres cellules.
- $N_{RB, DL}$: bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante. Défini par : $(N_t + N_f + 10\text{Log}(W_{rb}))$
- LS_{Amax} : atténuation du signal en liaison descendante.

LS_{Amax} est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale MA_{Plu} .

L'expression est la suivante [38]

$$LSA_{max} = L_{pmax} + BLFN + L_B + L_{CL} - L_{BP} - Ga + L_j \quad (II.16)$$

Avec

- **BLNF** : log-normale marge d'évanouissement [dB].
- **Ga** : Somme des gains de l'antenne eNodeB, et gain d'antenne de l'équipement utilisateur [dBi].
- **Lj**: Jumper et connecteurs d'antenne [dB].
- Perte pénétration voiture (Lcl)
- Perte de pénétration du bâtiment(Lbp)
- Perte de corps (Lb)

II.3.2.4.5 Equation bilan de liaison Downlink

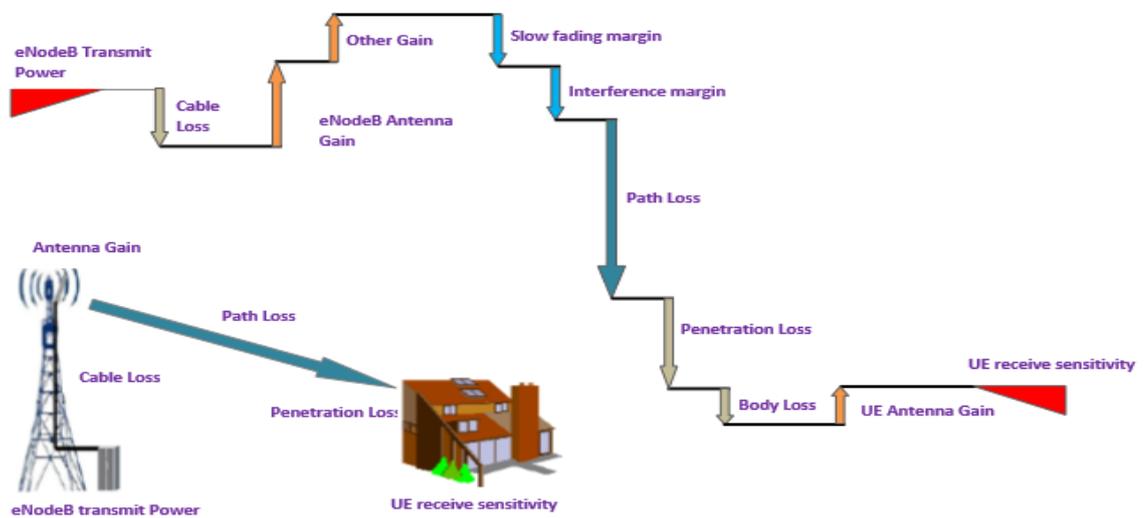


Figure II.5 bilan de liaison Downlink

L_{pmax} est décrit par l'équation suivante [38] :

$$L_{pmax} = P_{Tx, RB} - S_{ue} - B_{idl} - BLFN - L_{BL} - L_{CL} - L_{LBP} + Ga - L_j \quad (II.17)$$

Avec :

$P_{Tx, RB}$: Puissance de l'émetteur par bloc de ressources [dBm]

S_{UE} : Sensibilité de l'équipement utilisateur en [dBm]

II.3.2.4.6 La sensibilité du l'équipement utilisateur récepteur

L'équation permettant de déterminer la sensibilité de l'UE [38] :

$$S_{UE} = Nt + Nf + 10\text{Log}(W_{RB}) + SINR = N_{RB,dl} + SINR \quad (II.18)$$

II.3.2.4.7 SINR à la bordure de la Cellule

L'estimation de SINR (en dB) sur le bord d'une cellule est la suivante [38] :

$$SINR = P_{Tx, RB} - L_{pmax} - N_{RB, dl} - B_{idl} - BLFN - L_{BL} - L_{CL} - L_{BPL} + Ga + Lj \quad (II.19)$$

II.3.2.4.8 Limite du Bilan de liaison

L'équation de l'atténuation du système est la suivante [38] :

$$LSAmax = L_{pmax} + BLNF + L_B + L_{CL} + L_{BP} - Ga + Lj \quad (II.20)$$

Le nouveau LSAmax est appliqué pour obtenir une nouvelle B_{idl} . On parle d'un système Downlink limitée lorsque la qualité d'Uplink dépasse l'exigence.

On applique LSAmax de la liaison descendante pour obtenir un nouveau L_{pmax} et B_{idl} par l'expression suivante [38] :

$$B_{idl} = 1 + \frac{P_{Tx, RB} * Q_{dl} * Fc}{N_{RB, dl} * H * LSAmax} \quad (II.21)$$

Avec :

- **H** : Facteur d'affaiblissement de propagation utilisée dans le dimensionnement de couverture et de capacité, dépend de la géométrie du site, diagramme d'antenne, exposant de propagation, et la hauteur de l'antenne de station de base. Une valeur de $H = 0,36$ est recommandé pour le dimensionnement.

II.3.2.5 Rayon de la cellule

Après avoir calculé l'affaiblissement de parcours maximum (L_{pmax}) par l'établissement d'un RLB équilibré, on peut déterminer le rayon de la cellule en utilisant le modèle de propagation adéquat. La formule pour calculer le rayon en kilomètres R est la suivante [38] :

$$R = 10^\alpha \quad (II.22)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{L_{pmax} - A + 13.8 * 2 * \text{Log}(Hb) + a(Hm)}{44.9 - 6.55 \text{Log}(Hb)} \quad (II.23)$$

A : la fréquence dépendant de la valeur d'atténuation.

Hb : La hauteur de l'eNodeB[m]

Hm: La hauteur de la station mobile [m]

II.3.2.6 Le nombre de sites

La superficie du site permet de calculer facilement le nombre de sites.

On commence par calculer la superficie du site. [38]

- Pour un site omnidirectionnel, le calcul est comme suit :

$$d = \sqrt{3} * R \quad (\text{II.24})$$

$$S = \frac{3\sqrt{3}*R^2}{2} = 2.6 * R^2 \quad (\text{II.25})$$

- Et pour un site a 3 secteurs :

$$d = \frac{3}{2} * R \quad (\text{II.26})$$

$$S = \frac{9\sqrt{3}*R^2}{8} = 1.95 * 2.6 * R^2 \quad (\text{II.27})$$

Le calcul du nombre de sites devient très simple c'est le quotient entre la surface de la zone et la surface du site [38] :

$$N_s = \frac{S_z}{S} \quad (\text{II.28})$$

Avec :

Sz : C'est la surface totale de la zone, dépend du type de la zone.

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

Tableau II.10 surface totale de la zone en fonction du type de la zone

II.3.2.7 Dimensionnement de l'interface S1 et X2

II.3.2.7.1 L'interface X2

Vu que l'architecture du réseau d'accès en LTE est plate, les eNodeB sont deux à deux connectés par l'interface X2 (physique ou logique), le nombre d'interface X2 est donc donné par la formule [49] :

$$N_{X2} = 2 * N_{site} \quad (\text{II.29})$$

II.3.2.7.2 Interface S1 :

Chaque eNodeB est connectée au réseau cœur par l'intermédiaire de l'interface S1 qui consiste en S1-Usager entre l'eNodeB et le SGW et S1-Contrôle entre l'eNodeB et le MME. On peut donc déduire que le nombre d'interface S1-U est égale au nombre d'interface S1-C : [38]

$$N_{site} = N_{S1-U} = N_{S1-C} \quad (II.30)$$

II.4 Dimensionnement de 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'eNodeBs installés dans le réseau. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que le type de la zone, le service, le nombre d'abonnés, les interférences [38].

II.4.1 Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink

Pour évaluer les besoins en capacités on doit suivre les tâches suivantes [38] :

- Estimer le débit de cellule.
- Analyser les entrées de trafic fournies par l'opérateur pour estimer la demande de trafic (Nombre d'abonnés, trafic et des données, répartition géographique des abonnés dans la zone).

Le principal indicateur de la capacité est la distribution SINR dans la cellule : l'augmentation de nombre d'utilisateurs augmente l'interférence et le bruit, et diminue la couverture cellulaire par suite force le rayon de la cellule à devenir plus petite [38].

II.4.1.1 Débit de la cellule

Le débit de la cellule est nécessaire pour calculer le nombre de sites, son équation est la suivante : [38]

$$T_{cell} = Q_{UL} * R_{avg,UL} \quad (II.31)$$

Avec :

$$R_{avg,UL} = R_{RB} * (n_{RB} - n_{PCCH}) \quad (II.32)$$

Q_{UL} : Facteur de charge de la liaison montante.

n_{RB} : nombre total de blocs de ressources de la bande passante.

n_{PCCH} : nombre de blocs de ressources attribuées aux canaux de contrôle PUCCH.

II.4.2 Calcul dimensionnement de capacité Downlink

II.4.2.1 SINR

La capacité Downlink est basée sur le rapport signal interférence et bruit (SINR) [38].

$$SINR = \frac{P_{Tx, RB}}{B_{DL, noise} * N_{RB, DL} * H * LS_{Amax}} \quad (II.33)$$

II.4.2.2 Débit de la cellule

Le débit de l'utilisateur par cellule est donné par la formule suivante [38] :

$$R_{avg, DL} = n_{RB} * R_{RB, dl} \quad (II.34)$$

Le débit de la cellule est représenté par l'équation suivante [38] :

$$T_{cell} = Q_{DL} * R_{avg, DL} \quad (II.35)$$

II.4.2.3 Nombre des sites demandés

A étape finale, nous allons calculer T_{site} à partir de T_{cell} avec le cas de 3 cellules par site [38].

$$T_{site} = T_{cell} * 3 \quad (II.36)$$

Afin de calculer le nombre des sites :

$$N_{site} = \frac{T_{user}}{T_{site}} * N_{abonnés} \quad (II.37)$$

$$N_{abonnés} = \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i) * (1 + \beta_i) * d * surface \quad (II.38)$$

d : la densité des abonnés par Km.

Surface : de la zone totale à couvrir.

α_i : Augmentation de nombre des habitants.

β_i : Données opérateurs, indique le taux de migration des abonnés des autres opérateurs vers l'opérateur en question.

II.5 Conclusion

Le dimensionnement consiste à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées.

Or, dans ce chapitre nous avons traité les principes de base de la planification et le dimensionnement radio du réseau LTE-A, particulièrement les e-NodeB en se basant sur les modèles de propagation, le bilan de liaison dans les deux sens UL et DL ainsi que le dimensionnement des interfaces X2 et S1, nous avons aussi introduit les concepts mathématiques et les calculs nécessaires.

Chapitre III
**Conception et Réalisation d'un Outil de
dimensionnement du Réseau LTE**

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous développerons une application pour faciliter le processus planification de la couverture radio. En effet, cette application est un kit des interfaces graphiques permettant à l'utilisateur de calculer des paramètres spécifiques et de sélectionner le modèle de propagation le plus approprié tout en optimisant les ressources et garantissant une qualité de couverture satisfaisante, pour cela nous avons choisi le logiciel Matlab pour la mise en œuvre et la conception de notre outil de planification.

III.2 Présentation du logiciel Matlab

Matlab est un logiciel de traitement et de programmation de données numériques dont le domaine d'application est principalement les sciences appliquées. Son but, par rapport à d'autres langages, est de simplifier la transcription d'un problème mathématique dans un langage informatique en utilisant un script le plus proche possible d'un langage naturel scientifique.

Le logiciel fonctionne sous Windows et Linux. Son interface de manipulation IHM utilise des ressources régulières pour plusieurs fenêtres. Pour le maîtriser, il suffit de connaître quelques principes de base d'utilisation à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions.



Figure III.1 Logo Matlab

III.3 Création d'une interface graphique MATLAB

Pour réaliser une interface graphique sous Matlab on suit les étapes suivantes :

- **Ecran de base**

L'écran de base comprend l'écran de contrôle des commandes Windows ainsi que des fenêtres supplémentaires permettant de suivre le fonctionnement général d'une application.

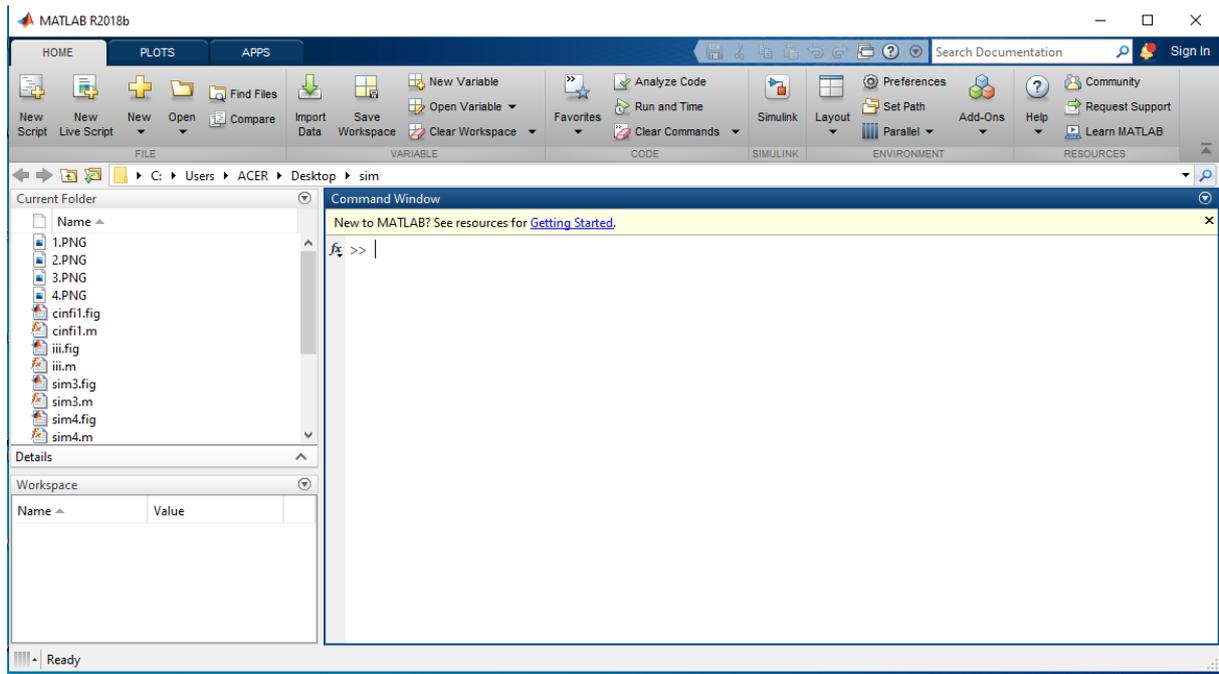


Figure III.2 Fenêtre principale du Matlab

- Pour commencer, on tape l'instruction « guide » dans la command Windows et on appuie sur « entrer », voir la figure ci-dessous :

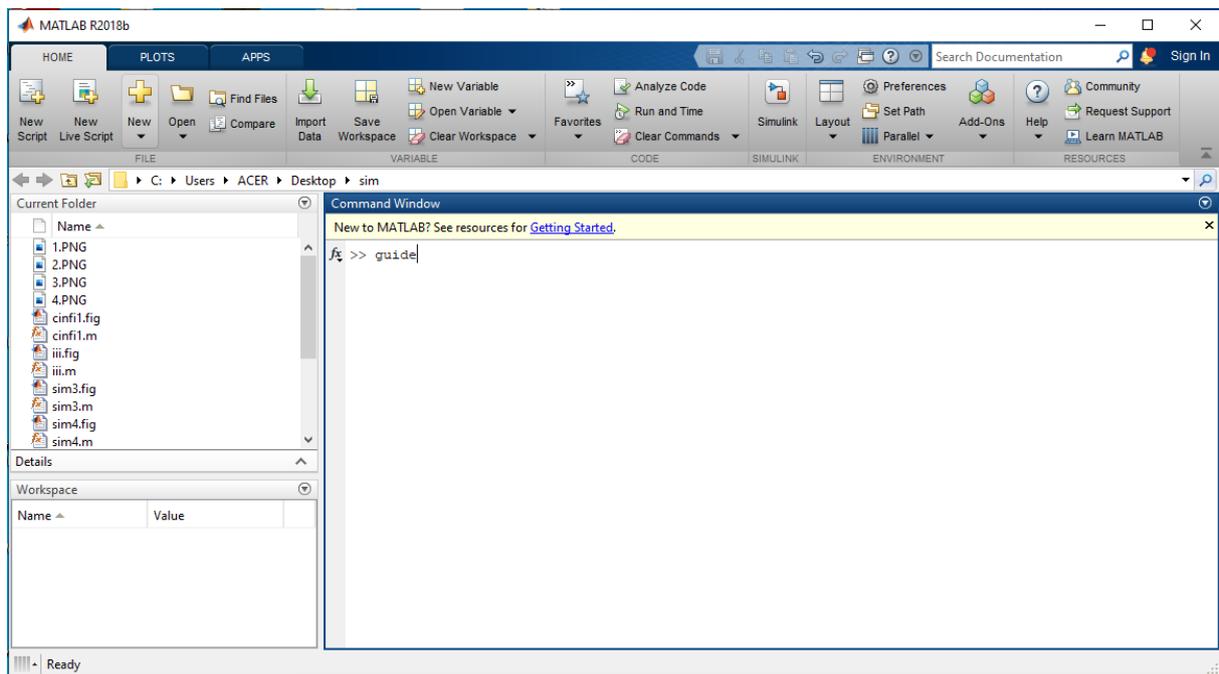


Figure III.3 Command Windows

- Le placement des objets s'effectue par sélection dans une boîte à outils. Ils sont mis en place et dimensionnés à l'aide de la souris.
- Un double-clic sur un objet appelle le Property Inspector dans lequel les propriétés des objets peuvent être facilement modifiées (Figure III.6). Leurs modifications et la visualisation de ces changements est immédiate.

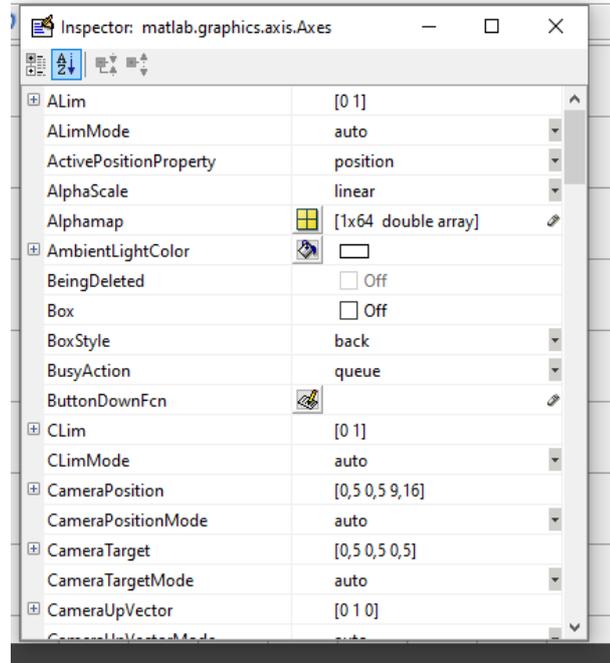


Figure III.6 Interface des propriétés des objets

III.4 Présentation de l'application développée

III.4.1 L'interface d'accueil



Figure III.7 Page d'accueil de l'application

- Lorsque l'utilisateur démarre l'application, une page d'accueil apparaît, comme le montre la figure III.7.

Cette page contient les boutons « Démarrer » pour le démarrage de notre application.

III.4.2 Le bilan de liaison :

C'est la première interface qui apparaît après l'interface du démarrage, le bilan de liaison est représenté par deux liens dans deux sens : le lien montant « UpLink » et le lien descendant « DownLink ».

Pour calculer le bilan de liaison pour chaque lien, on doit d'abord remplir les champs de saisie, qui sont initialisés avec des valeurs selon les critères ITU, les résultats apparaissent avec une couleur différente, la Figure III.7 montre l'interface du bilan de liaison.

LE BILAN DE LIAISON

LIEN UPLINK	
UE transmet	
la puissance fournit	23
le gain de l'antenne	-5
pertes	0
PIRE	18
ENODE B recoit	
PIRE	18
Perte de câble	9
Marge d'interférence	10
Gain de soft handover	0
Sensibilité de réception	88.1
Gain d'antenne de réception	15
MAPL	140.1

LIEN DOWNLINK	
ENODE B transmet	
la puissance fournit	43
le gain de l'antenne	18
pertes	3
PIRE	64
UE recoit	
PIRE	64
Perte de câble	0
Marge d'interférence	8
Gain de soft handover	8
Sensibilité de réception	65.2
Gain d'antenne de réception	-5
MAPL	140.2

CALCULER **SUIVANT** **RETOUR**

Figure III.8 Calcul du bilan de liaison

- Après avoir appuyé sur le bouton "CALCULER", les résultats ou les paramètres de sortie apparaissent en rouge.

- Le système calculera et affichera les paramètres suivants : EIRP et MAX PATHLOSS. Ces paramètres sont calculés selon les formules données dans le chapitre précédent. Dans le bilan de liaison, on s'intéresse surtout sur le Pathloss maximal ou le MAPL.

On peut voir que la valeur MAPL est relativement la même sur le lien montant (MAPL=140.1) et le lien descendant (MAPL=140.2), ce qui indique qu'il y a une liaison équilibrée à un fonctionnement symétrique.

III.4.3 PREMIERE ZONE D'ETUDE :

Nous avons choisi une zone de couverture faiblement dense avec une superficie de 150Km², une fréquence de 1500Mhz, une hauteur de mobile de 1.5m, une hauteur d'eNode B de 30m et une configuration tri-sectorielle des sites.

III.4.3.1 Choix de modèle de propagation

Cette interface nous permet de choisir un modèle de propagation en fonction duquel nous dimensionnons la zone à étudier, nous devons choisir l'un des quatre modèles répertoriés dans l'interface.

Pour chaque modèle de propagation on a :

a. Les paramètres d'entrées :

- La surface en km².
- La hauteur du mobile en m.
- La hauteur de la station de base en m.
- La type de l'environnement (Urbain, Urbain dense, Sous-urbain, Rural... etc).
- La fréquence en Mhz.
- Le nombre de secteur par site.

Il y on a d'autres paramètre qui caractérise le modèle WalfishIkegami en particulier :

- L'espace entre bâtiments.
 - La largeur de la route.
 - L'orientation de la rue.
- ##### **b. Des paramètres de sorties :**
- Lepathloss.
 - Le nombre d'e-Node B.
 - Le rayon de cellule.
 - Le nombre d'interface S1-C.
 - Le nombre d'interface S1-U.
 - Le nombre d'interface X2.

La figure suivante montre l'interface « choix des modèles de propagation » :

VEUILLEZ CHOISIR LE MODELE APPROPRIE

LISTE DE MODELE

- Modèle Okumura-Hata
- Modèle de COST 231-Hata
- Modèle Walfish-Ikegami
- Modèle Erceig Greenstein

VEUILLEZ SELECTIONNER "ETUDE DES CAS" AFIN D'AVOIR LE MODELE LE PLUS APPROPRIE A NOTRE CONFIGURATION

ETUDE DES CAS

SUIVANT RETOUR

Figure III.9 Interface de choix du modèle

III.4.3.2 Le modèle Okumura-Hata

Après avoir sélectionné le premier modèle, appuyez sur le bouton "SUIVANT" sur l'interface Choix du modèle, l'interface Okomura-Hata apparaîtra comme le montre la Figure III.10.

Modèle Okumura-Hata

VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE

HAUTEUR DU MOBILE

HAUTEUR DU ENODE B

FREQUENCE

ENVIRONNEMENT URBAIN

NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE 1

LES SORTIES

PATH LOSS(db)

RAYON DE LA CELLULE (km)

NOMBRE D'ENODE B

INTERFACE S1-C

INTERFACE S1-U

INTERFACE X2

CALCULER SUIVANT RETOUR

Figure III.10 Interface du modèle OKUMURA-HATA

Le modèle OKUMURA-HATA comporte cinq types d'environnements (urbain, urbain dense, sous urbain, rural quasi-ouverte, rural ouverte), de sorte que les utilisateurs peuvent faire des choix multiples en fonction de la zone à planifier.

Dans notre cas, nous choisissons un environnement Urbain car notre zone de couverture est faiblement dense, avec une hauteur du mobile de 1,5 (m), hauteur d'eNodeB de 30 (m) et une fréquence de 1500 Mhz.

En cliquant sur le bouton « **CALCULER** », on obtient les paramètres de sortie en rouge précisant (MAPL, le rayon de cellule, nombre d'eNodeB, nombre d'interfaces X2, S1-C et S1-U).

The screenshot displays the 'Modèle Okumura-Hata' interface. At the top, it asks the user to 'VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS'. The interface is divided into two main sections: 'LES ENTREES' (Inputs) and 'LES SORTIES' (Outputs). Below these are three buttons: 'CALCULER', 'SUIVANT', and 'RETOUR'.

LES ENTREES		LES SORTIES	
SUPERFICIE	150	PATH LOSS(db)	140.1
HAUTEUR DU MOBILE	1.3	RAYON DE LA CELLULE (km)	1.79019
HAUTEUR DU ENODE B	30	NOMBRE D'ENODE B	9
FREQUENCE	1500	INTERFACE S1-C	9
ENVIRONNEMENT	URBAIN	INTERFACE S1-U	9
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3	INTERFACE X2	18

Figure III.11 Dimensionnement avec le modèle OKUMURA-HATA

D'après cette interface, on a un rayon de la cellule égale à 1.79 km et pour une surface de 150 Km², nous avons besoin de 9 e-NodeB, 9 interfaces S1-C, 9 interfaces S1-U et finalement 18 interfaces X2.

Une fois le calcul du modèle Okumura-Hata terminé, l'utilisateur peut sélectionner le modèle suivant "Cost231-Hata" en cliquant sur le bouton "RETOUR" et revenir à l'interface affectée pour sélectionner le modèle.

III.4.3.3 Le modèle Cost231-Hata

Nous ferons la même opération que le modèle Okumura-Hata. Après avoir sélectionné le deuxième modèle, cliquez sur le bouton "Suivant", et l'interface Cost231-Hata sera affichée, comme indiqué sur la figure III.12

The screenshot shows the 'Modèle de COST 231-Hata' interface. At the top, it says 'VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS'. Below this, there are two main sections: 'LES ENTREES' (Inputs) and 'LES SORTIES' (Outputs). The input section includes fields for 'SUPERFICIE', 'HAUTEUR DU MOBILE', 'HAUTEUR DU ENODE B', 'FREQUENCE', 'ENVIRONNEMENT' (set to 'URBAIN'), and 'NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE' (set to '1'). The output section includes fields for 'PATH LOSS(db)', 'RAYON DE LA CELLULE (km)', 'NOMBRE D'ENODE B', 'INTERFACE S1-C', 'INTERFACE S1-U', and 'INTERFACE X2'. At the bottom, there are three buttons: 'CALCULER', 'SUIVANT', and 'RETOUR'.

Figure III.12 Interface du modèle COST231-HATA

Les paramètres d'entrée sont les mêmes que dans le modèle précédent, nous pouvons donc mieux le comparer et analyser avec le modèle Okumura-Hata. Donc, il suffit de cliquer simplement sur le bouton "Calculer" pour obtenir les paramètres de sortie du modèle Cost231-HATA.

This screenshot shows the same 'Modèle de COST 231-Hata' interface after calculation. The input fields are now populated with values: 'SUPERFICIE' (150), 'HAUTEUR DU MOBILE' (1.3), 'HAUTEUR DU ENODE B' (30), 'FREQUENCE' (1500), 'ENVIRONNEMENT' (URBAIN), and 'NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE' (3). The output fields show calculated results: 'PATH LOSS(db)' (140.1), 'RAYON DE LA CELLULE (km)' (1.49501), 'NOMBRE D'ENODE B' (13), 'INTERFACE S1-C' (13), 'INTERFACE S1-U' (13), and 'INTERFACE X2' (26). The buttons 'CALCULER', 'SUIVANT', and 'RETOUR' remain at the bottom.

Figure III.13 Dimensionnement avec le modèle COST231-HATA

En résumé, avec ce modèle nous pourrions déployer 13 EnodeB, 26 interfaces X2, 13 interfaces S1-U et 13 interfaces S1-cavec un rayon de la cellule de 1,495 km.

On clique sur le bouton SUIVANT pour revenir à l'interface de choix de modèle de propagation pour choisir le modèle suivant qui est WALFISH IKEGAMI.

III.4.3.4 Le modèle Walfish-Ikegami

La figure III.14 représente l'interface du Modèle WALFISH-IKEGAMI

Modèle Walfish-Ikegami

VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTrees

SUPERFICIE

HAUTEUR DU MOBILE

HAUTEUR DU ENODE B

FREQUENCE

ENVIRONNEMENT MOYENNES ▾

NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE 1 ▾

HAUTEUR Des BATIMENT

SEPARATION ENTRE BATIMENT

LARGEUR DE LA RUE

ORIENTATION DE LA RUE

LES SORTIES

PATH LOSS(db)

RAYON DE LA CELLULE (km)

NOMBRE D'ENODE B

INTERFACE S1-C

INTERFACE S1-U

INTERFACE X2

CALCULER SUIVANT RETOUR

Figure III.14 Interface du Modèle WALFISH-IKEGAMI

Après avoir paramétré les champs d'entrée, on clique sur le bouton CALCULER pour avoir les sorties comme précisé dans la figure III.15.

Modèle Walfish-Ikegami	
VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS	
LES ENTREES	
SUPERFICIE	150
HAUTEUR DU MOBILE	1.3
HAUTEUR DU ENODE B	30
FREQUENCE	1500
ENVIRONNEMENT	MOYENNES
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3
HAUTEUR Des BATIMENT	20
SEPARATION ENTRE BATIMENT	30
LARGEUR DE LA RUE	10
ORIENTATION DE LA RUE	90
LES SORTIES	
PATH LOSS(db)	140.1
RAYON DE LA CELLULE (km)	1.58162
NOMBRE D'ENODE B	11
INTERFACE S1-C	11
INTERFACE S1-U	11
INTERFACE X2	23
<input type="button" value="CALCULER"/> <input type="button" value="SUIVANT"/> <input type="button" value="RETOUR"/>	

Figure III.15 Dimensionnement avec Modèle WALFISH-IKEGAMI

Le résultat de dimensionnement montre qu'avec la même zone de couverture considérée, on a obtenu un rayon de cellule égal à 1,581 km, 11 Enode B, 23 interfaces X2, 11 interfaces S1-U et 11 interfaces S1-c.

III.4.3.5 Le modèle Erceig Greenstein

Enfin, il nous reste évidemment l'interface du dernier modèle d'Erceig Greenstein présenté dans la figure III.16.

Modèle Erceig Greenstein	
VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS	
LES ENTREES	
SUPERFICIE	
HAUTEUR DU MOBILE	
HAUTEUR DU ENODE B	
FREQUENCE	
ENVIRONNEMENT	TYPE A
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	1
LES SORTIES	
PATH LOSS(db)	
RAYON DE LA CELLULE (km)	
NOMBRE D'ENODE B	
INTERFACE S1-C	
INTERFACE S1-U	
INTERFACE X2	
<input type="button" value="CALCULER"/> <input type="button" value="SUIVANT"/> <input type="button" value="RETOUR"/>	

Figure III.16 Interface du Modèle d'Erceig Greenstein

Après avoir paramétré les champs d'entrée, on clique sur le bouton CALCULER pour avoir les sorties figure III.17.

The screenshot displays the 'Modèle Erceig Greenstein' interface. At the top, it says 'Modèle Erceig Greenstein' and 'VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS'. The interface is divided into two main sections: 'LES ENTrees' (Inputs) and 'LES SORTIES' (Outputs). Below these are three buttons: 'CALCULER', 'SUIVANT', and 'RETOUR'.

LES ENTrees		LES SORTIES	
SUPERFICIE	150	PATH LOSS(db)	140.1
HAUTEUR DU MOBILE	1.3	RAYON DE LA CELLULE (km)	1.4992
HAUTEUR DU ENODE B	30	NOMBRE D'ENODE B	13
FREQUENCE	1500	INTERFACE S1-C	13
ENVIRONNEMENT	TYPE A	INTERFACE S1-U	13
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3	INTERFACE X2	26

Figure III.17 Dimensionnement avec Modèle Erceig Greenstein

En résumé, avec ce modèle (Figure III.17) nous pourrions déployer 13 eNodeB, 26 interfaces X2, 13 interfaces S1-U et 13 interfaces S1-C pour le choix de terrain de type A.

Suite au dimensionnement avec le modèle **Modèle Erceig Greenstein** on va cliquer sur le bouton SUIVANT pour revenir à l'interface de choix et cocher la case ETUDE DE CAS pour avoir un récapitulatif sur les dimensionnements précédents voir figure III.18.

III.4.3.6 CHOIX DU MODELE APPROPRIE

Cette partie de l'application est chargée de distinguer le modèle le plus approprié en fonction du plus petit nombre d'eNodeB et du plus grand rayon de couverture pour mieux couvrir le réseau LTE, comme le montre la figure ci-dessous.

The interface is titled "ETUDE DES CAS" and contains the following elements:

- LIEN MONTANT**: PATH LOSS (input field)
- LIEN DESCENDANT**: PATH LOSS (input field)
- SURFACE DE LA ZONE**: (input field)
- Modèle Okumura-Hata**, **Modèle COST 231-Hata**, **Modèle Erceig Greenstein**, **Modèle Walfish-Ikegami**: Selection options for propagation models.
- RAYON DE LA CELLULE**: (input field)
- NOMBRE D'ENODE B**: (input field)
- CONFIGURATION OPTIMALE**:
 - MODELE CHOISI**: (input field)
 - NOMBRE D'ENODE B**: (input field)
- CALCULER** and **RETOUR**: Action buttons.

Figure III.18 Interface ETUDE DE CAS

Le fait d'appuyer sur le bouton CALCULER, tous les champs seront remplis et on obtiendra la configuration optimale pour la zone à étudier.

The interface shows the results of the calculation:

- LIEN MONTANT**: PATH LOSS = 140.1
- LIEN DESCENDANT**: PATH LOSS = 140.2
- SURFACE DE LA ZONE**: 150
- RAYON DE LA CELLULE**:

Modèle	Okumura-Hata	COST 231-Hata	Erceig Greenstein	Walfish-Ikegami
RAYON DE LA CELLULE	1.790	1.495	1.499	1.581
- NOMBRE D'ENODE B**:

Modèle	Okumura-Hata	COST 231-Hata	Erceig Greenstein	Walfish-Ikegami
NOMBRE D'ENODE B	9	13	13	11
- CONFIGURATION OPTIMALE**:
 - MODELE CHOISI**: OKUMURA HATA
 - NOMBRE D'ENODE B**: 9
- CALCULER** and **RETOUR**: Action buttons.

Figure III.19 Choix de la configuration optimale pour la zone à étudier

III.4.3.7 Analyse des résultats

Pour un paramétrage commun fournis par l'utilisateur pour les quatre modèles : une superficie de 150Km², une fréquence de 1500Mhz, une hauteur de mobile de 1.5m, une hauteur d'eNodeB de 30m et une configuration tri-sectorielle des sites presque dans le même type d'environnement, La meilleure configuration pour le nombre d'EnodeB déployé est la configuration du modèle HATA OKUMURA, car elle ne nécessite que 9 EnodeB, qui indique le nombre minimal de sites par rapport aux autres modèles.

OKUMURA -HATA est le modèle le plus approprié en termes 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, car avec la même valeur PATH LOSS, il peut maximiser la couverture (1.970Km), et minimiser le nombre d'EnodeB (9).

III.4.4 DEUXIEME ZONE D'ETUDE

Et pour la deuxième zone, nous avons choisi un environnement sous urbain avec une superficie de 200Km², une fréquence de 900Mhz, une hauteur de mobile de 1.5m, une hauteur d'eNodeB de 30m et une configuration tri-sectorielle des sites.

III.4.4.1 Le modèle Okumura-Hata

The screenshot displays the 'Modèle Okumura-Hata' interface. At the top, it asks the user to 'VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS'. The interface is divided into two main sections: 'LES ENTrees' (Inputs) and 'LES SORTIES' (Outputs). Below these are 'CALCULER' and 'SUIVANT' buttons.

LES ENTrees		LES SORTIES	
SUPERFICIE	200	PATH LOSS(db)	140.1
HAUTEUR DU MOBILE	1.3	RAYON DE LA CELLULE (km)	1.97364
HAUTEUR DU ENODE B	30	NOMBRE D'ENODE B	10
FREQUENCE	900	INTERFACE S1-C	10
ENVIRONNEMENT	SOUS URB... (dropdown)	INTERFACE S1-U	10
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3 (dropdown)	INTERFACE X2	20

Figure II.20 modèle Okumura-Hata pour la zone 2

D'après cette interface, on a un rayon de la cellule égal à 1.97 km et pour une surface de 200 Km², nous avons besoins de 10 e-NodeB, 10 interfaces S1-C, 10 interfaces S1-U et finalement 20 interfaces X2.

Une fois le calcul du modèle Okumura-Hata terminé, l'utilisateur peut sélectionner le modèle suivant "Cost231-Hata" en cliquant sur le bouton "RETOUR" et revenir à l'interface affectée pour sélectionner le modèle.

III.4.4.2 Le modèle Cost231-Hata

The screenshot displays the 'Modèle de COST 231-Hata' interface. It features a central instruction: 'VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS'. The interface is divided into two main sections: 'LES ENTREES' (Inputs) and 'LES SORTIES' (Outputs). Below these are 'CALCULER' and 'SUIVANT' buttons.

LES ENTREES		LES SORTIES	
SUPERFICIE	200	PATH LOSS(db)	140.1
HAUTEUR DU MOBILE	1.3	RAYON DE LA CELLULE (km)	2.4281
HAUTEUR DU ENODE B	30	NOMBRE D'ENODE B	8
FREQUENCE	900	INTERFACE S1-C	8
ENVIRONNEMENT	SOUS URB... (dropdown)	INTERFACE S1-U	8
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3 (dropdown)	INTERFACE X2	16

Figure II.21 Le modèle Cost231-Hata pour la zone 2

En résumé, avec ce modèle nous pourrons déployer 8 EnodeB, 16 interfaces X2, 8 interfaces S1-U et 8 interfaces S1-cavec un rayon de la cellule de 2.42 km.

On clique sur le bouton SUIVANT pour revenir à l'interface de choix de modèle de propagation pour choisir le modèle suivant qui est WALFISH IKEGAMI.

III.4.4.3 Le modèle Walfish-Ikegami

Modèle Walfish-Ikegami

VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES		LES SORTIES	
SUPERFICIE	200	PATH LOSS(db)	140.1
HAUTEUR DU MOBILE	1.3	RAYON DE LA CELLULE (km)	1.59687
HAUTEUR DU ENODE B	30	NOMBRE D'ENODE B	15
FREQUENCE	900	INTERFACE S1-C	15
ENVIRONNEMENT	MOYENNES	INTERFACE S1-U	15
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3	INTERFACE X2	30
HAUTEUR Des BATIMENT	20		
SEPARATION ENTRE BATIMENT	30		
LARGEUR DE LA RUE	10		
ORIENTATION DE LA RUE	90		

CALCULER SUIVANT

Figure III.22 Le modèle Walfish-Ikegami pour la zone 2

Le résultat de dimensionnement montre qu'avec la même zone de couverture considérée on a obtenu un rayon de cellule égal à 1.59 km, 15 EnodeB, 30 interfaces X2, 15 interfaces S1-U et 15 interfaces S1-c.

III.4.4.4 Le modèle Erceig Greenstein

Modèle Erceig Greenstein

VEUILLEZ INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES		LES SORTIES	
SUPERFICIE	200	PATH LOSS(db)	140.1
HAUTEUR DU MOBILE	1.3	RAYON DE LA CELLULE (km)	1.79173
HAUTEUR DU ENODE B	30	NOMBRE D'ENODE B	12
FREQUENCE	900	INTERFACE S1-C	12
ENVIRONNEMENT	TYPE B	INTERFACE S1-U	12
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3	INTERFACE X2	24

CALCULER SUIVANT

Figure III.23 Le modèle Erceig Greenstein pour la zone 2

En résumé, avec ce modèle (Figure III.23) nous pourrions déployer 12 eNodeB, 24 interfaces X2, 12 interfaces S1-U et 12 interfaces S1-C pour le choix de terrain de type B.

Suite au dimensionnement avec le modèle **Modèle Erceig Greenstein** on va cliquer sur le bouton SUIVANT pour revenir à l'interface de choix et cocher la case ETUDE DE CAS pour avoir un récapitulatif sur les dimensionnements précédents voir figure III.24.

III.4.4.5 CHOIX DU MODELE APPROPRIE

	Modèle Okumura-Hata	Modèle COST 231-Hata	Modèle Erceig Greenstein	Modèle Walfish-Ikegami
LIEN MONTANT PATH LOSS	140.1			
LIEN DESCENDANT PATH LOSS				140.2
SURFACE DE LA ZONE	200			
RAYON DE LA CELLULE	2.0495	2.4281	1.7917	1.5969
NOMBRE D'ENODE B	9	8	12	15

CONFIGURATION OPTIMALE	
MODELE CHOISI	NOMBRE D'ENODE B
Cost231-Hata	8

Figure III.24 Etude des cas pour la zone 2

III.4.4.6 Analyse des résultats

Pour un paramétrage commun fournis par l'utilisateur pour les quatre modèles : une superficie de 200Km², une fréquence de 1000Mhz, une hauteur de mobile de 1.5m, une hauteur d'eNodeBde 30m et une configuration tri-sectorielle des sites presque dans le même typed'environnement (sous urbain),La meilleure configuration pour le nombre d'EnodeB déployé est la configuration du modèle **Cost231-Hata**, car elle ne nécessite que 8 EnodeB, qui indique le nombre minimal de sites par rapport aux autres modèles.

III.5 Conclusion

Durant ce chapitre nous avons entamé la conception de notre outil « Optimisation de la couverture du réseau LTE-A », en langage Matlab. Tout d'abord, nous avons proposé et défini des paramètres de bilan de liaison pour calculer le Pathloss maximal grâce à une étude sur la planification de la couverture et les outils d'optimisation, nous avons présenté les captures

d'écrans de notre simulateur et de ses opérations détaillées, dans le but de définir le nombre optimal de sites (eNodeB), le rayon de cellule, le nombre d'interfaces et les types environnants pour chacun des quatre modèles de propagation. Enfin, arriver dans l'étape de l'étude de cas pour avoir une recommandation sur la manière de choisir un modèle adapté pour optimiser la couverture du réseau d'accès 4G.

Conclusion Générale

Le monde des télécommunications progresse de plus en plus vite. Aujourd'hui un utilisateur peut non seulement établir une connexion à tout moment pour récupérer ce dont il a besoin mais en plus, il peut également profiter 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.

L'objectif principal de ce projet de fin d'étude est d'optimiser la couverture du réseau d'accès 4G-LTE et ce à travers le développement d'une application qui a été réalisée sous l'environnement Matlab pour simplifier les calculs compliqués requis pour dimensionnement de la couverture en calculant le bilan de liaison qui permet à l'opérateur d'optimiser les ressources tout en maximisant le rayon de couverture radio et obtenir le nombre minimum d'eNodeB nécessaire pour couvrir une zone spécifique à travers les formules propres à chaque modèle de propagation selon la nature du terrain de la zone d'étude.

Pour y parvenir nous sommes passés par quatre étapes essentielles, Dans la première partie nous avons commencé par une présentation des différentes évolutions de générations de téléphonie mobile, une étude générale du réseau LTE où nous avons parlé de son architecture, de ses caractéristiques, son interface radio et ses avantages. La deuxième partie a été consacrée à la planification détaillée d'une solution de dimensionnement de réseau orientée couverture et capacité, au dimensionnement de l'interface X2 et de l'interface S1. Ce processus se caractérise par sa complexité et comprend plusieurs tâches, principalement l'établissement du bilan de la liaison radio, le choix d'un modèle de propagation adéquat pour le dimensionnement de la couverture, l'établissement d'un modèle de trafic et le calcul de la capacité des cellules pour le dimensionnement de la capacité.

En effet, notre application est faite pour faciliter la tâche de planification qui est la tâche la plus complexe dans le dimensionnement d'un tel réseau, le simulateur a pour fonction de calculer les différents paramètres du bilan de liaison et modèles de propagation, tirer le rayon de la cellule le nombre d'eNodeB et le nombre d'interfaces nécessaires à la couverture radio d'une zone, Ensuite, donnez une recommandation concernant le choix du modèle optimal parmi les quatre modèles de propagation pour une zone de couverture spécifique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] Y.Bougan,E.Hardouin,F.X.Wolff, « « LTE et les réseaux 4G » », Préface d'AlainMaloberti, © Groupe Eyrolles, 2012.
- [2] Germaine seide, « planification d'un réseau de quatrième Génération a partir d'un réseau de troisième Génération », Thèse, Université du MONTREAL, CANADA 2011.
- [3] F. Khan, LTE for 4G Mobile Broadband. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2009.
- [4] MESSAOUI.M.M « Développement d'un outil d'aide à la gestion des capacités des équipements BSS en MapBasic sous le SIG MapInfo », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de licence appliquée en sciences et techniques de l'information et de communications (LASTIC), Université Virtuelle de Tunis, 2011.
- [7] Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, « LTE et les réseaux 4G », édition groupe Eyrolles, ISBN : 978-2-212-12990-8, 2012.
- [9] ZENATI.I, BOUFERSAKHA.O, « Dimensionnement et planification d'un réseau LTE », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications (RMST), Université de Tlemcen, Mai 2017.
- [11] Andres Perez, « *Architecture des réseaux de mobile* », édition LA VOISIER, 2011, ISBN : 978-2-7462-3262-3279-2.
- [12] G.Baudoin, Coll., “radiocommunications numériques/1: principes modélisation et simulation”, Dunod, 2002.
- [13] Yannick Bourguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, « *LTE et les réseaux 4G* », édition : groupe Eyrolles (Dunod), ISBN : 978-2-212-12990-8, 2012.
- [14] UMTS forum, « Recognising the promise of mobile broadband », UMTS Manuel, Juillet 2010.
- [15] UMTS forum, « Recognising the promise of mobile broadband », UMTS Manuel, Juillet 2010.
- [16] Tarek BCHINI, « Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération », thèse de doctorat, école doctorale Mathématiques, Informatique et Télécommunications, Toulouse, France, 2010.
- [17] M. MEHASSOUEL, APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE MIMO A LA 4G DU MOBILE, 136 pages, Communication, UNIVERSITE FERHAT ABBAS, SETIF, 12/2014.
- [18] I.BERCHID, Optimisation d'un réseau Single RAN (3G) et planification LTE, Télécommunications et Technologies de l'Information, institut national des postes et télécommunications, royaume du Maroc, 2014.
- [19] Nokia Siemens Networks, « *Long Term Evolution* », Institute National des Postes et Telecommunication, INPT, 2011.
- [20] Greg HARMAN, Avan BARKER, Tim IREDALE, «*LTE Network Performance Improvement - Technical Guideline*», Ericsson Internal Guideline, 08-02-2013.
- [21]<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00574237/document>.

- [22] Bouchentouf Hadjer, Boudghene Stambouli Riyad, « Etude des performances des réseaux 4G (LTE) », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Option : RMS, Université de Tlemcen, Juin 2013.
- [23] Rabah.BOUDJERRADA, réduction du PAPR d'un signal OFDM dans un réseau de transmission 4G. Mémoire de master, université ferhat abbas de sétif 1.2013.
- [24] H. Tounsi, « Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie télécom », projet de fin d'études pour l'obtention Mastère professionnel en Nouvelles Technologies des Télécommunications et Réseaux (N2TR), 2016.
- [25] Harri HOLMA and Antti TOSKALA, «LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Bsed Radio Access», John Wiley, 1ere edition, UK, 2009.
- [26] Tony GUY et Avan BARKER, « LTE Initial Tuning (FDD) - Technical Guideline», Ericsson Internal Document, 19/12/2012.
- [27] BETAOUAF Djezila, BOUMECHERA Wissem, « Développement d'un Outil de Dimensionnement et de Planification d'un Réseau 4G-LTE », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Option : RMST, Université de Tlemcen, Mai 2015.
- [29] H. Hanen, S. Saidane, « Dimensionnement des réseaux Radio 3G et 4G », Université de Tunis, AU: 2012/2013.
- [31] Eya JAMMAZI, « Optimisation d'un réseau pilote 4G », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, pour Tunisie Télécom, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, 2013.
- [34] Liu Jinghai, Cheng Tangbai et all, “ LTE FDD Radio Link Budget Principal” Huawei Technologies, 2011.
- [35] HAMLILI Heyem, « Conception et développement d'un outil d'aide à la planification et dimensionnement de l'EUTRAN d'un réseau LTE-Advanced », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications (RMST), Université de Tlemcen, Mai 2016.
- [36] A. Deme, D.Dajab et C. Nyap, « Computer Analysis of the COST 231 Hata Model and Least Squares Approximation for Path Loss Estimation at 900MHz on the Mountain Terrains of the Jos-Plateau, Nigeria», Computer Engineering and Intelligent Systems, Vol.4, No.9, 2013.
- [37] Motorola, Inc., « LTE RF Planning & Design V 1.2 », Motorola LTE RF Planning Guide, Internal and confidential document © Copyright 2011.
- [38] HAMLILI Heyem, « Conception et développement d'un outil d'aide à la planification et dimensionnement de l'EUTRAN d'un réseau LTE-Advanced », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications (RMST), Université de Tlemcen, Mai 2016.

Webographie

[6] <http://4glte.over-blog.com/article-evolution-de-la-1g-vers-la-4g-82164235.html>, publié le 22 août.

[8] <http://www.marche-public.fr/Terminologie/Entrees/2G.htm>.

[10] https://www.technologuepro.com/gsm/chapitre_2_GSM.htm.

[28] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/reseaux-cellulaires-et-telephonie-42288210/principes-de-fonctionnement-de-l-interface-radio-lte-te7374/couche-pdcp-te7374niv10009.html>.

[30] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/telecommunications-les-transmissionsradio/6principes-de-base-d-un-systeme-de-telephonie-mobile/> (consulté en Aout 2020)

[33] <https://vdocuments.site/doc6-lte-workshop-tun-session5-performance-evaluation.html>.