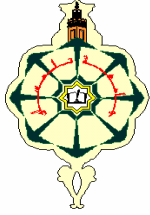


République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEEN**  
**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS**



## **MEMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER en Télécommunications**  
Option : Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications (RMST)

Réalisé par :  
BETAOUAF Djezila  
BOUMECHERA Wissem

## **THEME**

**Développement d'un Outil de  
Dimensionnement et de Planification d'un  
Réseau 4G-LTE**

Soutenu en Mai 2015 devant le Jury:

Mr. KAMECHE. S  
Mr. MERZOUGUI. R  
Mr. ZERROUKI. H

M.C à l'Université de Tlemcen  
M.C à l'Université de Tlemcen  
M.C à l'Université de Tlemcen

Président  
Examineur  
Encadreur

## *Dédicace*

*J'ai l'immense honneur de dédier ce mémoire*

*A mon cher père*

*Pour tout l'amour et l'éducation qu'il ma donnée.*

*A ma chère mère*

*Pour son grand amour, ses sacrifices et toute l'affection*

*Qu'elle m'a toujours offerte.*

*A mes chères sœurs*

*Fatima, Sihem et Djihene, que DIEU me les garde.*

*A toute la famille Abdat*

*Pour l'amour, l'attention, et le soutien qu'ils mon apporté.*

*A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment.*

*Tous mes proches dans la famille.*

*A mes chères amies et connaissances.*

*La vie n'est qu'un éclair, Et un jour de réussite est un jour  
très cher.*

*Wissem....*

## *Dédicace*

*A mes grands parents*

*A mon père, A ma mère*

*A la famille HADJAM*

*A mon frère, A mes sœurs, A mes cousines*

*En leur souhaitant tout le succès... tout le bonheur*

*A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé*

*A tous mes amis*

*Pour une sincérité si merveilleuse... jamais oubliable*

*Aimablement...*

*Je dédie ce modeste travail*

## *Remerciement*

*Nous remercions Allah, qui nous a donné la force, le courage et la bonne volonté de faire.*

*Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Mr Zerrouki Hadj M.C à l'Université de Tlemcen pour nous avoir permis de bénéficier de son grand savoir dans la matière et son aide précieux tout au long de ce travail .*

*On tient à remercier toute personne ayant participé, de loin ou de prêt à la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions particulièrement les membres de jury. Mr Kameche.S M.C à l'Université de Tlemcen d'avoir l'amabilité de présider le jury, Mr Merzougui.R M.C à l'Université de Tlemcen de nous avoir accordé l'honneur d'accepter l'évaluation de ce travail.*

*Pour finir, nous avons une pensée toute particulière pour nos parents et nos proches qui n'ont jamais cessé de nous fournir l'essentiel.*

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



## *Résumé*

---

Le LTE est une nouvelle technologie sans fil, elle dispose d'un ensemble de techniques hertziennes permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP par l'intermédiaire d'un lien radio.

Son rôle, consiste à offrir une qualité de service (QoS) meilleure et une véritable augmentation du débit que celle du réseau terrestre.

Dans cette thèse nous avons étudié le réseau LTE dans le but de le dimensionner et le planifier en mettant en œuvre un logiciel de calcul qui facilite cette tâche et la rend plus simple.

**Mots clés :** LTE, 4G, planification, Dimensionnement, capacité, Réseau cellulaire.

## *Abstrat*

---

LTE is a new wireless technology, it has a set of wireless technologies to connect a remote user to the IP network via a radio link.

Hisroleis to provide a quality of service (QoS) and betterreal increase in throughput than the terrestrial network.

In thisthesiswestudied the LTE network in order to size the planning and implementing a computing software thatfacilitatesthistask and makesit simple.

**Keywords :** LTE,4G, planning, sizing, capacity, Cellular network.

## **ملخص:**

تعتبر تقنية ال تي إي LTE من التقنيات الحديثة للاتصالات ألاسلكية حيث تضم هذه التكنولوجيا مختلف التقنيات المستعملة لربط المستخدمين إلى شبكة الاتصال وذلك عن طريق الأمواج الهوائية.

من بين أهداف هذه التكنولوجيا, السعى لتوفير نوعية الخدمات و زيادة أكثر للتدفق مما هو معروض في الشبكة الأرضية.

و لقد تطرقنا في هذه المذكرة إلى دراسة تقنية التي إي بهدف التخطيط والتحجيم, ولهذا قمنا بتصميم برنامج معلوماتي يجعل هذه التقنية سهلة و بسيطة.

الكلمات المفتاحية: (LTE) التي إي, (4G) الجيل الرابع, التخطيط, التحجيم, القدرة, الشبكة الخلوية.

# Table des matières

---

Dédicace	
Remerciement	
Résumé .....	I
Table des matières .....	II
Liste des figures .....	VI
Liste des tableaux .....	VIII
Liste des abréviations .....	IX
Introduction générale.....	2
<b>Chapitre I : Principaux Standards de Téléphonie Mobile et leurs Evolution</b>	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Principe de base d'un réseau mobile.....	4
I.3 Historique .....	5
I.4 Evolution des systèmes radio cellulaires .....	6
I.4.1 La première génération (1G) .....	6
I.4.1 La deuxième génération (2G) .....	6
I.4.2.1 le réseau GSM (2G) .....	6
I.4.2.1.1 Architecture du GSM.....	7
I.4.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) .....	10
I.4.2.3 HSCSD ou EDGE (2.75G) .....	12
I.4.3 La troisième génération (3G) .....	12
I.4.3.1 le réseau UMTS (3G) .....	12
I.4.3.1.1 Les équipements du réseau UMTS .....	13
I.4.3.1.2 Les fréquences de l'UMTS.....	14
I.4.3.1.3 Les modes de transmission .....	14
I.4.3.2 HSDPA (3.5G) .....	15
I.4.3.3 HSUPA (3.75G) .....	15
I.4.4 La quatrième génération (4G) .....	16
I.4.4.1 Réseau LTE .....	16
I.4.4.2 Le réseau LTE-Advanced.....	16
I.5 Technologie de nouvelle génération (NGN) .....	17
I.6 Conclusion .....	17
<b>Chapitre II : Le Réseau Mobile LTE</b>	
II.1 Introduction .....	19

# Table des matières

---

II.2 Buts de la 4G .....	19
II.3 LTE ( <i>Long Term Evolution</i> ) .....	20
II.3.1 Historique .....	20
II.3.2 Le réseau LTE .....	20
II.4 Architecture du réseau LTE .....	21
II.4.1 Réseau d'accès : E-UTRAN .....	23
II.4.2 Réseau Cœur : EPC ( <i>Evolved Packet Core</i> ) .....	24
III.4.3 La partie IMS : ( <i>IP Multimedia Sub-system</i> ) .....	25
II.5 Les technologies utilisées en LTE .....	26
II.5.1 Le duplexage .....	26
II.5.1.1 Le mode FDD .....	26
II.5.1.2 Le mode TDD .....	26
II.5.1.3 La structure de la trame LTE .....	27
II.5.2 Modulation .....	28
II.6 Les canaux radio .....	30
II.6.1 Les canaux logiques: .....	31
II.6.2 Les canaux de transport : .....	31
II.6.3 Les canaux physique : .....	32
II.7 Les couches du réseau LTE .....	33
II.7.1 La couche physique .....	33
II.7.2 La couche MAC .....	34
II.7.3 La couche RLC .....	34
II.7.4 La couche RRC .....	34
II.7.5 La couche PDCP .....	34
II.8 Caractéristiques du réseau LTE .....	34
II.8.1 La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés .....	35
II.8.2 Débits et fréquences .....	35
II.8.3 La latence .....	36
II.8.4 L'agilité en fréquence .....	36
II.8.5 La mobilité .....	36
II.8.6 La qualité de service .....	37
II.9 La technologie MIMO .....	37
II.10 Conclusion .....	38

# Table des matières

---

## Chapitre III : Dimensionnement D'un Réseau Mobile LTE

III.1 Introduction .....	40
III.2 Processus de Dimensionnement .....	40
III.3 Dimensionnement de couverture .....	41
III.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture .....	42
III.3.2 Le calcul à faire .....	43
III.3.2.1 Bilan de liaison Radio RLB .....	44
III.3.2.2. Modèle de Propagation .....	45
III.3.2.2.1 Modèle Macro-cellule .....	45
III.3.2.2.2 Modèle Micro-cellule.....	45
III.3.2.2.3 Types de modèles de propagation.....	46
III.3.3 Calcul de la couverture pour les Uplink .....	50
III.3.3.1 Débit requis.....	50
III.3.3.2 SINR requis.....	51
III.3.3.3 Sensibilité eNodeB récepteur.....	52
III.3.3.4 Les marges de bruit .....	52
III.3.3.5 Puissance par bloc de ressource EIRP ( <i>Effective Isotropic Radiated Power</i> .....	56
III.3.3.6 Equation bilan de liaison Uplink .....	56
III.4 Calcul de la couverture pour les Downlink .....	58
III.4.1 Pertes de trajet .....	58
III.4.2 Débit binaire requis.....	58
III.4.3 Puissance par bloc de ressource.....	58
III.4.4 Augmentation du bruit à la bordure de la cellule .....	59
III.4.5 Equation bilan de liaison Downlink .....	59
III.4.6 La sensibilité du l'équipement utilisateur récepteur .....	60
III.4.7 SINR à la bordure de la Cellule .....	60
III.4.8 Limite du Bilan de liaison .....	61
III.4.9 Les modes de transmission .....	61
III.4.10 Rayon de la cellule.....	63
III.4.11 Nombre des sites .....	64
III.5 Dimensionnement de capacité.....	66
III.5.1 Calcul dimensionnement de capacité pour les Uplink.....	66
III.5.1.1 Débit de la cellule .....	66



# Table des matières

---

III.5.2 Calcul dimensionnement de capacité Downlink.....	67
III.5.2.1 SINR .....	67
III.5.2.2 Débit de la cellule .....	67
III.5.2.3 Nombre des sites demandés .....	68
III.6 Conclusion.....	68
<b>Chapitre IV : Conception et Réalisation d'un Outil de Dimensionnement du Réseau LTE</b>	
IV.1 Introduction.....	70
IV.2 Présentation du logiciel Matlab.....	70
IV.3 Outil de planification et de dimensionnement LTE .....	73
IV.3.1 Interface d'accueil .....	73
IV.3.2 Onglet « paramètre radio » .....	74
IV.3.3 Onglet « paramètre abonnés » .....	74
IV.3.4 Onglet « paramètre eNodeB » .....	75
IV.3.5 Onglet « paramètre UE » .....	76
IV.3.5 Onglet « paramètre de la ligne » .....	76
IV.3.6 Onglet « paramètre UL-DL » .....	77
IV.3.7 Onglet « paramètre système » .....	78
IV.3.8 Onglet « solution » .....	78
IV.4 Conclusion .....	79
Conclusion générale .....	81
Bibliographie.....	82

## *Liste des figures*

<b>Figure I.1</b> : Concept cellulaire.....	5
<b>Figure I.2</b> : Évolution du nombre d'abonnés mobiles à travers le monde .....	5
<b>Figure I.3</b> : Architecture du réseau GSM .....	7
<b>Figure I.4</b> : L'architecture du BSS .....	8
<b>Figure I.5</b> : L'architecture du NSS .....	8
<b>Figure I.6</b> : Architecture du réseau GPRS.....	10
<b>Figure I.7</b> : L'acheminement des paquets du réseau GPRS .....	11
<b>Figure I.8</b> : Architecture du réseau UMTS.....	13
<b>Figure I.9</b> : Mode de transmission du réseau UMTS .....	15
<b>Figure I.10</b> : Evolution vers les réseaux NGN .....	17
<b>Figure II.1</b> : Evolution de la technologie radio mobile.....	20
<b>Figure II.2</b> : Présentation générale sur le système LTE .....	21
<b>Figure II.3</b> : Architecture du réseau LTE.....	22
<b>Figure II.4</b> : Architecture EPS .....	22
<b>Figure II .5</b> : Architecture eUTRAN.....	23
<b>Figure II.6</b> : Architecture EPC.....	24
<b>Figure II.7</b> : Les modes FDD et TDD .....	27
<b>Figure II .8</b> : La trame LTE.....	27
<b>Figure II.9</b> : Principe de l'OFDM .....	28
<b>Figure II.10</b> : Description fréquentielle de l'OFDMA.....	29
<b>Figure II.11</b> : Comparaison entre OFDMA/SC-FDMA.....	30
<b>Figure II.12</b> : Le mappage entre les canaux logiques.....	32
<b>Figure II.13</b> : Le modèle de la couche PHY du Downlink Shared Channel.....	33
<b>Figure II.14</b> : Présentation général du système MIMO.....	38
<b>Figure III.1</b> : Processus de dimensionnement.....	40
<b>Figure III.2</b> : Processus de dimensionnement de couverture pour le Downlink et l'Uplink ..	43
<b>Figure III.3</b> : Calcul du dimensionnement de couverture .....	44
<b>Figure III.4</b> : Variation SINR en fonction de nombre de bloc de ressources .....	51
<b>Figure III.5</b> : Connexions du système d'alimentation de l'antenne .....	55
<b>Figure III.6</b> : Modèle bilan de liaison Uplink .....	57
<b>Figure III.7</b> : Bilan de liaison Downlink.....	60
<b>Figure III.8</b> : Modèle hexagonales de cellule .....	64
<b>Figure III.9</b> : Illustration de calcul de dimensionnement de capacité.....	67
<b>Figure IV.1</b> : Logo Matlab .....	70

## *Liste des figures*

---

<b>Figure IV.2:</b> Fenêtre principale du Matlab.....	71
<b>Figure IV.3:</b> command Window .....	72
<b>Figure IV.4 :</b> Fenêtre principale du nouveau GUI .....	72
<b>Figure IV.5:</b> Interface GUI Matlab vierge .....	73
<b>Figure IV.6 :</b> Page d'accueil de l'application .....	73
<b>Figure IV.7 :</b> Onglet « paramètre radio » .....	74
<b>Figure IV.8 :</b> Onglet « paramètre abonnés » .....	75
<b>Figure IV.9 :</b> Onglet « paramètre eNodeB » .....	75
<b>Figure IV.10 :</b> Onglet « paramètre UE » .....	76
<b>Figure IV.11 :</b> Onglet « paramètre de la ligne ».....	77
<b>Figure IV.12 :</b> Onglet « paramètre UL-DL » .....	77
<b>Figure IV.13 :</b> Onglet « paramètre système » .....	78
<b>Figure IV.14 :</b> Onglet « solution » .....	79

## *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau III.1</b> : Largeurs de bande et les blocs de ressources spécifiées LTE .....	51
<b>Tableau III.2</b> : Pertes de la pénétration .....	52
<b>Tableau III.3</b> : Pertes selon type de signal .....	53
<b>Tableau III.4</b> : Marge de shadowing .....	54
<b>Tableau III.5</b> : Pertes de ligne d'alimentation .....	55
<b>Tableau III.6</b> : Paramètres semi empiriques pour Downlink .....	63
<b>Tableau III.7</b> : Paramètres semi-empiriques pour l'Uplink .....	63
<b>Tableau III.8</b> : Atténuation fixe dans le modèle de propagation Okumura-hata.....	64
<b>Tableau III.9</b> : Surface de zone .....	65

## *Liste des abréviations*

---

1G : première génération

2G : deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

5G : cinquième génération

3GPP : 3rd Génération Partnership Project

### **A**

AUC : Authentication Center

AMPS : Advanced Mobile Phone System

AM : Acknowledged Mode

### **B**

BG : Border Gateway

BSC : Base Station Controller

BTS : Base Transceiver Station

BSS : Base Station Subsystem

BCH : Broadcast Channel

BCCH: Broadcast Control Channel

### **C**

CRC : Cycle de contrôle de redondance

CCCH : Common Control Channel

### **D**

DL: Downlink

DL-SCH : Downlink Shared Channel.

DCCH: Dedicated Control Channel

DTCH : Dedicated Traffic Channels

### **E**

EIR : Equipment Identification Register

ETACS : Extended Total Access  
Communication System

EDGE : Enhanced Data Rates for GSM  
Evolution

E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial  
Radio Access Network

ENodeB: Evolved NodeB

EIRP : Effective Isotropic Radiated Power

EPC : Evolved Packet Core Network

EPS : Evolved Packet System

ePDG: Evolved Packet Data Gateway

### **F**

FDD : Frequency Division-Duplexing

FUSC : *Full Usage of Subchannels*

### **G**

GGSN : Gateway GPRS Support Node

*GSM* : Global System for Mobile  
communications

GMSC : Gateway MSC

GPRS : General Packet Radio Service

### **H**

HS : High Speed

HSDPA: High Speed Downlink Packet  
Access

HLR : Home Location Register

HARQ : Hybrid ARQ

HSS : Home Subscriber Server

### **I**

IP : Internet Protocol

## *Liste des abréviations*

---

ITU: International Télécommunications Union

IMEI : International Mobile Equipment Identity

IMSI : International Mobile subscriber Identity

IMS : IP Multimedia Sub-system

### **L**

LTE: Long Term Evolution

### **M**

MAC: Medium Access Control

MME : Mobility Management Entity

MSC : Mobile services Switching Center

ME : Mobile Equipment

MIMO: Multi-Input Multiple-Output

MISO : Multi-Input

MTCH : Multicast Traffic Channel

MCH : Multicast Channel

MCCH : Multicast Control Channel

MAPL : Maximum Allowable Path Loss

### **N**

NSS : Network Switching SubSystem

NMC : Network and Management Centre

NGN : Nouvelle Génération

nRB : nombre de blocs de ressources

### **O**

OSS : Operation SubSystem

OLSM : Open Loop Spatial Multiplexing

OMC : Operations and Maintenance

Center

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

### **P**

PLMN : Public Land Mobile Network

PDP : Packet Data Protocol

PUSC : Partial Usage of Subchannels

PCRF : Policy and Charging Rules Function

PDN-GW : Packet Data Network Gateway

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel

PMCH : Physical Multicast Channel

PCCH : Paging Control Channel

PBCH: Physical Broadcast Channel

PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel

PUCCH: Physical Uplink Control Channel

PRACH: Physical Random Access

Channel

PDCCH : Physical Downlink Control Channel

PDCP : Packet Data Convergence Protocol

### **Q**

QoS: Quality of Service

QDS : Qualité de service

## *Liste des abréviations*

---

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

### **R**

RA: Rural Area

RB : Resource Blocks

RRC : Radio Resource Control

RNC : Radio Network Controller

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services

RTCP : Real-time Transport Control Protocol

RTC : Réseau Téléphonique Commuté

RRC : Radio Resource Control

RLC : Radio Link Control

RACH : Random Access Channel

### **S**

SIMO : Single Input Multiple Output

SISO : Single Input Single output

SIP : Standards IP

SINR : Signal Interference-plus-noise Ratio

SPM : Standard Propagation Model

SAE : System Architecture Evolution

SGSN : Serving GPRS Support Node

SIM : Subscriber Identity Module

SC-FDMA: Single Carrier - Frequency Division Multiple Access

S-GW : Serving Gateway

### **T**

TDMA : Time Division Multiple Access

TACS : Total Access Communication System

TDD : Time Division Demultiplexed

TS : Time slot

TM : Transport Mode

TTI : Transmission Time Interval

### **U**

UM :Unacknowledged Mode

UMTS : Universal Mobile Télécommunications System

UE : User Equipment

UL : UpLink

UL-SCH : UpLink Shared Channel

### **V**

VLR : Visitor Location Register

VoIP : Voice over IP

---

# *Introduction Générale*

---



# *Introduction Générale*

---

L'industrie de télécommunications cellulaires a connu une croissance énorme dans les dernières années avec 5 milliards d'utilisateur dans le monde. Le réseau radio cellulaire est le système de communication mobile qui a le plus de succès, il peut être utilisé pour transmettre la voix et les données.

Avec l'évolution rapide des nouvelles techniques multimédias mobiles et la panoplie de services offerts, il est de plus en plus stratégique pour les opérateurs et fournisseurs mobiles de procéder à un design efficace, robuste et complet, pour l'amélioration des services.

Ce travail a pour objectif d'étudier cette convergence des moyens de communication dans le cadre des réseaux mobiles. Le premier chapitre donnera un aperçu général des différentes normes de téléphonie mobile tel que la 1<sup>ère</sup> génération (1G) comme l'était, au départ, la téléphonie fixe, le GSM (2G) qui donnaient accès au service voix en mobilité, le GPRS (2,5 G), l'EDGE (2,75 G) et enfin l'UMTS (3G) qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.

Le deuxième chapitre est une étude profonde sur le réseau mobile LTE, son architecture, ses caractéristiques, ses technologies d'accès et ses protocoles.

Le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement orientée capacité et couverture du réseau LTE dans lequel nous expliquons en détails le processus de dimensionnement.

Enfin, dans le quatrième chapitre nous élaborons la conception et la réalisation par l'exposition des différentes interfaces de l'application accompagnée d'une description précise.

***CHAPITRE I :***  
***Principaux Standards***  
***de Téléphonie Mobile et***  
***leurs Evolutions***

## I.1 Introduction

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive de câbles.

Le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G qui n'est pas encore mis en œuvre) et ont connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires.

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

Le principe de fonctionnement du réseau mobile est basé sur un système cellulaire, c'est-à-dire que 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. [1]

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

Dans les zones urbaines, l'opérateur utilise des microcellules (de quelques centaines de mètres de rayon) pour écouler un trafic important par unité de surface.

Dans les zones rurales, faiblement peuplées, les cellules sont de tailles importantes (jusqu'à 30 Km) et sont appelées des macro cellules.

Les systèmes de radiotéléphonie cellulaire sont donc adaptés à des environnements très variés (zones urbaines ou rurales, usagers fixes ou mobiles, intérieur et extérieur des immeubles).

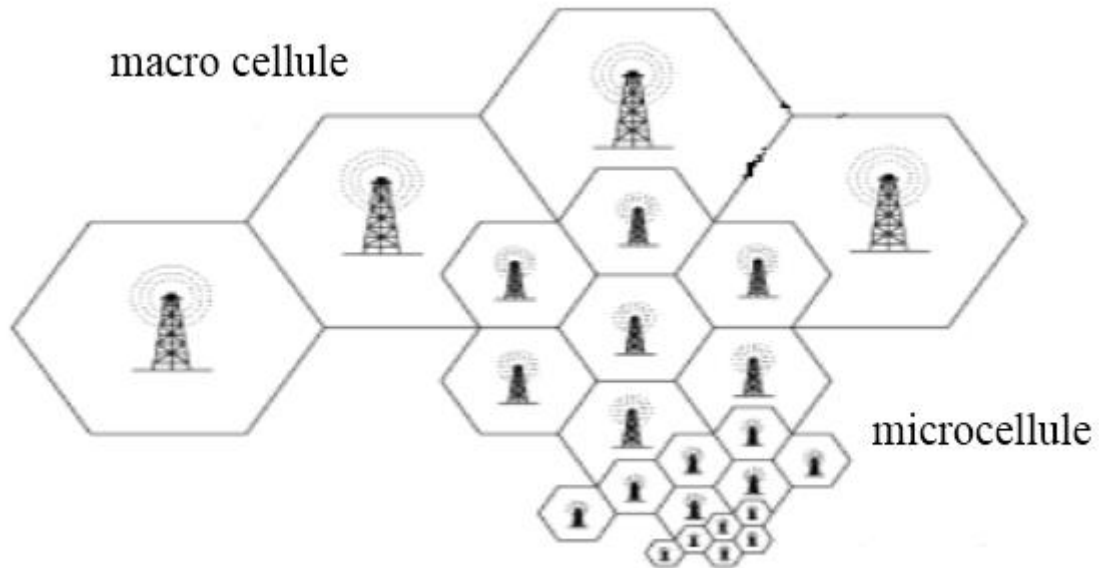


Figure I.1 : Concept cellulaire. [2]

### I.3 Historique

L'usage des services de communications mobiles a connu un essor remarquable, ces dernières années. La figure I.2 illustre l'évolution du nombre d'abonnés mobiles au regard de la population mondiale. La fin 2012 environs 6.4 milliards d'abonnés à travers le monde.

C'est véritablement un nouveau secteur de l'industrie mondiale qui s'est créé, regroupant notamment constructeurs de circuits électroniques, de terminaux mobiles, d'infrastructures de réseaux, développeurs d'applications et de services et opérateurs de réseaux mobiles.

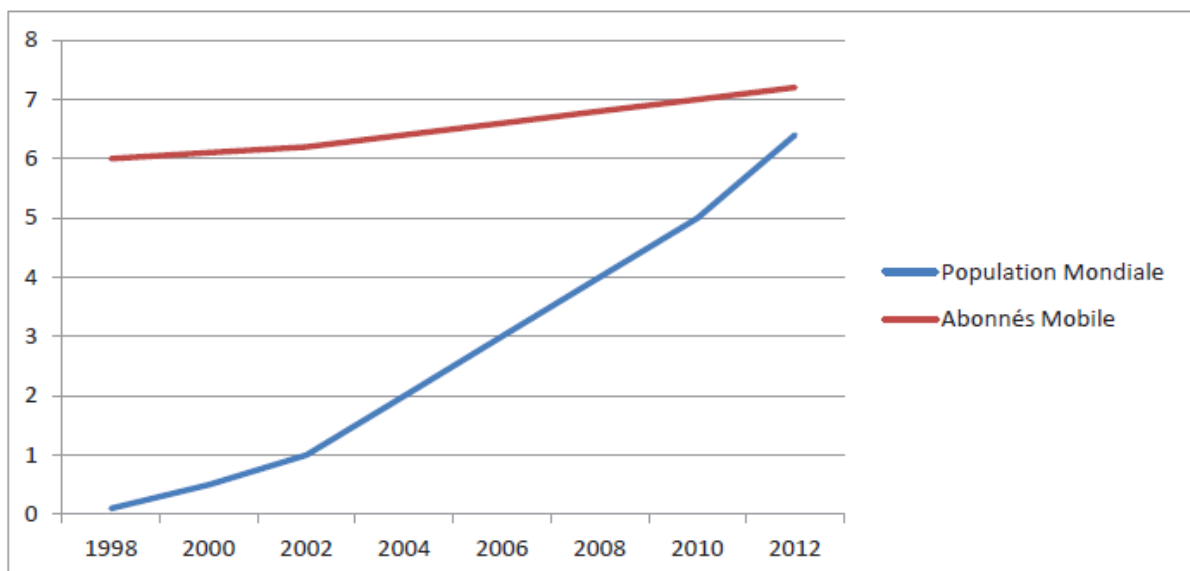


Figure I.2 : Évolution du nombre d'abonnés mobiles à travers le monde.

## I.4 Evolution des systèmes radio cellulaires

### I.4.1 La première génération (1G)

Dans les années 1970-1980, la première génération de téléphone mobile noté (1G) fait son apparition. Elle avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, un fonctionnement analogie non sécurisée (écouter les appels), constitué d'appareils relativement volumineux, couverture limitée, et pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur).les principaux standards utilisés par la 1G sont :

#### ❖ *AMPS (Advanced Mobile Phone System)*

Apparu aux états unies 1976, le premier standard analogie de réseau cellulaire, ce réseau possédait un faible mécanisme de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.

#### ❖ *TACS (Total Access Communication System)*

Est la version européenne du modèle AMPS, ce système fut également utilisés en Angleterre, puis en Asie avec une bande de fréquence des 900 MHz.

#### ❖ *ETACS (Extended Total Access Communication System)*

Une amélioration du standard TACS développée par le royaume uni qui utilisait un nombre plus important de canaux de communications. [3]

### I.4.2 La deuxième génération (2G)

La 2G a vu un changement de technologie, en passant de la transmission analogique à la transmission numérique. Ces principaux standards sont : le GSM, GPRS, et l'EDGE.

#### I.4.2.1 le réseau GSM (2G)

Le GSM (*Global System for Mobile communications*), est le standard le plus utilise dans les années 1990 en Europe et supporte aux Etats-Unis. Le réseau radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre la transmission de la voix et des données entre des abonnés mobiles et des abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC).

✓ GSM 900 : système radio mobile à vocation urbaine et rurale (macro cellule) et utilisant la fréquence des 900MHz avec des sous bandes de largeur 25MHz : (890-915) MHz et (935-960) MHz.

✓ DCS 1800 : exploite la fréquence 1800 Mhz avec des sous bandes de largeurs 75 Mhz, destiné pour les réseaux mobiles spécialement dans les zones urbaines (microcellule).

#### 1.4.2.1.1 Architecture du GSM

Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio. la figure I.3 présente l'architecture du réseau GSM :

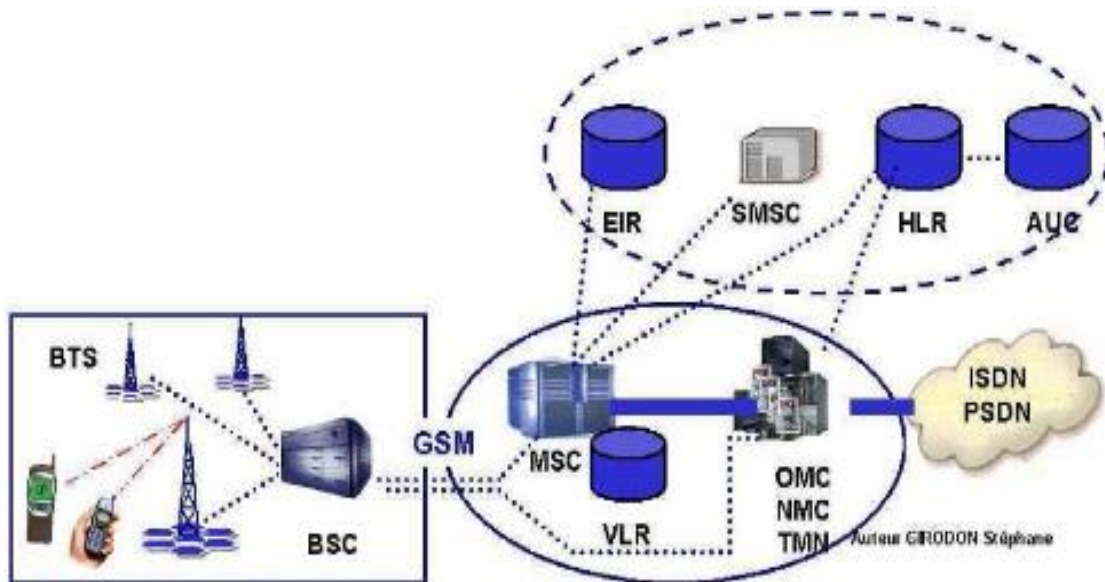


Figure I.3 : Architecture du réseau GSM. [4]

Ainsi le réseau GSM est composé de quatre sous-ensembles :

##### a) La station mobile (*Mobile Station*) :

C'est le téléphone portables, permet à l'abonnés d'accéder au service GSM au travers du système cellulaire. la station mobile est composée d'un combiné téléphonique identifié par un numéro unique l'IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) et d'une carte SIM qui contient le numéro d'identification de l'abonné IMSI (*International Mobile subscriber Identity*) et des algorithmes de chiffrement. [2]

##### b) Le sous-système radio BSS (*Base Station Subsystem*) :

C'est un sous-système qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio.

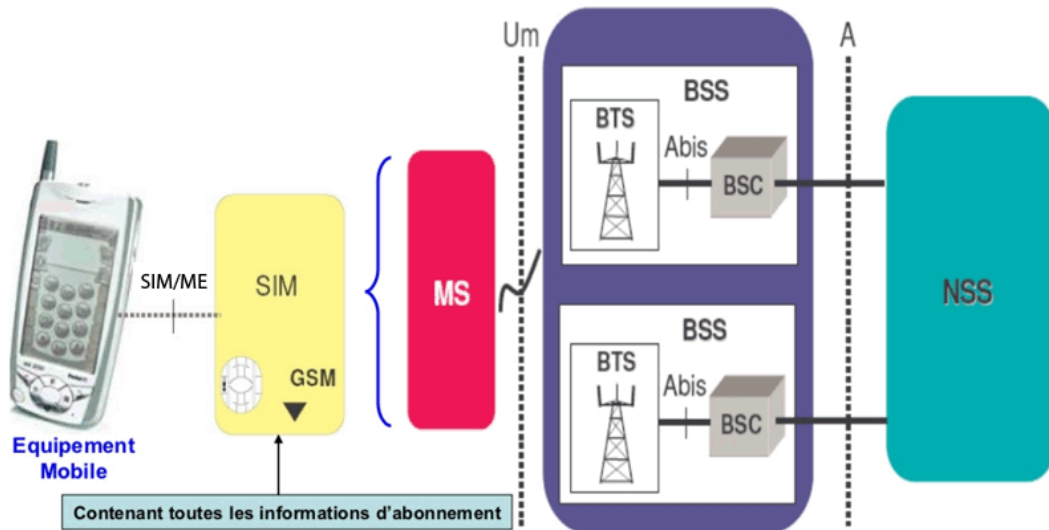


Figure I.4 : L'architecture du BSS.

Le BSS est composé d'un ensemble regroupant le BSC et les BTS qui lui sont associés.

- ❖ **La BTS (*Base Transceiver Station*)** : Ce sous-système est composé d'un ensemble d'émetteurs/récepteurs TRx pilotant une ou plusieurs cellules. Ce type d'équipement assure l'interface entre les mobiles et les structures fixes spécifiques au GSM.
- ❖ **Le BSC (*Base Station Controller*)** : Le BSC est l'organe intelligent du BSS, il administre un ensemble de station de base BTS. Le contrôleur de station de base BSC assure l'allocation de canaux, la gestion du saut de fréquence, le transfert intercellulaire des communications et la gestion de la signalisation sur voie radio.
- c) **Le sous-système d'acheminement NSS (*Network Switching SubSystem*)** :

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutations et de routage, il permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS.

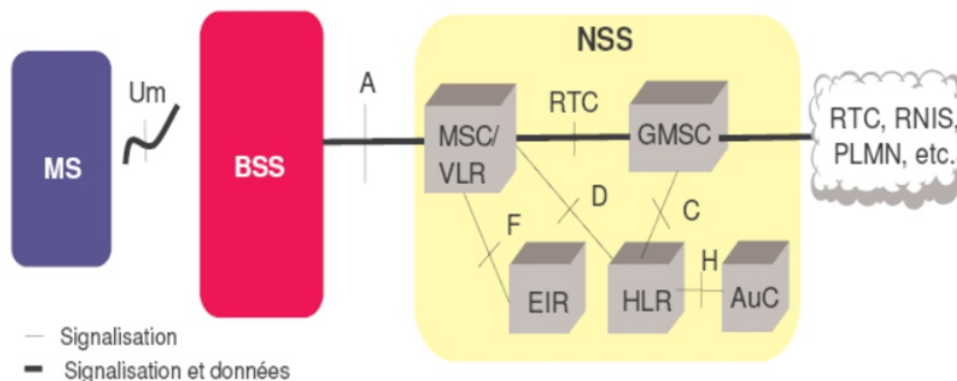


Figure I.5 : L'architecture du NSS.

Les équipements qui constituent ce segment sont :

- ❖ **Le HLR (*Home Location Register*)** : le HLR est la base de données centrale contenant toutes les informations de localisation et de caractéristiques des abonnés, il mémorise pour chaque abonné le numéro du VLR où il est enregistré. Le réseau identifie le HLR associé à chaque abonné à travers le numéro d'appel de l'abonné MSISDN ou de l'identité IMSI de l'abonné.
  - ❖ **Le VLR (*Visitor Location Register*)** : L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC qui enregistre temporairement les informations relatives aux terminaux présents et actifs (au moins en veille) dans son secteur de couverture. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.
  - ❖ **Le MSC (*Mobile services Switching Center*)** : le MSC est le centre de commutation généralement associées aux bases de données VLR. Il assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Le MSC développe aussi la fonctionnalité du Gateway face aux autres composants du système et de la gestion des processus de handover, et il assure la commutation des appels en cours entre des BSC différents ou vers un autre MSC et la transmission des messages courts.
  - ❖ **L'AUC (*Authentication Center*)** : Le Centre d'authentification est une fonction du système qui a pour but de mémoriser pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. Le mécanisme d'authentification vérifie la légitimité de la SIM sans transmettre, pour autant, sur le canal radio les informations personnelles de l'abonné.
  - ❖ **L'EIR (*Equipment Identification Register*)** : c'est une base de données contenant les identités des terminaux (IMEI). Ce sous système peut être consulté lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier si un Mobile Equipement (ME) a ou il n'a pas le droit d'accès au système.
- d) Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (*Operation SubSystem*) :**

L'OSS assure la gestion et la supervision du réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant l'interface du réseau fixe RTC existant.



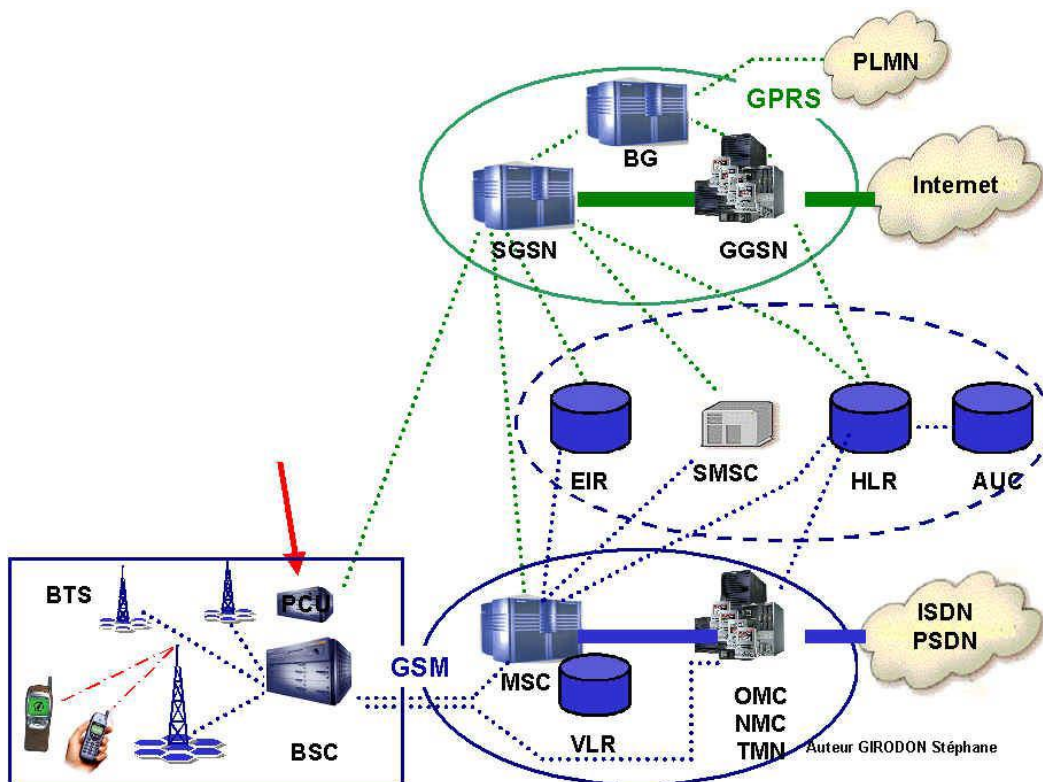
❖ **Le NMC** : permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé.

❖ **Les OMC** : permettent une supervision locale des équipements. Par exemple des OMC supervisent des ensembles de BTS et de BSC. D'autres OMC supervisent de MSC et des VLR.

#### I.4.2.2 Le réseau GPRS (2.5G)

Le GPRS (*General Packet Radio Service*) fait son apparition en 2001, il représente une évolution majeure du GSM à travers l'utilisation de la commutation par paquet et spécialement de l'internet. Un réseau GPRS comprend des abonnés mobiles ou fixes et peut être relié à divers réseaux de données fixes reposant sur différents protocoles : IP (Internet Protocol), X25 (protocole de l'IUT orienté connexion).

Un des intérêts du GPRS est de permettre des débits instantanés supérieurs à ceux du GSM. Les recommandations GPRS reprennent l'architecture du BSS mais une architecture différente du NSS, la figure I.4 présente l'architecture du réseau GPRS.



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

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Il est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite de spécifier de nouvelles entités :

- ❖ **Le nœud de service (SGSN) :** Le SGSN (*Serving GPRS Support Node*) est un routeur IP en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio (BTS, BSC, HLR...), il est relié à un ou plusieurs BSS du réseau GSM.  
Le nœud de service dénommé SGSN gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. Il est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.
- ❖ **Le nœud de passerelle (GGSN) :** Le nœud passerelle GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) est un routeur qui permet aux paquets venant de réseaux de données externes d'être acheminés vers le SGSN du destinataire, il est relié à un ou plusieurs réseaux de données (éventuellement un autre réseau GPRS).
- ❖ **Le module BG pour la sécurité :** Le module BG (*Border Gateway*) est défini comme un nœud passerelle permettant de relier un réseau GPRS à un réseau fédérateur interconnectant différents réseaux GPRS. Ces BG jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (*Public Land Mobile Network*) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux.
- **Principe générale de l'acheminement des données :**

Lorsqu'un mobile transmet des données vers un terminal fixe du réseau de données PDP(X25, IP,...), les données émises par le mobile arrivent via le BSS (BTS+BSC) jusqu'au SGSN puis sont envoyées vers le GGSN car c'est la passerelle avec le réseau PDP.

Le routage des données vers les terminaux mobiles utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels.

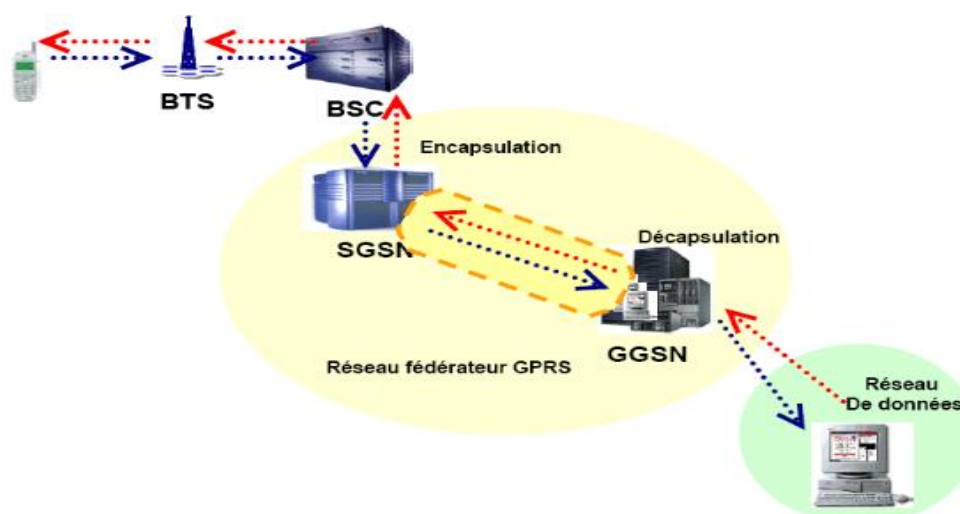


Figure I.7 : L'acheminement des paquets du réseau GPRS.

- **Gestion de l'itinérance :**

La gestion de l'itinérance dans GPRS reprend les principes de GSM avec le regroupement de cellules en zones. Cependant GPRS permet une localisation plus précise par la définition de zones de routage (RA (*Routage Area*), un regroupement de cellules).

Dans GPRS, un mobile peut avoir 3 états :

- ✓ l'état « repos » correspond à un mobile éteint ou qui souhaite se mettre hors du réseau.
- ✓ l'état « surveillance » le mobile est localisé par le SGSN à sa zone de routage près.
- ✓ l'état « prêt » le mobile est localisé à la cellule près.

### **I.4.2.3 HSCSD ou EDGE (2.75G)**

EDGE représente une seconde forme d'évolution des systèmes 2G, il est utilisé comme transition vers la 3G. Il s'agit d'une simple évolution de la technologie GSM/GPRS et du système TDMA permettant d'obtenir un débit pouvant atteindre 384 Kb/s ouvrant la porte aux applications multimédia.

Ce standard utilise une nouvelle modulation du signal (8PSK) qui permet d'améliorer l'efficacité spectrale, la capacité du réseau et le taux de la transmission de données.

### **I.4.3 La troisième génération (3G)**

La troisième génération (3G) représente une évolution majeure par rapport à la 2G. Sur la base de communications «voix», se sont les services mobiles qui profitent de réseaux hauts débits largement supérieurs.

#### **I.4.3.1 le réseau UMTS (3G)**

Abréviation d'*Universal Mobile Telecommunications System*, l'UMTS désigne une nouvelle norme de téléphonie mobile. On parle plus généralement de téléphonie de troisième génération ou 3G. En 2002 la norme UMTS fait son apparition, elle constitue une voie royale pour le développement de produits et de services multimédias. Un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

Les technologies développées autour de cette norme conduisent à une amélioration significative des services et des vitesses de transfert avec des débits supérieurs à 144 Kbps et pouvant aller jusqu'à 2 Mb/s.

L'idée est d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation.

Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

La mise en place d'un réseau UMTS permet à un opérateur de compléter son offre existante par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS. L'architecture du réseau UMTS est présentée par la figure I.5 ci dessous ;

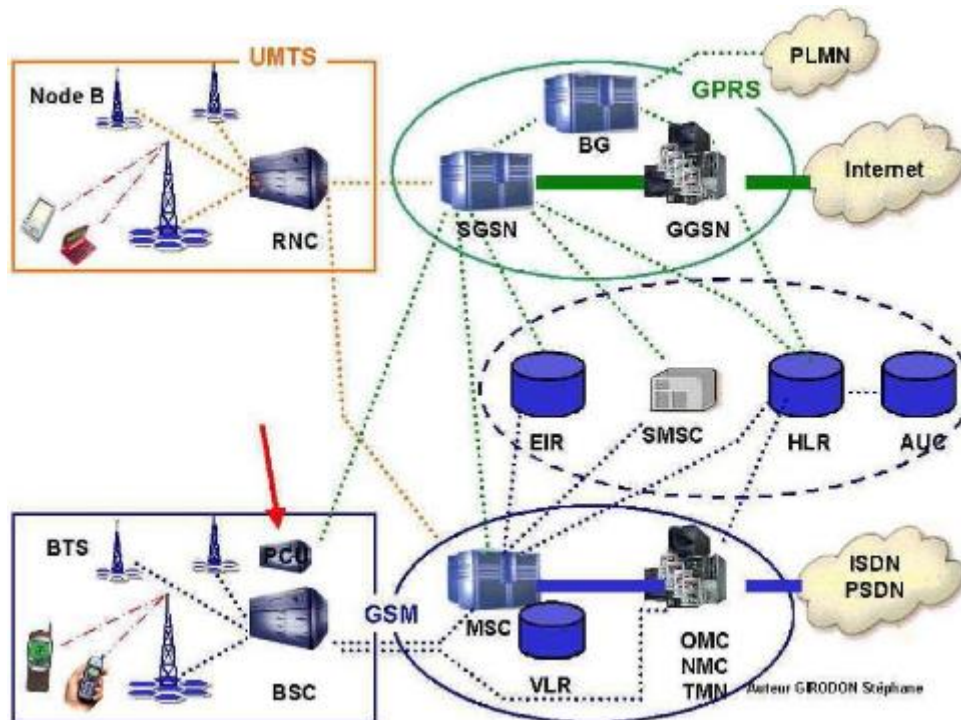


Figure I.8 : Architecture du réseau UMTS. [4]

#### I.4.3.1.1 Les équipements du réseau UMTS

La mise en place du réseau UMTS implique la mise en place de nouveaux éléments sur le réseau GSM/GPRS.

- ❖ **Le Node B** : Les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Le Node B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Le rôle principal du Node B est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager.
- ❖ **Le RNC (Radio Network Controller)** : Le RNC est un contrôleur de Node B. Le RNC est encore ici l'équivalent du BSC dans le réseau GSM. Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour définir les procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des nodes B) et le réseau.

- ❖ Le RNC s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit.
- ✓ le Serving RNC : qui sert de passerelle vers le réseau.
- ✓ Le Drift RNC : qui a pour fonction principale le routage des données.
- ❖ **La carte USIM** : La carte USIM assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications, en utilisant des algorithmes de cryptage à clés publiques. La carte USIM est l'équivalent en 3G de la carte SIM en 2G. Il existe actuellement des cartes tri-modes GSM/GPRS/UMTS permettant un accès à ces réseaux.
- ❖ **Le Mobile** : Les technologies de l'informatique et des télécommunications se rapprochent par l'intégration de système d'exploitation et d'applications sur les terminaux UMTS. Les terminaux s'adapteront sur différents réseaux et devront être capables de fonctionner sur quatre environnements :
  - ✓ dans une zone rurale,
  - ✓ dans des espaces urbains,
  - ✓ dans un bâtiment (indoor),
  - ✓ avec un satellite.

#### ***1.4.3.1.2 Les fréquences de l'UMTS***

L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

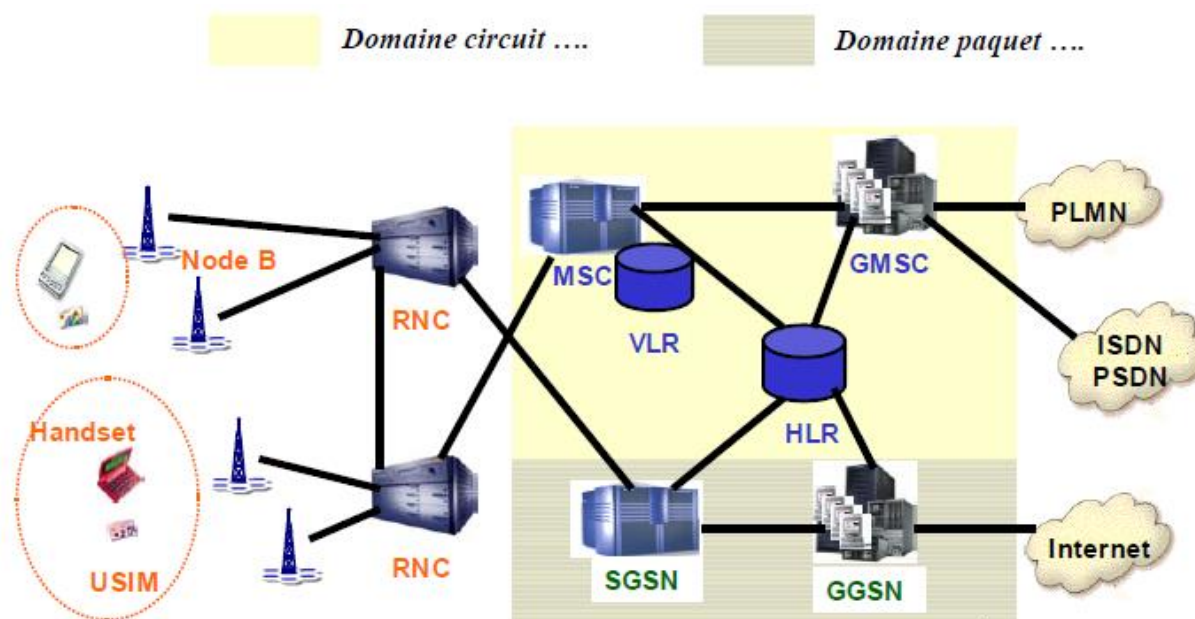
- ✓ Duplex temporel TDD (*Time Division Demultiplexed*) : [1885 – 1920] MHz (Uplink bande de 35Mz) et [2010 – 2025] MHz (Downlink bande de 15 MHz).
- ✓ Duplex fréquentiel FDD (*Frenquency Division Demultiplexed*) [1920 – 1980] MHz (Uplink bande de 60 MHz) et [2110 – 2170] MHz (Downlink bande de 60 MHz).
- ✓ Bandes satellites : [1980 – 2010] MHz (Uplink de 30 MHz) et [2170 – 2200] MHz (Downlink de 30 MHz).

La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz. [1]

#### ***1.4.3.1.3 Les modes de transmission***

Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet.





**Figure I.9:** Mode de transmission du réseau UMTS.

➤ **Le domaine circuit :** Il permet de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques ((vidéo téléphonie), jeux vidéo, streaming, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Le débit du mode domaine circuit est de l'ordre de 384 Kbits/s.

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

➤ **Le domaine paquet :** Ce domaine permet de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'Internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'accès/utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transitent en mode paquet. Le débit du domaine paquet est de l'ordre de 2Mbits/s.

### I.4.3.2 HSDPA (3.5G)

Cette nouvelle technologie offre des débits pouvant aller au-delà de 10Mb/s sur le lien descendant. Le HSDPA peut être installé et déployé sans changer radicalement l'architecture de l'UMTS. Il permet du coup aux opérateurs de réaliser cette évolution à moindre coût.

### I.4.3.3 HSUPA (3.75G)

La 3.75G est une variante de HSDPA sur la voie montante. HSUPA peut être considérée comme le successeur de HSDPA, elle porte un débit montant (*Uplink*) à 5,8 Mb/s théorique, le flux descendant (*Downlink*) étant de 14 Mb/s. L'intérêt de cette technologie est d'offrir la

possibilité d'émettre vers d'autres mobiles toutes sortes des documents électroniques (images, vidéos...) favorisant ainsi le développement de l'Internet haut débit mobile.

#### **I.4.4 La quatrième génération (4G)**

Toujours en cours de recherches et de standardisation, le réseau 4G (4ème génération) est proposé comme future génération des réseaux mobiles après la 3G. Ce réseau a également pour objectif d'abolir les frontières de la mobilité.

Les débits supposés sont entre 20 et 100 Mb/s à longue portée et en situation de mobilité, et 1 Gb/s à courte portée vers des stations fixes.

Par définition, la 4G assure la convergence de la 3G avec les réseaux de communication radio fondés sur le protocole IP. La connexion devra être possible quel que soit le mode de couverture.

##### **I.4.4.1 Réseau LTE**

LTE (*Long Term Evolution*) est la norme de communication mobile la plus récente qui est proposée par l'organisme 3GPP dans le contexte de la 4G. Cette technologie est composée des deux parties : le réseau d'accès E-UTRAN, et le réseau cœur appelé SAE (System Architecture Evolution), elle propose des débits élevés pour le trafic temps-réel, avec une large portée. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50 Mb/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant.

Contrairement à la 3G qui nécessite d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz, le LTE propose plusieurs bandes de fréquences allant de 1.25 jusqu'à 20 MHz. Cela lui permettra de couvrir de grandes surfaces.

Avec le 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations-voix et données - par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer.

##### **I.4.4.2 Le réseau LTE-Advanced**

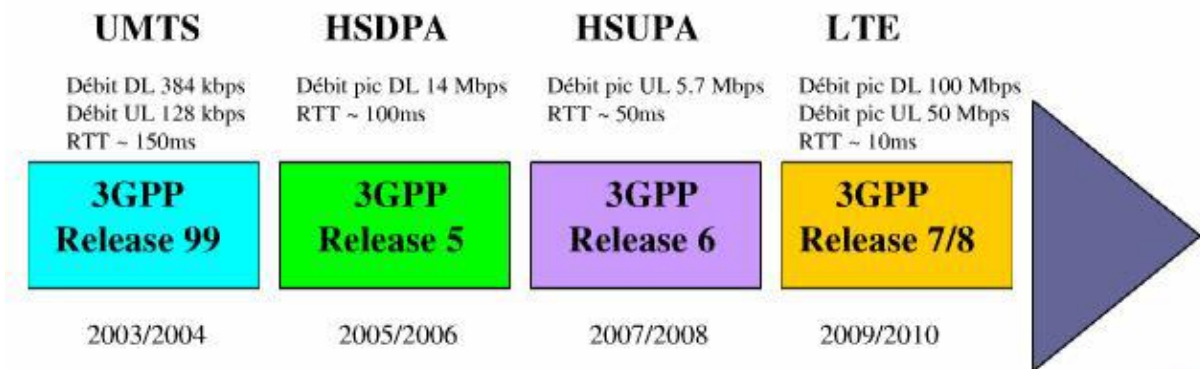
Le LTE Advanced est une évolution de la norme LTE qui lui permet d'atteindre le statut de véritable norme 4G, tout en gardant une compatibilité ascendante complète avec le LTE, au niveau des terminaux (Smartphones, tablettes, clés 4G) et au niveau du réseau, grâce aux fréquences identiques et aux codages radio (OFDMA et SC-FDMA) qui sont ceux déjà utilisés dans les réseaux LTE (accès radio EUTRAN).

Le LTE-Advanced sera capable de fournir des débits pics descendants (téléchargement) supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et à plus de 100 Mb/s pour un terminal en mouvement, grâce aux

technologies réseaux intelligentes qui permettent de maintenir des débits plus élevés en tout point de la cellule radio, alors qu'ils baissent fortement en bordure des cellules UMTS et LTE.

### I.5 Technologie de nouvelle génération (NGN)

Les futures générations de réseaux (Figure I.11) reposent sur l'intégration de plusieurs systèmes et technologies d'accès sans fil. Ce système de télécommunication représente la convergence entre les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> générations et les diverses technologies radio complémentaires. Les terminaux de cette technologie sont capables de sélectionner à chaque instant la meilleure solution pour accéder à un réseau donné.



**Figure I.10** : Evolution vers les réseaux NGN

- 3GPP : (*3rd Generation Partnership Project*) consiste en une collaboration active entre différents organismes de standardisations en télécommunications. Le but de ce groupe est d'établir les spécifications techniques des réseaux mobiles 3G.

### I.6 Conclusion

Les réseaux de téléphonie se sont beaucoup plus développés, qu'ils soient filaires ou hertziens. Ces dernières années, un besoin s'est créé, celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile pour cela ont vu l'apparition de nouveaux réseaux sans fil pour la communication à distance.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une généralité sur les différents standards de téléphonie mobile et leurs principales services et caractéristiques.



# ***CHAPITRE II :***

## ***Le Réseau Mobile LTE***

## II.1 Introduction

L'évolution des technologies de l'information et de la communication et le besoin croissant de mobilité ont donné naissance aux réseaux sans fil, qui utilisent comme support de transmission les ondes hertziennes suivant la technologie cellulaire.

La communication mobile est le domaine le plus rapide en croissance dans l'industrie des télécommunications. Le réseau radio cellulaire est le système de communication mobile qui a le plus succès. Il peut être utilisé pour transmettre la voix et les données. La transmission des données via un réseau cellulaire est un nouveau service, ce qui rend les réseaux de données accessible à partir de terminaux mobile au moyen de téléphone cellulaires.

La planification des réseaux mobiles est un processus itératif composé de plusieurs phases, présentant chacune un degré de complexité différent. Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G) et de troisième génération (3G), une série de recherches ont été menées et visent à minimiser les coûts des équipements, tout en maintenant une communication de qualité et une capacité élevée.

Toujours en cours de recherches et de standardisation, le réseau 4G (4ème génération) est proposé comme future génération des réseaux mobiles après la 3G. Ce réseau a également pour objectif d'abolir les frontières de la mobilité.

## II.2 Buts de la 4G

Les opérateurs se battent actuellement sur le déploiement de la « 4G », cette fameuse technologie qui devrait leur permettre de se différencier par la qualité de leur réseau.

La 4ème génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir de meilleurs débits aux usagers en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP. [5]

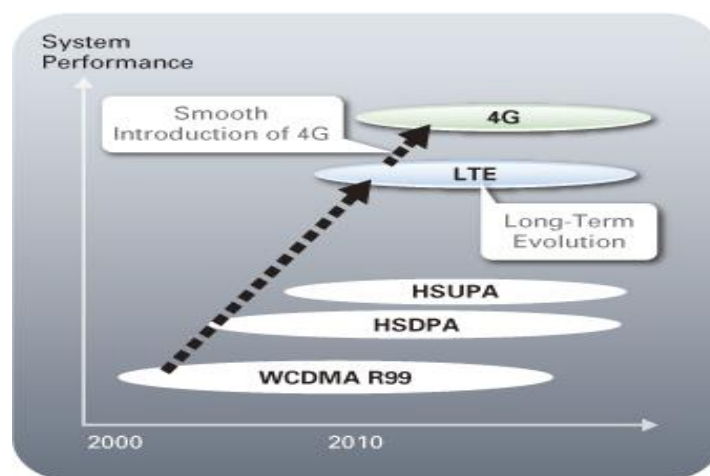
La quatrième génération présente, pour l'amélioration des services, des plateformes multi-technologiques capables de supporter de nouvelles applications innovatrices.

## II.3 LTE (*Long Term Evolution*)

### II.3.1 Historique

Le LTE a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS (d'où son nom de *Long Term Evolution*), lors d'un atelier organisé par le 3GPP appelé *Future Evolution Workshop*. Cette évolution était alors destinée à maintenir la compétitivité de l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà.

Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est conclue en septembre 2006 avec la définition des grands principes de la technologie LTE. Les travaux de spécification proprement dit se sont alors déroulés jusqu'à décembre 2008, date où la première version des spécifications a été approuvée. Le LTE est ainsi défini dans la Release 8 du 3GPP. Du fait du saut technologique qu'il représente par rapport au HSDPA, le LTE est considéré comme constituant une quatrième étape de l'évolution des réseaux d'accès mobiles, ou 4G. On peut ainsi véritablement parler d'une révolution de l'UMTS, plutôt que d'une évolution. [6]



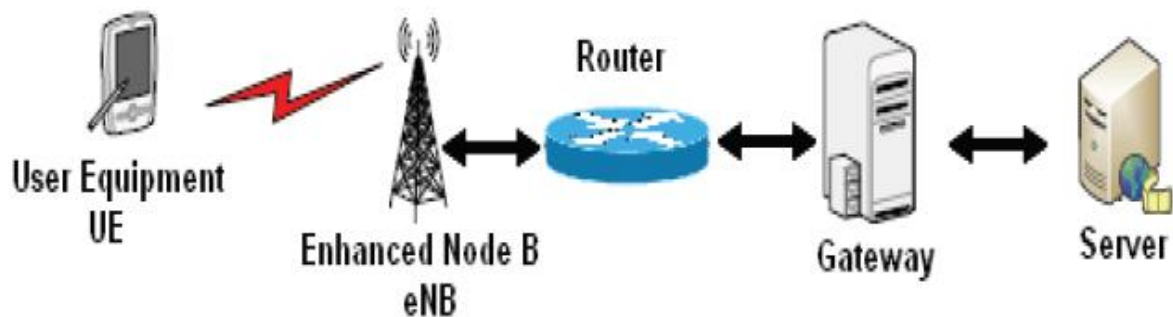
**Figure II.1 :** Evolution de la technologie radio mobile.

### II.3.2 Le réseau LTE

Le LTE (*Long Term Evolution*) désigne une norme spécifiée réalisée par l'organisme de standardisation 3GPP pour améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux évolutions technologiques. Les buts de la LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permet le transfert de données à

haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevée que dans l'UMTS avec latence plus faible.

Le LTE est basé sur des techniques radios telles que la technique OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pour le sens descendant, la technique SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*) pour le sens montant et la technique MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) pour l'émission-réception. Les largeurs de bande de cette norme peuvent s'étendre de 1,25 à 20 MHz en liaison montante comme en liaison descendante, ce qui permet à un opérateur d'adapter cette technologie aux bandes de fréquence qu'il possède. [7]

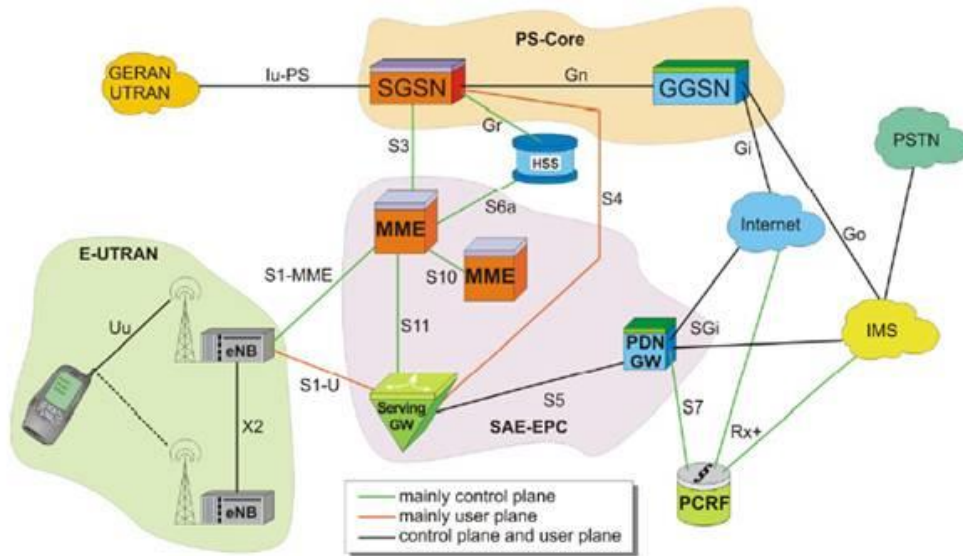


**Figure II.2 :** Présentation générale sur le système LTE. [8]

#### II.4 Architecture du réseau LTE

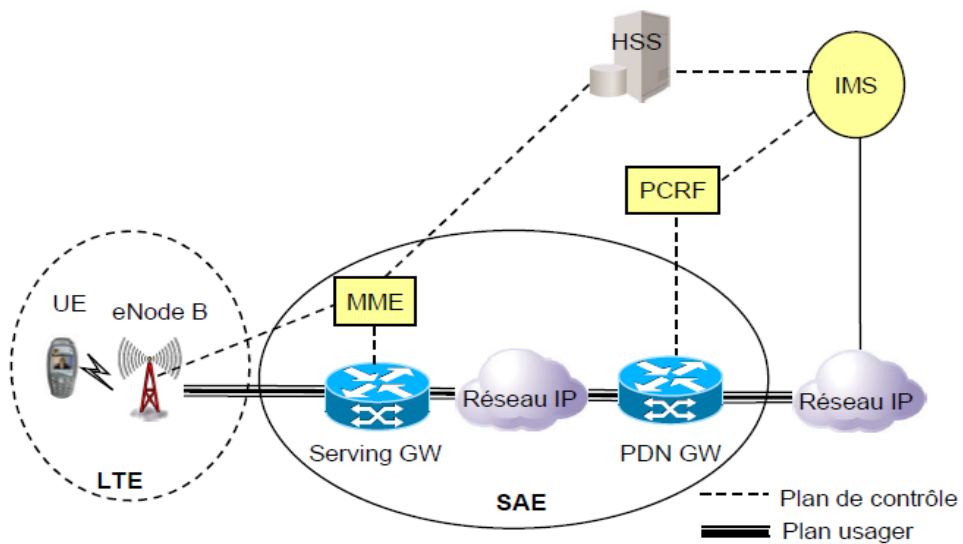
La technologie LTE a rapporté une efficacité spectrale, amélioration de débit, augmentation de couverture et du nombre d'appels supporté par la cellule. De même que ces précédentes, Elle est caractérisée par son architecture qui comporte :

- Un réseau d'accès : L'E-UTRAN
- Un réseau Cœur : Réseau tout-IP



**Figure II.3:** Architecture du réseau LTE.

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



**Figure II.4 :** Architecture EPS. [9]

### II.4.1 Réseau d'accès : E-UTRAN

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

❖ **L'eNodeB (Evolved Node B) :** L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la principale fonction de l'eNodeB est d'acheminer les flux de données de l'UE vers l'EPC (*Evolved Packet Core Network*). Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent.

- **L'interface X2 :** C'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le Handover ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1.

- **L'interface S1 :** C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, et elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires : Cette dernière consistent **S1-U** (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW et **S1-C** (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME. Les eNodeB ont offert deux qualités au réseau

- ✓ La sécurité en cas de problème d'un relais.
- ✓ Un partage des ressources en cas de saturation du lien principale.

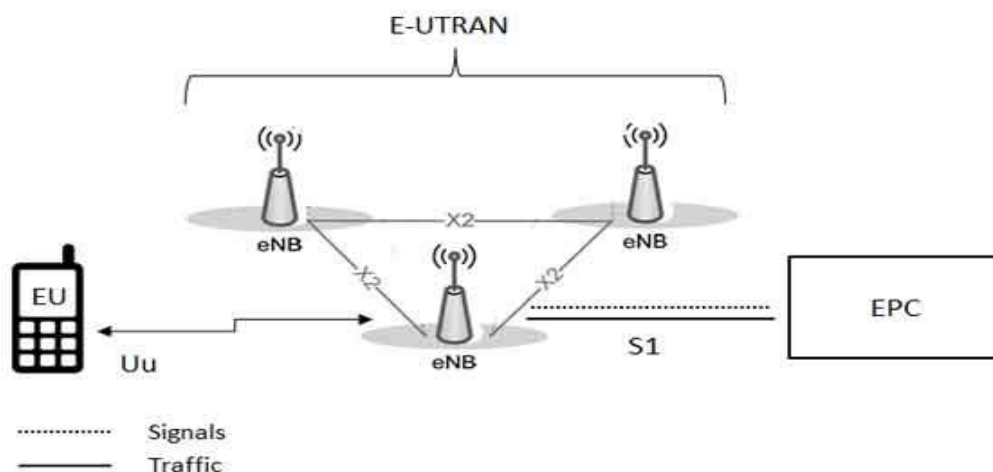
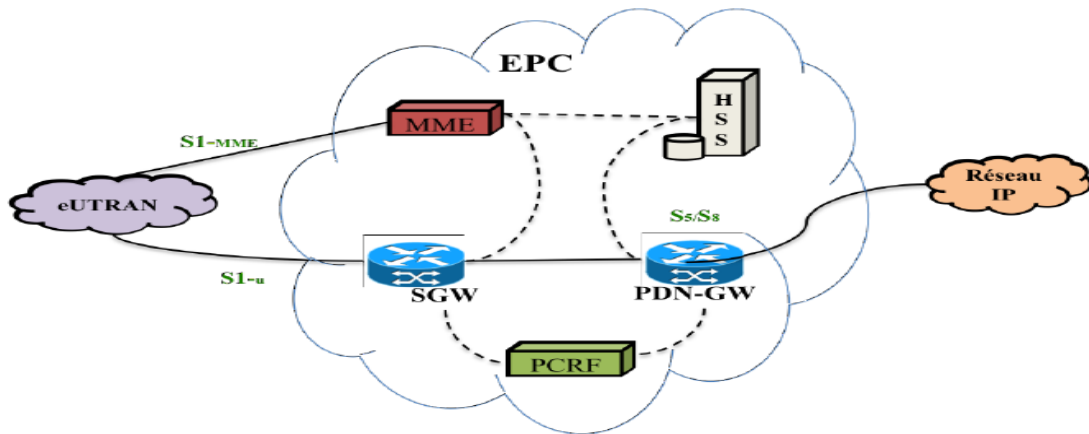


Figure II .5 : Architecture E-UTRAN.

### II.4.2 Réseau Cœur : EPC (*Evolved Packet Core*)

C'est le nom du réseau cœur évolué, paquet tout IP. EPC est aussi peut communiquer avec les réseaux 2G/3G. Le réseau cœur assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service et la gestion de la sécurité, au moyen des équipements tels que le MME, le SGW, PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*) et le PCRF (*Policy and Charging Rules Function*), comme indique sur la figure II.6 :



**Figure II.6:** Architecture EPC.

❖ **MME (*Mobility Manager Entity*) :** Cette partie est responsable de savoir la localisation de l'utilisateur, de connaître son état et gérer les procédures authentification et mobilité des UE [10]. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (*Utilisateur Equipment*) et le réseau cœur. Le MME est responsable de la diffusion des messages de paging quand l'UE est dans l'incapacité de recevoir les paquets qui lui sont destinés.

❖ **HSS (*Subscriber Home*) :** Le HSS est une base de données évoluée du HLR. Il permet de stocker des informations d'abonnement pouvant servir au contrôle des appels et à la gestion de session des utilisateurs réalisé par le MME. Il entrepose, pour l'identification des utilisateurs, la numérotation et le profil des services auxquels ils sont abonnés. En plus, il contient les informations de souscription pour les autres réseaux, comme le GSM, le GPRS, 3G et LTE.

❖ **SGW (*Serving Gateway (3GPP Release 8)*)**: Le SGW est défini pour gérer les « données utilisateur » et est impliqué dans le routage et la transmission de paquets de données entre les eUTRAN et le réseau cœur. Il opère comme une ancre locale qui sert pour la mobilité inter-eNode B (handover inter-eNode B) et permet de faire la relève entre les systèmes mobiles de différentes générations, comme LTE et UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

❖ **PCRF (*Policy and Charging Rules Function (3GPP Release7)*)**: Le PCRF est une entité gérer la qualité de service que requiert le réseau, il est responsable sur la décision principale du contrôle. En effet, il gère les politiques de facturation qui doivent être prises en compte par le PDN-GW et applicables en fonction des actions de l'utilisateur.

❖ **PDN-GW (*Packet Data Network Gateway (3GPP Release8)*)**: Le PDN-GW est le nœud qui relie l'utilisateur mobile aux autres réseaux PDN, Il agit comme un routeur par défaut par lequel transitent les requêtes de l'utilisateur. Le PDN Gateway effectue l'allocation d'adresses IP pour chaque Terminal Mobile, le filtrage des paquets, et comptabilise les octets échangés.

❖ **ePDG (*Evolved Packet Data Gateway*)**: Un élément réseau qui permet l'interopérabilité avec le réseau WLAN en fournissant des fonctions de routage des paquets, de Tunneling, d'authentification, d'autorisation et d'encapsulation / décapsulation des paquets.

### III.4.3 La partie IMS : (*IP Multimedia Sub-system*)

L'IMS est une architecture récemment appliquée dans les réseaux mobiles qui utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée et permettent aux opérateurs de télécommunications d'offrir des services sur IP à valeur ajoutée.

Cette nouvelle architecture permet d'établir des sessions multimédia indépendamment du type d'accès à Internet utilisé. Cette architecture est aussi capable de supporter, sur un réseau tout IP dans une même session, des applications en temps réel telles que la voix et la vidéo ; et des applications non temps réel telles que le Push to Talk et la messagerie instantané.

L'IMS présente une interface aux réseaux en mode circuit, et fournit une interface normalisée basée sur le protocole SIP (*Standards IP*) pour l'accès aux services.



## II.5 Les technologies utilisées en LTE

### II.5.1 Le duplexage

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante et sur la voie montante. La voie descendante, aussi appelée Downlink (*DL*), correspond à la transmission de la station de base vers l'UE. La voie montante, aussi appelée Uplink (*UL*), correspond à la transmission de l'UE vers la station de base. Il existe deux principaux modes de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE :

- ✓ le duplexage en fréquence ou *Frequency Division Duplex* (FDD).
- ✓ le duplexage en temps ou *Time Division Duplex* (TDD).

#### II.5.1.1 Le mode FDD

Le multiplexage de type FDD utilise une bande passante de 5 Mhz pour le débit descendant, et une bande passante de 5 Mhz pour le débit montant. Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires.

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principale avantage face à l'autre technique majeure de duplexage, le TDD (*Time Division Duplexing*).

#### II.5.1.2 Le mode TDD

Le multiplexage de type TDD n'utilise qu'une seule bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) utilisables aussi bien pour le débit montant que pour le débit descendant. Elle comprend donc une composante TDMA (*Time Division Multiple Access*) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits de services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

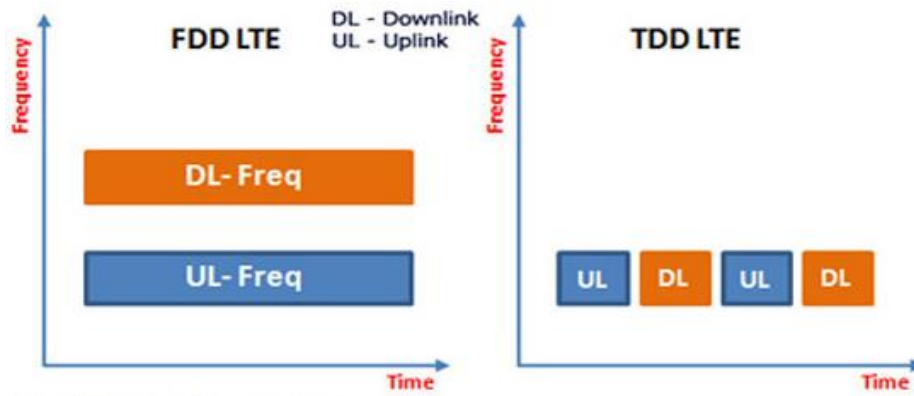


Figure II.7 : Les modes FDD et TDD.

### II.5.1.3 La structure de la trame LTE

Pour remédier aux problèmes de la faible efficacité des réseaux orientés-paquets où beaucoup de ressources sont consommées pour la gestion, la période back-off conçue pour minimiser les collisions est assez longue et le paquet garde la bande passante complet pendant la transmission et l'acquittement, la mise en œuvre d'un système plus performant est devenue indispensable. C'est ainsi que l'OFDMA s'est présenté avec un faible temps de latence et une grande efficacité.

Les trames LTE sont de 10 ms. elles sont divisés en 10 sous- trames, chaque sous-trame de longueur de 1 ms. Chaque sous-cadre est divisée en deux slots, chacun de 0,5 ms. Un slot est composé de 6 ou 7 symboles OFDM, selon que le préfixe cyclique normal ou étendu est employé.

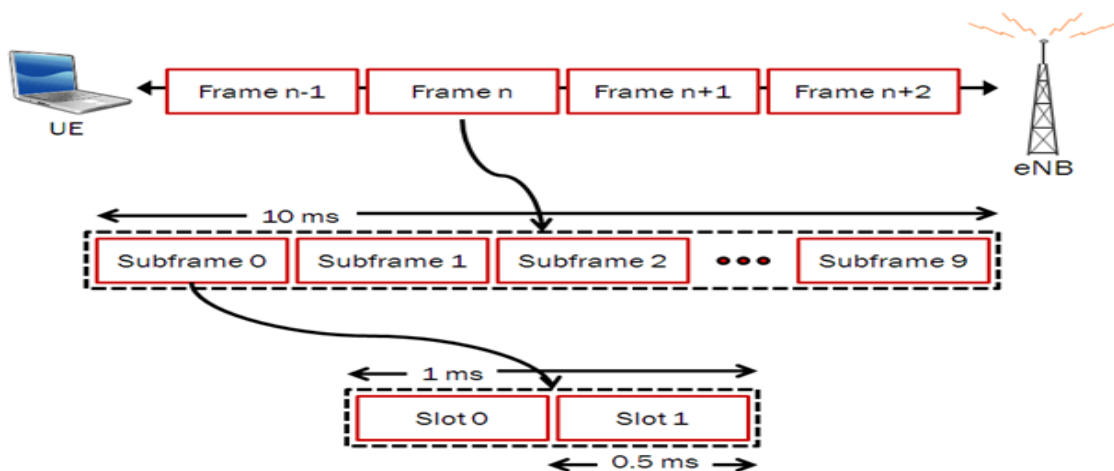


Figure II.8 : La trame LTE.

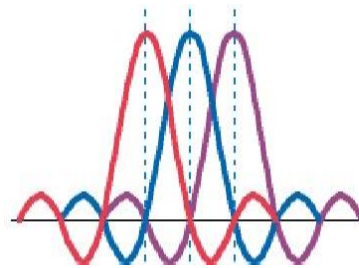
### II.5.2 Modulation

La modulation utilisée dans le LTE est une modulation adaptative qui varie en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK (4QAM), 16QAM, 64 QAM. [8]

La modulation du LTE est essentiellement sur l'utilisation de la technologie OFDM et des technologies d'accès associés, OFDMA/SC-FDMA.

#### ❖ OFDM

Les systèmes OFDM subdivisent la BP en plusieurs sous-porteuses étroites et transmettent les données en flux parallèles, qui sont orthogonales entre-elles, ce qui leur permet d'être très proches les unes des autres (Espacement entre sous-porteuses de 15 KHz). Un intervalle de garde est ajouté après chaque symbole pour contrer les effets du multi trajets.

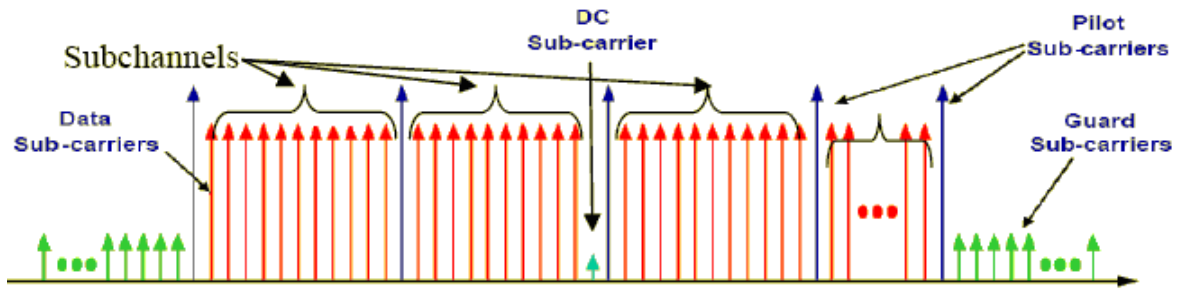


**Figure II.9** : Principe de l'OFDM.

La figure (II.9) présente la technique OFDM où chaque symbole est une combinaison linéaire des signaux instantanés sur chacune des sous-porteuses dans le canal. Lors des transmissions, chaque utilisateur se voit attribuer une portion du spectre.

#### ❖ OFDMA

L'OFDMA est la technique, à la fois, de multiplexage et d'accès multiple basée sur la technique OFDM. L'OFDMA permet de multiplexer un flux des données issus de plusieurs utilisateurs grâce à l'utilisation de la sous-canalisation pour les deux liens (montant et descendant). [11]



**Figure II.10 :** Description fréquentielle de l'OFDMA.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long ( $66.7 \mu\text{s}$  pour le LTE) ; cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portées.

Le symbole OFDMA est divisé en des sous-canaux (*subchannels*) logiques afin d'attribuer les ressources radio aux utilisateurs d'une manière dynamique, de supporter l'accès multiple, et pour une meilleure adaptation aux techniques avancées des antennes.

Pour le Downlink on dispose de deux modes d'utilisation des subchannels [12] :

- **FUSC (Full Usage of Subchannels)** : tous les subchannels sont attribués à l'émetteur, dans ce mode on attribue d'abord les porteuses nulles de la bande de garde et les pilotes, ensuite on fait la partition des porteuses restantes en des subchannels, cela signifie qu'on a un seul ensemble des pilotes commun à toutes les porteuses du symbole.
- **PUSC (Partial Usage of Subchannels)** : quelques subchannels sont attribués à l'émetteur. Dans ce mode la partition se fait de la façon suivante : d'abord on fait attribuer les porteuses nulles de la bande de garde, ensuite on fait la partition des sous porteuses restantes en des subchannels (permutation), et dans chaque subchannel on fait l'attribution des pilotes et des porteuses des données, cela signifie que chaque subchannel a son propre ensemble de porteuses pilotes.

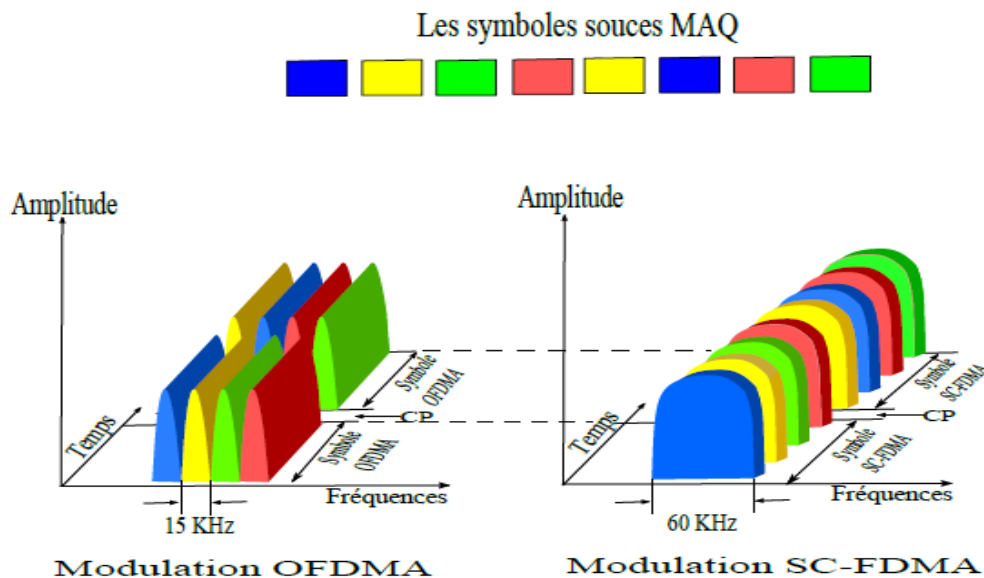
Pour l'Uplink, on fait la permutation premièrement (partition en des subchannels), ensuite on fait l'attribution des porteuses pilotes et des porteuses données dans chaque subchannel.

❖ SC-FDMA

En LTE Uplink, un concept différent est utilisé en technique d'accès. Bien qu'on utilise encore une forme de technologie OFDMA, l'implémentation est appelé *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). Elle offre des performances et une complexité globale similaire à l'OFDMA mais utilise en revanche une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse.

Dans la modulation SC-FDMA, le multiplexage des utilisateurs du système est effectué dans le domaine fréquentiel. Pour supporter un grand nombre d'utilisateurs simultanés, le système utilise la technique de l'étalement spectral permettant d'augmenter la ressource spectrale à partager. Ainsi chaque utilisateur se voit allouée une portion de la largeur de bande totale du système, de manière à éviter toute interférence avec un autre utilisateur.

La différence majeure entre ces deux techniques réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse [13].



**Figure II.11:** Comparaison entre OFDMA/SC-FDMA.

**II.6 Les canaux radio**

Dans le but d'être flexible et permettre différents schéma pour la transmission de données, les spécifications de l'E-UTRAN ont introduit plusieurs types de canaux :

### II.6.1 Les canaux logiques:

Les canaux logiques correspondent aux services de transfert de données offert par les protocoles des couches hautes de l'interface radio. On distingue deux types de canaux logiques :

➤ *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.

### II.6.2 Les canaux de transport :

Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristique sont transférés à travers l'interface radio.

➤ *Les canaux de transport E-UTRAN en Downlink*

- **BCH** : est associé au canal logique BCCH
- **DL-SCH** : qui est 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** : qui 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.

### II.6.3. Les canaux physique :

Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux transport sur l'interface radio.

#### ➤ Les canaux physiques en Downlink

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

#### ➤ Les canaux physiques en Uplink

- **PUSCH**: qui transporte les données utilisateur et la signalisation des couches hautes.
- **PUCCH**: qui transporte les informations de contrôle, comprends les répons ACK et NACK du terminal aux transmissions Downlink.
- **PRACH**: qui transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux.

La figure (II.12) ci-dessous présente le mappage entre les canaux logiques, de transport et physiques.

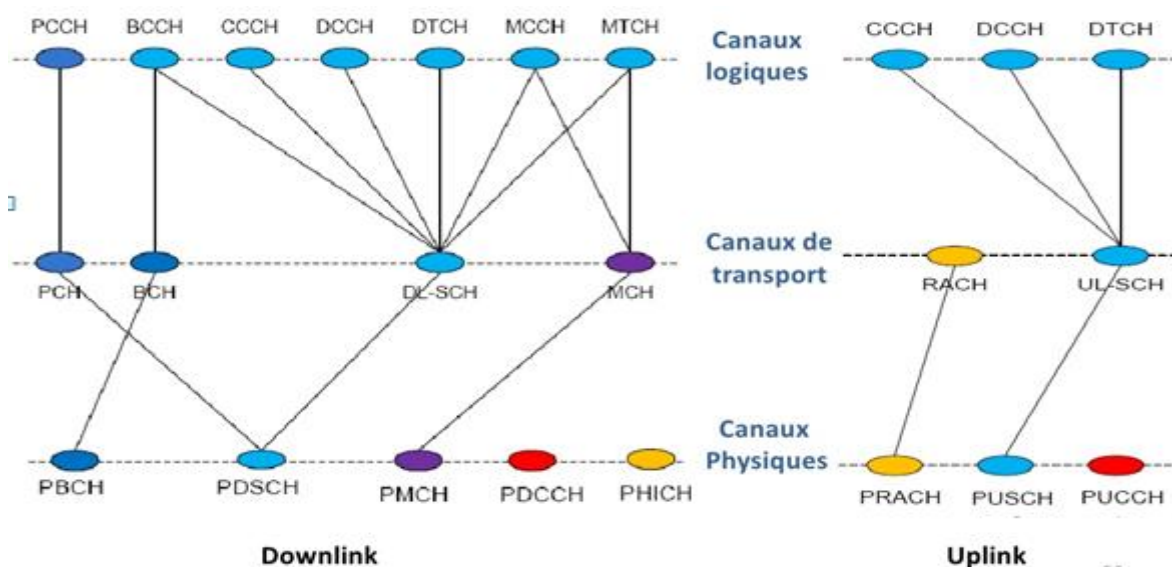
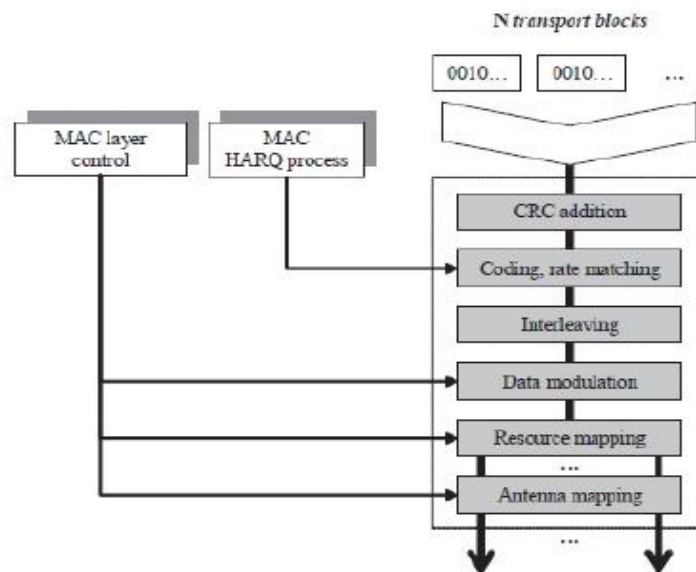


Figure II.12 : Le mappage entre les canaux logiques.

## II.7 Les couches du réseau LTE

### II.7.1 La couche physique

Le rôle de la couche PHY est de fournir des services de transport de données sur les canaux physique pour les couches RLC et MAC hautes. La figure suivante décrit le modèle en couche physique de l'eNodeB dans le cas d'un canal de transport SCH. Un modèle similaire existe pour l'uplink et les autres canaux de transport déjà cités.



**Figure II.13** : Le modèle de la couche PHY du Downlink Shared Channel.

Lors de chaque TTI (*Transmission Time Interval*) la couche physique reçoit un certain nombre de 'Transport Blocks' pour la transmission. Chaque 'Transport Block' lui sera ajouté une CRC (Cycle de contrôle de redondance) ou un ensemble de bits pour la détection des erreurs de transmission. En suite les blocs sont protégés avec un codage canal robuste. Cette phase est sous le contrôle du processus MAC HARQ (*Hybrid ARQ*) qui adapte le taux de codage canal en se basant sur les informations fournies par l'entité réceptrice.

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



### II.7.2 La couche MAC

La couche MAC s'occupe de multiplexage/démultiplexage de données vers les porteuses radio différentes. Elle est aussi responsable de la correspondance entre les canaux logiques et les canaux de transport.

### II.7.3 La couche RLC

Cette couche est chargé de la segmentation/concaténation des paquets de données des couches supérieures, de la retransmission des paquets perdus, de la réorganisation pour les paquets « out-of-order » en utilisant la technique HARQ (*Hybrid Automatic Repeat reQuest*). La couche RLC utilise trois modes de transmission :

- **Le mode transparent TM (*Transport Mode*)** : utilisé pour la transmission du BCCH ou PCCH.
- **Le mode non acquitté UM (*Unacknowledged Mode*)** : utilisé avec les services sensibles au délai (VoIP), tolérants aux erreurs en temps réel, ou le MBMS.
- **Le mode acquitté AM (*Acknowledged Mode*)** : est utilisé avec les services sensibles à l'erreur et tolérants aux délais en temps non-réel (comme le service FTP).

### II.7.4 La couche RRC

La couche RRC (*Radio Resource Control*) est la couche clé dans le processus de la gestion de la signalisation de la connexion radio entre le mobile et l'E-UTRAN soit l'établissement, la libération et la reconfiguration de connexion. [14]

### II.7.5 La couche PDCP

Son but principale est la compression/décompression d'en-tête, la sécurité (chiffrement, protection d'intégrité) et distribution l'un après l'autre de paquets.

## II.8 Caractéristiques du réseau LTE

L'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence.

### II.8.1 La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés

Le système doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures.

### II.8.2 Débits et fréquences

Offrir de meilleurs services et de meilleurs débits aux usagers est un défi permanent des acteurs des communications mobiles, la technologie LTE a donc marqué l'avènement du très haut débit mobile. Au-delà des limitations capacitaires, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible.

La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais). Les exigences pour la technologie LTE ont porté également sur des gains de débit. Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants : [14]

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

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- Deux antennes en réception.
- Une antenne en émission.

En complément, le débit est jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et une course aux débits est en marche dans certains pays. Enfin, des débits toujours plus élevés ouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, sources de revenus et/ou de différenciation pour les opérateurs.

### II.8.3 La latence

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système, ainsi ; elle traduit la capacité du système à traiter rapidement des demandes d'utilisateurs ou de services. Une latence forte limite l'interactivité d'un système et s'avère pénalisante pour l'usage de certains services de données. On distingue deux types de latence :

➤ *La latence du plan de contrôle*

Représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service. L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

➤ *La latence du plan usager*

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

### II.8.4 L'agilité en fréquence

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant. Notons que le débit crête et les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

### II.8.5 La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent. Le système

doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra système. [15]

### II.8.6 La qualité de service

La qualité de service (QDS) ou Quality of service (QoS) est la capacité à véhiculer dans des bonnes conditions le trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets... La qualité de service est un concept de gestion qui a pour but d'optimiser les ressources d'un réseau ou d'un processus et de garantir de bonnes performances aux applications critiques pour l'organisation. Les caractéristiques prises en compte pour déterminer la qualité d'un service sont évidemment variables en fonction du service proposé.

## II.9 La technologie MIMO

MIMO est une technique basée sur la diversité spatiale en transmission sans fil, pour éviter les multi-trajets. Cette technologie permet d'envoyer plusieurs signaux différents sur des antennes différentes à des fréquences proches pour augmenter le débit ou la portée du réseau. Concrètement, plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, rendant la transmission de bonne qualité. Cela permet d'améliorer les performances des appareils, rapport signal à bruit et donc du taux d'erreurs binaires.

Lorsqu'un tel système comprend une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO (*Single Input Multiple Output*). De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à l'émission et une seule antenne à la réception, il est nommé MISO (*Multiple Input Single Output*). Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (*Single Input Single output*).

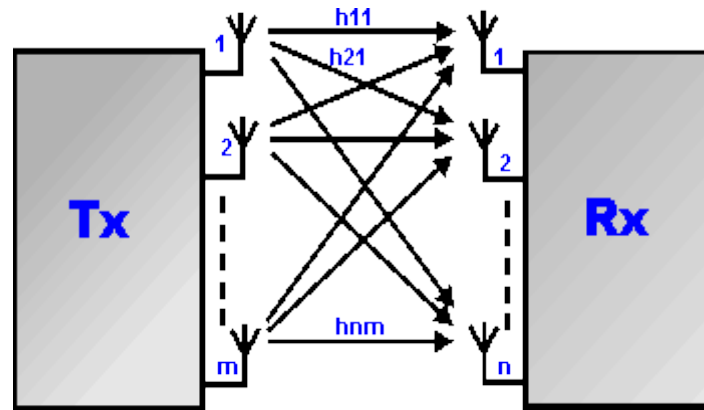


Figure II.14 : Présentation général du système MIMO.

## II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les caractéristiques de la technologie LTE qui répond à des nouveaux besoins (délai court, débit élevé, nouveaux services à l'aide souvent par l'interconnexion...). Notre troisième chapitre présente les processus de dimensionnement du réseau mobile LTE.

***CHAPITRE III :***  
***Dimensionnement d'un***  
***Réseau Mobile LTE***

### III.1 Introduction

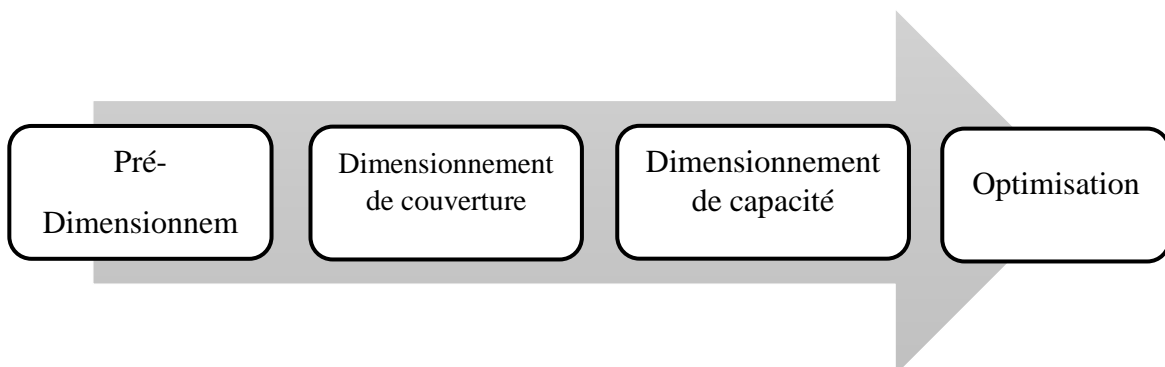
Le dimensionnement d'un réseau est la première étape du processus global de la planification permettant une première évaluation rapide de la densité et de la configuration des sites requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité.

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

### III.2 Processus de Dimensionnement

Le dimensionnement des eNodeBs est la partie la plus délicate. Du coup elle doit être bien développée.

On a deux méthodes à suivre. La première tient compte des exigences de la capacité et la deuxième tient compte des exigences de la couverture, pour déterminer le rayon de chaque cellule et puis le nombre des sites.



**Figure III.1 :** Processus de dimensionnement.

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

- **Pré-dimensionnement :**

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. On cite par exemple :

- ✓ Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE.
- ✓ Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information démographiques, etc.).

- ✓ Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone (services demandés, trafic offert, etc.).
- ✓ Les services à offrir : voix, données.
- ✓ La liste des sites : identifier les lieux pour placer les eNodeB.
- ✓ Type d'antenne à utiliser.
- **Dimensionnement de couverture :**

Analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE. On va se baser sur le Bilan de liaisons (RLB), qui permet d'estimer le taux de perte du trajet.

Pour cela, il est nécessaire de choisir d'un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

- **Dimensionnement de capacité :**

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

- **Optimisation :**

On compare les résultats obtenus de deux dimensionnement, et on considère le nombre des sites le plus grand.

Nous allons débiter notre travail par le dimensionnement de la couverture.

### III.3 Dimensionnement de couverture

La couverture d'une station de base possède des limites comme les perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de couverture apparait lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeBs n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile.



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

### III.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture

Les étapes de dimensionnement de couverture sont :

➤ ***Exigence de qualité :***

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

➤ ***Dimensionnement de liaison montante :***

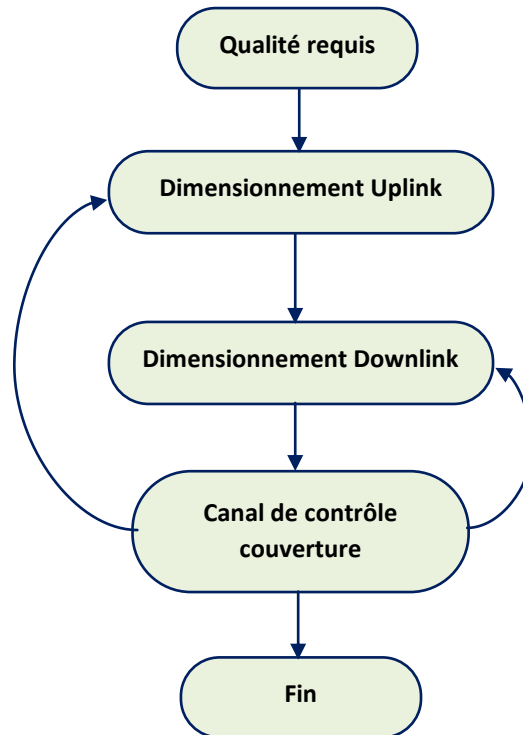
Nous cherchons à cette étape le rayon de la cellule à partir du débit binaire à la bordure de la cellule.

➤ ***Dimensionnement de liaison descendante :***

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

➤ ***Couverture de canaux de contrôle :***

La performance du canal de contrôle à la bordure de la cellule doit être vérifiée par rapport à la valeur de la distance intersites calculée. La figure (III.2) illustre les étapes à suivre :



**Figure III.2 :** Processus de dimensionnement de couverture pour le Downlink et l'Uplink.[16]

### III.3.2 Le calcul à faire

Nous devons estimer la distance maximale entre un émetteur et un récepteur tout en répondant aux exigences de performances dans les conditions de propagation.

Donc le premier pas à faire est de déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (*Maximum Allowable Path Loss MAPL*), en passant par le bilan de liaison radio (RLB).

Nous allons suivre le calcul suivant, comme indique la figure(III.3) ci-dessous :

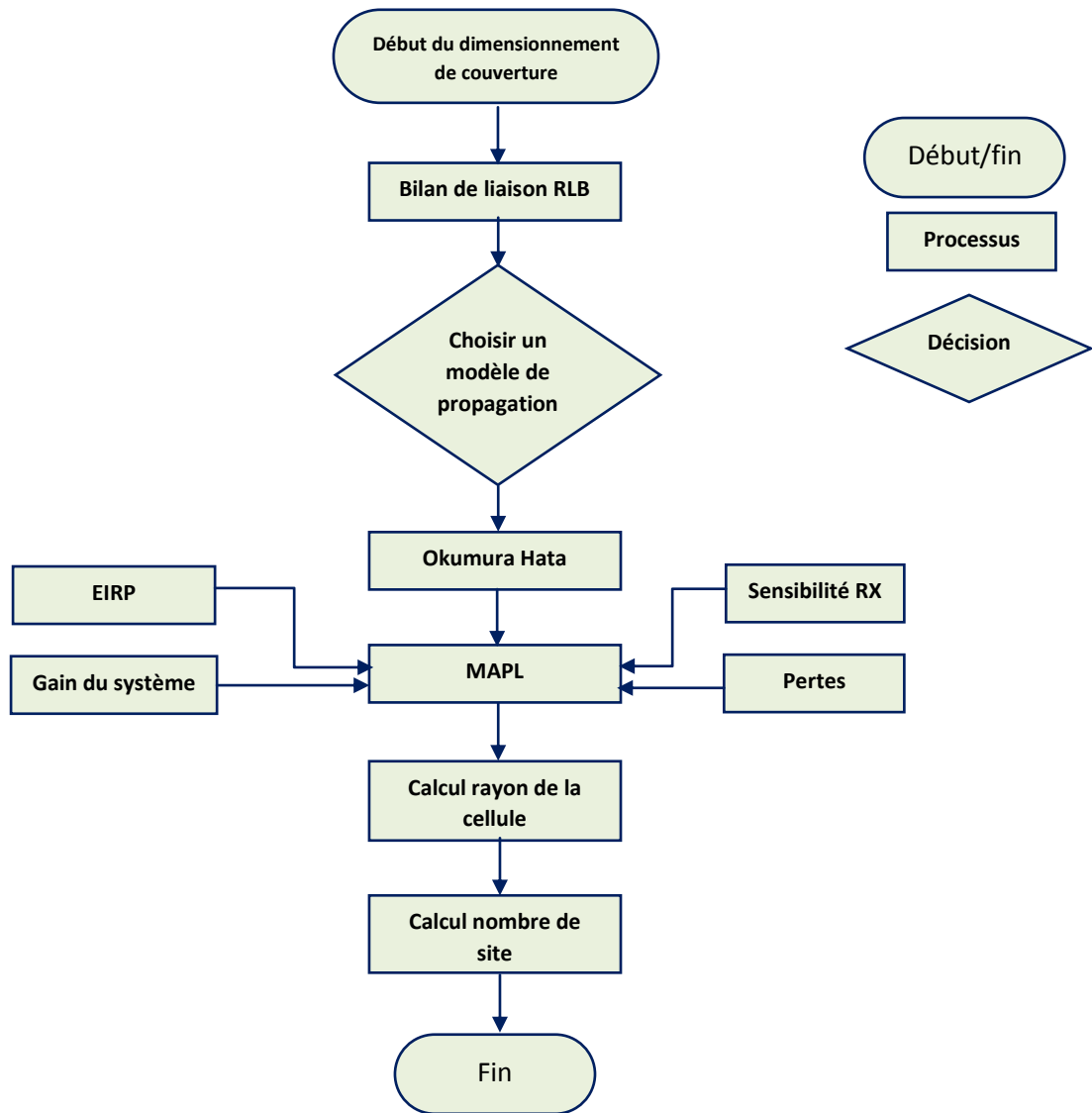


Figure III.3 : calcul du dimensionnement de couverture.

### III.3.2.1 Bilan de liaison Radio RLB

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

Le RLB pris en compte : Puissances d'émission, les gains, les pertes d'antenne, les gains de diversité, les marges d'interférence.

Pour LTE, l'équation RLB de base est comme suit (en dB) :

$$PathLoss = TxPower + TxGain - TxLosses - S_{eNB} + RXGains - RxLosses - B_{UL} \quad (III.1)$$

Avec :

- **Path Loss** : Perte de trajet totale rencontré par le signal envoyé de l'émetteur au récepteur (dB).
- **Tx Power dB** : La puissance transmise par l'antenne d'émission (43-49dBm).
- **Tx Gains dB** : Gain de l'antenne d'émission (dBi).
- **Tx Losses dB** : Les pertes de l'émetteur (dB).
- **Rx Gains dB** : Gain de l'antenne de réception (dB).
- **Rx Losses dB** : Les pertes de réception (dB).
- **Rx Noise dB** : Bruit de réception (dB).
- **$S_{eNB}$**  : Sensibilité du l'eNodeB (dBm).

### III.3.2.2. Modèle de Propagation

Le modèle de propagation permet d'estimer la valeur de l'atténuation de trajet. Le choix du modèle de propagation est un compromis entre la précision de la prévision et l'efficacité de calcul. Il est important de noter que les modèles de propagation dépend du type de zones comme urbaines, suburbaines et rurales. Les modèles de propagation peuvent être classés en deux principales catégories :

#### III.3.2.2.1 Modèle Macro-cellule

Les modèles Macro-cellules sont des modèles généralement fondés sur l'analyse des obstacles qui s'y trouvent (colline, forêt, etc.) ; ils sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement rural. Ces modèles s'appuient généralement sur des données géographiques de type maillé de sol et de sursol. Une mise au point par ajustement de variables est opérée à l'aide de mesures expérimentales du fait de la pauvreté des informations géographiques fournies et de la simplicité des algorithmes de calcul.

#### III.3.2.2.2 Modèle Micro-cellule

Contrairement aux modèles statistiques Macro-cellules qui prédisent une couverture radio moyenne et pas très précise essentiellement en milieu ouvert, les modèles Micro-cellules essaient de prédire une zone de couverture moins étendue mais plus précise. Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement urbain ou semi-urbain.

### III.3.2.2.3 Types de modèles de propagation

#### ➤ Modèles empiriques

L'élaboration de ces modèles repose sur la collecte de données concernant des mesures et des formule mathématique pour permette prédire l'impact ainsi que la valeur moyenne d'affaiblissement d'un émetteur sur une certaine zone de réception. Les modèles empiriques ont l'avantage d'être simple et de faiblement dépendre des caractéristiques d'un site. C'est pourquoi ils sont couramment employés pour les communications cellulaires pour une première estimation de la perte de propagation. On distingue plusieurs types du modèle empirique :

- **Le modèle Okumura-Hata :**

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

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

- ✓ Fréquence ( $f$ ) : 150 à 1000 MHz.
- ✓ Hauteur de la station de base ( $H_b$ ) : 10 à 200 m (dépend toujours de la zone : clutter).
- ✓ Hauteur du terminal mobile ( $H_m$ ) : 1 à 10 m.
- ✓ Distance ( $d$ ) : 1 à 20 km.

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

#### ➤ Urbain :

$$Lu(\text{dB}) = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55\log(H_b)]\log(d) \quad (\text{III.2})$$

Avec :

$$a(H_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] * H_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad (\text{III.3})$$

➤ **Urbain dense :**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour } f \leq 200\text{MHz} \\ a(H_m) = 8.29 * [\log(1.54 * H_m)]^2 - 1.1 \quad (\text{III.4}) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour } f \geq 400\text{MHz} \\ a(H_m) = 3.2 * [\log(11.75 * H_m)]^2 - 4.97 \quad (\text{III.5}) \end{array} \right.$$

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

➤ **Sous urbain :**

$$L_{su}(\text{dB}) = L_u - 2 * \left[ \log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \quad (\text{III.6})$$

➤ **Rurale :**

Deux cas qui se posent :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Quasi-ouverte :} \\ L_{qo}(\text{dB}) = L_u - 4.78 * [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \quad (\text{III.7}) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ouverte :} \\ L_{ro}(\text{dB}) = L_u - 4.78 * [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad (\text{III.8}) \end{array} \right.$$

• **Modèle de COST 231-Hata :**

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumura-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2000MHz.

• **Modèle de Walfish-Bertoni :**

Ce modèle est utilisé pour les micro/macro cellules. C'est un élément du modèle Okumura-Hata lorsque les antennes sont placées sous les toits en environnement urbain. On considère :

- ✓ Un milieu urbain homogène (généralisation géométrique)
- ✓ L'antenne Tx peut être en dessus ou en dessous des toits
- ✓ L'antenne Rx est entre 2 bâtiments et n'est pas en visibilité directe de Tx
- ✓ Chaque immeuble est un écran absorbant/diffractant

- **Modèle de COST231 Walfish-Ikegami :**

Fusion des modèles de Walfish et d'Ikegami par le groupe de travail COST231, en vue d'un modèle de propagation pour environnement urbain avec antennes sous les toits. Ce modèle prend en compte les propriétés de diffraction et de réflexion par les bâtiments, ce qui lui permet d'offrir une bonne précision. Seul l'effet de guide d'onde par des bâtiments rapprochés n'est pas pris en compte. Il est adapté au macro, micro et pico-cellules (il est valable à partir de 20 m).

- **Le modèle Standard Propagation Model :**

Le modèle Standard Propagation Model (SPM) est un modèle ayant des paramètres variables, il est basé sur la formule du modèle Cost231-Hata. Mais il a les fonctionnalités plus que le Cost231-Hata, on cite parmi eux :

- ✓ Les facteurs sont variables.
- ✓ La diffraction est prise en considération sur la carte.
- ✓ SPM soutient utilisant différentes K1 constante et la distance coefficient K2 pour LOS / NLOS et proche / lointain région.

Grâce aux nouvelles fonctionnalités précédentes, SPM est plus souple et s'applique à d'autres scénarios.

- **Les modèles déterministes ou physiques**

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'informations sur la zone où ils vont être appliqués. De plus ils demandent beaucoup de temps de calcul. Ils sont généralement réservés à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent être utilisés. Ces modèles permettent de prédire la propagation des ondes radio et calculer les trajets des ondes radio en tenant compte des phénomènes de réflexion et diffraction. Parmi ces modèles nous citons :

- **Le modèle de lancer de rayon :**

C'est une technique entièrement déterministe (basée sur une approche dérivée de l'optique géométrique) dont le principe est :

- ✓ Lancement à partir de l'émetteur, de lignes directrices (rayons) dans toutes les directions.
- ✓ Rayons espacés régulièrement à partir de l'émetteur et tracés au fur et à mesure de leur propagation.
- ✓ Trajets émetteur-récepteur recherchés.

La condition d'arrêt est atteinte si :

- ✓ Puissance du rayon en dessous d'un seuil,
- ✓ Rayon qui a quitté la zone de simulation,
- ✓ Rayon qui a subi un nombre maximal de réflexions (5 à 10).

➤ **Les modèles semi-empiriques**

L'idée principale de ce modèle est de combiner les avantages de chacun des deux modèles précédents. Ils allient à la fois des aspects théoriques et des mesures. Ils prennent en compte la topologie de la zone à couvrir. Ces types de modèles se révèlent généralement plus légers en termes de calcul que les modèles théoriques et plus performants en terme d'estimation de l'atténuation de puissance induit par un site de propagation. Leur usage pour la validation d'une solution sans fil pour un site de propagation tel qu'en indoor, reste relativement peu fréquent en raison de son degré de complexité.

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

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



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

### III.3.3 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.

#### III.3.3.1 Débit requis

On commence par définir l'exigence de qualité qui est exprimée comme un débit binaire déterminé qui peut être fournie 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.

$$R_{req, RB} = R_{req} / n_{RB} \quad (III.9)$$

Le nombre  $n_{RB}$  peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante comme montre le tableau (III.1).

- Avec un petit  $n_{RB}$ , le débit binaire requis peuvent être satisfaits avec un minimum de ressources. Ce qui de maximiser la capacité des autres utilisateurs.
- Avec un grand  $n_{RB}$ , les blocs transmis sont réparties sur un intervalle de fréquence, avec un moins d'énergie utilisée par le bloc.
-

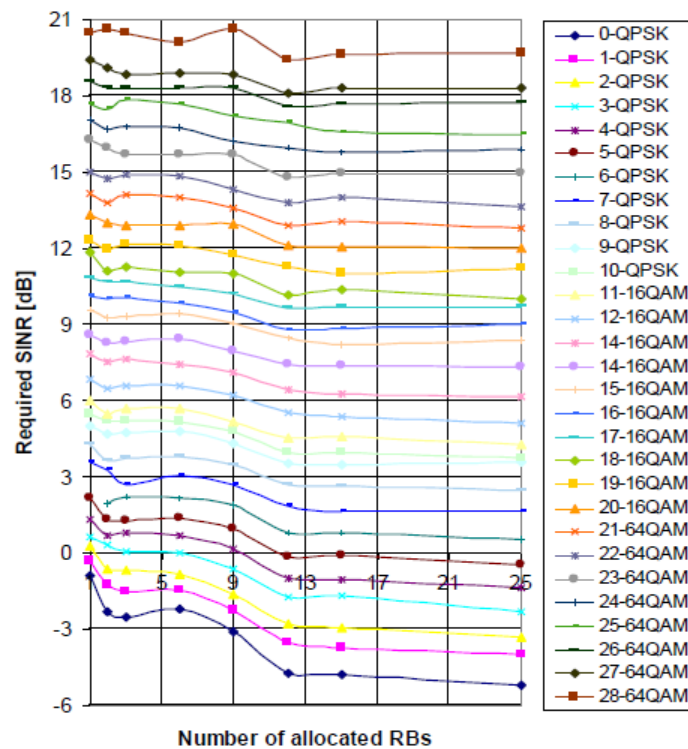
Bande passante MHz	Nombre de ressource de block nRB
1.4	6
3	15
5	25
10	50
15	75
20	100

**Tableau III.1** : Largeurs de bande et les blocs de ressources spécifiées LTE. [16]

### III.3.3.2 SINR requis

C'est un indicateur de la performance du système. Plus il est faible plus le système est performant.

Le SINR dépend du nombre du bloc de ressource comme indique la figure (III.4) suivante :



**Figure III.4** : variation SINR en fonction de nombre de bloc de ressources. [17]

### III.3.3.3 Sensibilité eNodeB récepteur

La sensibilité des eNodeB, est la puissance du signal que le récepteur doit la recevoir pour réaliser une performance spécifique en absence des interférences intercellulaires. C'est le niveau de signal minimum pour éviter les coupures radio.

$$S_{eNB} = N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}) + \gamma = N_{RU,UL} + \gamma \text{ [dB]} \quad (\text{III.10})$$

Avec :

- $N_t$ : Densité de puissance de bruit thermique -174 dB m / Hz.
- $N_f$  : 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.
- $SINR \gamma$ : Rapport signal sur interférence et bruit de l'Uplink
- $N_{RU,UL}$ : Bruit thermique par bloc de ressource pour les Uplink ( $N_t + N_f + 10 \log(W_{RB})$ ).

### III.3.3.4 Les marges de bruit

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

#### ➤ *Marge de pénétration*

Perte de pénétration est l'atténuation du signal due à la pénétration aux bâtiments. Elle dépend du type de zone, comme indique le tableau (III.2).

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

**Tableau III.2** : pertes de la pénétration. [18]

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 des fenêtres.

➤ *Perte de types de signal (Body)*

Le tableau (III.3) montre le taux de perte pour un signal vocal. C'est l'affaiblissement dû à l'absorption d'une partie de l'énergie transmise par le corps humain (seulement pour le service vocal).

Type de signal	Perte (dB)
VOIP	3
Données	0

**Tableau III.3** : pertes selon type de signal. [18]

➤ *Marge de shadowing*

C'est l'effet masque, les variations du signal due 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 :

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

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 III.4 :** Marge de shadowing. [16]

➤ *Évanouissement rapide*

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

Notant que le marge d'évanouissement Rapide = 1, 2 dB.

➤ *Marge des lignes d'alimentation (Feeder)*

C'est une perte causée par les divers dispositifs qui sont situés sur le trajet de l'antenne vers récepteur, comme la perte de la ligne d'alimentation selon qui dépend de la longueur de la ligne, les connecteurs et les jumpers (sauts).

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

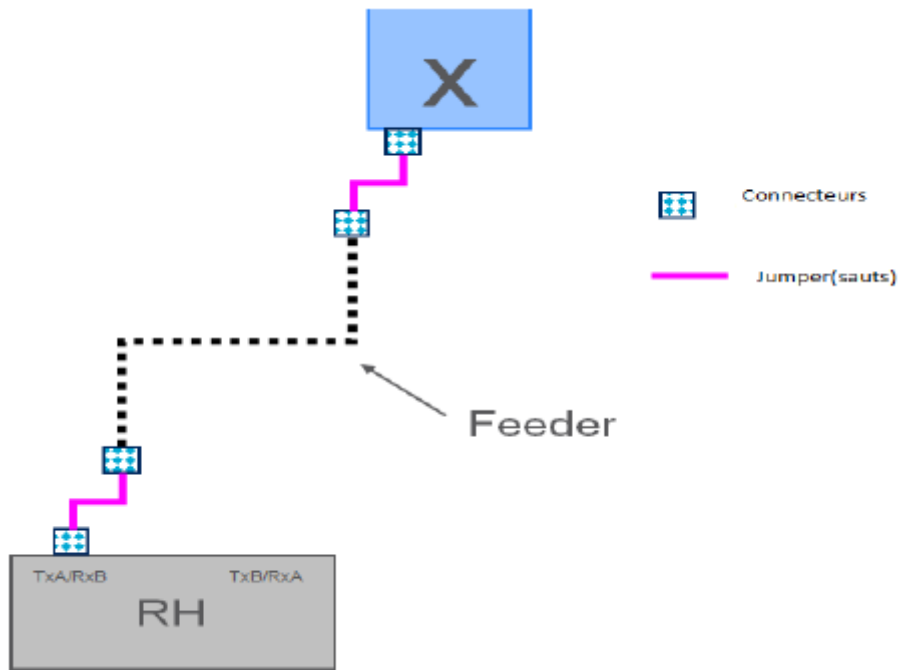


Figure III.5 : Connexions du système d'alimentation de l'antenne. [19]

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

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

$$\text{Perte Feeder (dB)} = \text{Feeder loss}/100\text{m} \times \text{Feeder length}/100\text{m} \quad \text{(III.11)}$$

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

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

Le tableau III.5 illustre les pertes de feeder (ligne d'alimentation).

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

Tableau III.5: pertes de ligne d'alimentation. [16]

➤ *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. Une marge d'interférence sera introduite dans le bilan de liaison pour compenser l'augmentation du bruit et maintenir l'équilibre.

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

Avec :

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

### III.3.3.5 Puissance par bloc de ressource EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*)

Puissance isotrope rayonnée est la quantité d'énergie d'une antenne isotrope théorique qui prend en compte les pertes dans la ligne de transmission et les connecteurs et le gain de l'antenne. En suppose que tous les blocs de ressources ont la même puissance  $P$  (UE,  $\mathbf{rb}$ ), qui est calculé de la manière suivante :

$$EIRP = P_{UE, RB} + UE_{gain\ antenne} - Perte \quad (III.13)$$

Avec :

- $P_{UE, RB} = (P_{UE} / n_{RB})$

### III.3.3.6 Equation bilan de liaison Uplink

La figure ci-dessus illustre le bilan de liaison pour la liaison montant Uplink

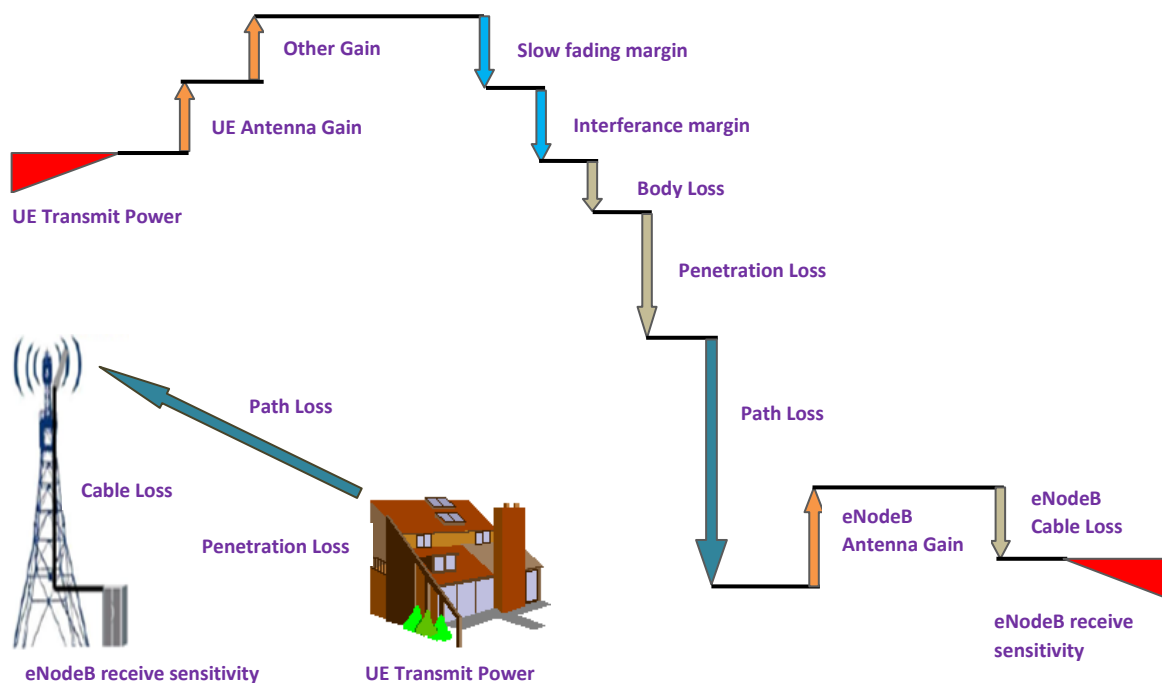


Figure III.6 : modèle bilan de liaison Uplink. [20]

Son équation est comme suit :

$$L_{pmax} = P_{UE,RB} - S_{eNB} - Perte_{marges} + G_a - L_j + TMA_{gain} \quad (III.14)$$

Avec :

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



### III.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

#### III.4.1 Pertes de trajet

L'affaiblissement du parcours maximum  $MAPI_{dl}$  est calculé à partir du  $MAPI_{ul}$  pour les liens montants.

#### III.4.2 Débit binaire requis

On doit divisée  $R_{req}$  par  $n_{RB}$  pour obtenir le débit binaire requis n'est pas exprimé par bloc de ressources comme montre l'équation (III.9) précédente.

#### III.4.3 Puissance par bloc de ressource

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

$$P_{tx,RB} = \frac{P}{n_{RB}} \quad (III.15)$$

Avec :

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

### III.4.4 Augmentation du bruit à la bordure de la cellule

Le bruit de liaison descendante **B<sub>IDL</sub>** sur l'EDGE (bord) de la cellule est nécessaire pour le bilan de liaison. Il est calculée par l'expression suivante :

$$B_{IDL} = 1 + \frac{P_{tx, RB} * Q_{DL} * F_c}{N_{RB, DL} * L_{samax}} \quad (III.16)$$

Avec :

- **Q<sub>DL</sub>** : Facteur de charge de la liaison descendante.
- **F<sub>c</sub>** : Le ratio moyen entre les puissances reçues d'autres cellules.
- **N<sub>RB, DL</sub>** : bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante, défini par :  $(N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}))$ .
- **N<sub>f</sub>** : UE bruit = 7 dB.
- **L<sub>SAmax</sub>** : atténuation du signal en liaison descendante.

**L<sub>samax</sub>** est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale **MAP<sub>lul</sub>**.

L'expression est la suivante :

$$L_{samax} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_B + L_{CL} - L_{BP} - G_a + L_j \text{ [dB]} \quad (III.17)$$

### III.4.5 Equation bilan de liaison Downlink :

La figure ci-dessous illustre l'équation de bilan de liaison pour les liens descendant :

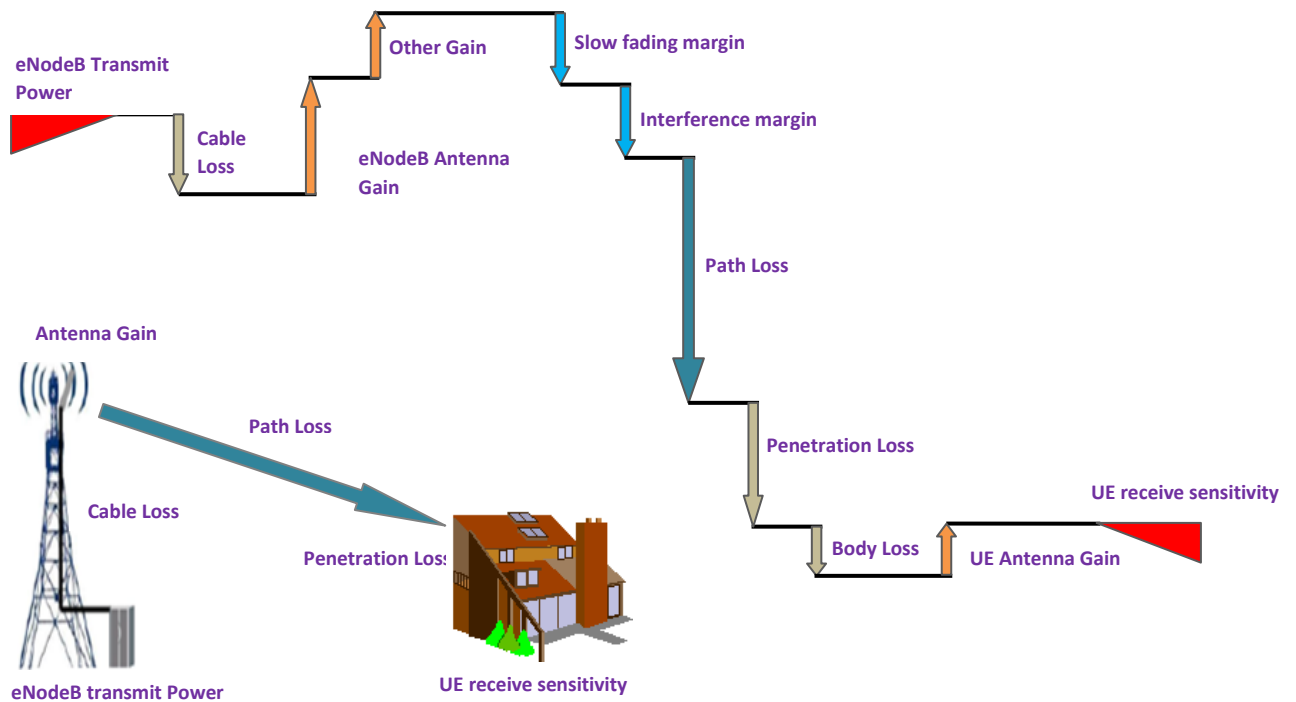


Figure III.7 : Bilan de liaison Downlink. [20]

$L_{pmax}$  est décrit par l'équation suivante :

$$L_{pmax} = P_{tx, RB} - S_{UE} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_B - L_{CL} - L_{BP} + G_a - L_j \text{ [dB]} \quad (III.18)$$

Avec :

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

### III.4.6 La sensibilité du l'équipement utilisateur récepteur

L'équation est comme suit :

$$S_{Ue} = N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}) + \gamma = N_{RB, DL} + \gamma \text{ [dB]} \quad (III.19)$$

### III.4.7 SINR à la bordure de la cellule

L'estimation de SINR sur le bord d'une cellule est calculée à partir de  $L_{pmax}$ . Son équation est la suivante :

$$\gamma = P_{tx, RB} - L_{pmax} - N_{RB, DL} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_B - L_{CL} - L_{BP} + G_a - L_j \text{ [dB]} \quad (\text{III.20})$$

#### III.4.8 Limite du Bilan de liaison

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

$$L_{samax} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_B + L_{CL} + L_{BP} - G_a + L_j \text{ [dB]} \quad (\text{III.21})$$

Le nouveau  $L_{SA, Max}$  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  $L_{samax}$  de la liaison descendante pour obtenir un nouveau  $L_{PMax}$  et  $B_{IDL}$  par l'expression suivante :

$$B_{IDL} = 1 + \frac{P_{UE} * Q_{UL} * F}{n_{RB} * N_{RB, UL} * H * L_{samax}} \quad (\text{III.22})$$

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.

#### III.4.9 Les modes de transmission

Les modes de transmission disponibles sont les suivantes :

- ✓ Single Input Multiple Output (SIMO), en utilisant une antenne TX dans la station de base et deux antennes RX à l'équipement utilisateur.
- ✓ TX diversité, en utilisant deux antennes TX et RX deux antennes dans la station de base.
- ✓ Open Loop Spatial Multiplexing (OLSM), en utilisant deux antennes TX et RX deux antennes à la station de base.
  - Cas de **liaison descendante** :
    - ✓ Techniques Antenne : SIMO 1x2, 2x2 TX diversité, Multiplexage Spatial boucle ouverte (*Open loop Spatial Multiplexing OLSM*) : 2x2.
    - ✓ Schémas de modulation : QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

- ✓ Modèles de canaux : EPA5, EVA70, ETU 300.
- Cas de **liaison montante** :
- ✓ Techniques d'antenne : 2-branch RX diversity.
- ✓ Schémas de modulation : QPSK, 16-QAM.
- ✓ Modèles de canaux : EPA5, EVA70, ETU 300.

Les résultats, y compris une marge d'implémentation, est comme suit :

$$R_{RB} = \max\left[0, a_3 + (a_0 - a_3) * e^{-\ln(2)\left[\frac{\gamma - a_1}{a_2}\right]^2}\right] \quad (\text{III.23})$$

$$\gamma < a_1$$

Avec :

- $R_{RB} = a_0 ; \gamma \geq a_1$
- $a_0, a_1, a_2$  et  $a_3$  sont des paramètres empiriques.
- $SINR \gamma$  est exprimée en dB.

Le paramètre  $a_0$  semi-empirique représente le débit maximum pouvant être obtenue dans un bloc de ressources.

La relation inverse entre  $\gamma$  et  $R_{RB}$  est comme suit :

$$\gamma = a_1 - a_2 \sqrt{\ln\left(\frac{a_0 - a_3}{R_{RB} - a_3}\right) / \ln 2} \quad 1 ; 0 \leq R_{RB} \leq a_0 \quad [dB]$$

Les paramètres semi empiriques pour le Downlink sont obtenus par le tableau suivant :

Type d'antenne	SIMO 1X2			Tx Div 2X2			OLSM 2X2		
Mode de canal	Epa5	Eva70	Etu300	Epa5	Eva70	Etu300	Epa5	Eva70	Etu300
A0[Kbps]	808.2	808.4	708.8	777.6	777.2	775	1347.1	1199	989
A1 [dB]	27	29.34	27.75	25.92	27.17	27.70	34.03	34.99	31.93
A2 [dB]	16.03	15.9	15.34	16.01	15.38	15.49	18.37	18.16	16.48
A3[Kbps]	-9.3	-3.88	-4.68	-13.8	-5.44	-6.2	-15.8	-8.46	-7.12

**Tableau III.6:** paramètres semi empiriques pour Downlink. [16]

Les paramètres semi empiriques pour l'Uplink sont obtenus par le tableau suivant :

Mode canal	Epa5	Eva70	Etu300
A0 [Kbps]	536.6	533.1	376.2
A1 [dB]	20.76	23.91	20.15
A2 [dB]	13.28	13.74	12.41
A3 [Kbps]	0	0	0

**Tableau III.7:** paramètres semi-empiriques pour l'Uplink

#### III.4.10 Rayon de la cellule

La perte de trajet maximum autorisé est utilisée pour calculer le rayon de la cellule en utilisant un modèle de propagation.

L'équation pour calculer la distance en kilomètres  $R$  est la suivante :

$$R = 10^{\alpha} \quad (\text{III.24})$$

Avec :

$$\alpha = \frac{L_{pmax} - A + 13.8 * 2 \log h_b + (ah_m)}{44.9 - 6.55 \log h_b} \quad (\text{III.25})$$

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

\*) Cette relation est l'inverse de l'équation donné par le modèle de propagation OKUMURA –Hata :

$$L_{pmax} = A - 13.82 \log H_b - a(H_m) + (44.9 - 6.55 \log H_b) \log R \quad (\text{III.26})$$

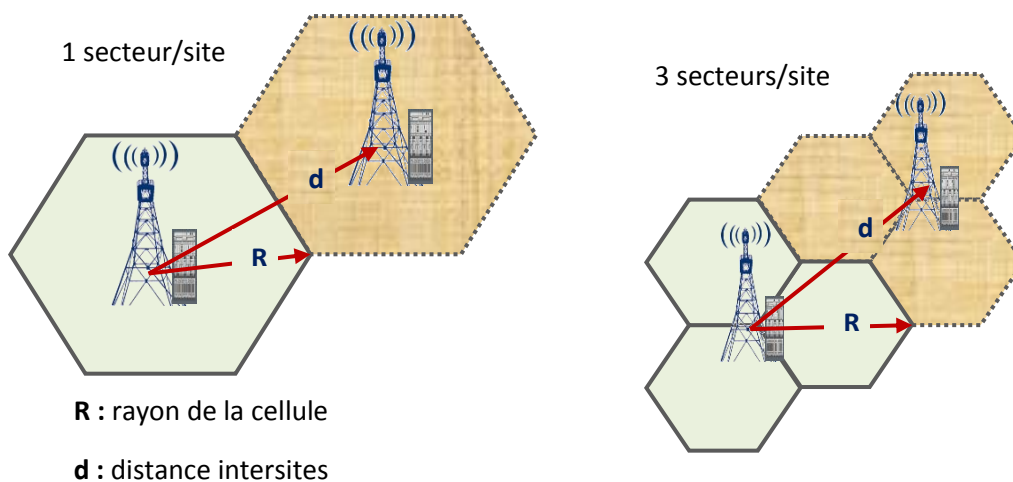
Le tableau suivant montre l'atténuation valeurs A qui sont utilisés :

Environnement	Fréquences [MHz]							
	700	850	900	1700	1800	1900	2100	2600
Dense urbain	144.3	146.2	146.8	153.2	153.8	154.3	155.1	157.5
Urbain	133.5	136.1	136.9	145.4	146.2	146.9	147.9	151.1
Suburbain	125.1	127	127.5	133.6	134.1	134.6	135.3	137.6
Rural	116.1	117.8	118.3	123.8	124.3	124.8	125.4	127.5

**Tableau III.8:** Atténuation fixe dans le modèle de propagation Okumura-hata. [16]

#### III.4.11 Nombre des sites

Le nombre de sites est facilement calculé à partir de la superficie du site et la valeur input de la zone de déploiement **Zd**.



**Figure III.8 :** Modèle hexagonales de cellule. [20]

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

$$d = \sqrt{3} R \text{ (Km)} \quad (\text{III.27})$$

$$S_{s1} = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} = 2.6 * R^2 \quad (\text{III.28})$$

Et pour un site a 3 secteurs :

$$d = \frac{3}{2}R \quad (\text{III.29})$$

$$S_{s3} = \frac{9\sqrt{3}R^2}{8} = 1.95 * 2.6 * R^2 \quad (\text{III.30})$$

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

$$N_s = S_z / S_s \quad (\text{III.31})$$

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

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

**Tableau III.9** : Surface de zone. [21]



### III.5 Dimensionnement de capacité

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

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

#### III.5.1 Calcul dimensionnement de capacité pour les Uplink

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

- ✓ 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.

##### III.5.1.1 Débit de la cellule

Notre objectif est d'obtenir une estimation du nombre des sites en fonction des besoins en capacité. Et ces derniers sont définis par les opérateurs de réseau en fonction du trafic.

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

$$T_{cell} = Q_{UL} * R_{avg,UL} \quad (III.32)$$

Avec :

$$R_{avg,UL} = R_{RB} * (n_{RB} - n_{pucch}) \quad (III.33)$$

- $n_{RB}$  : nombre total de blocs de ressources de la bande passante.
- $n_{pucch}$  : nombre de blocs de ressources attribuées aux canaux de contrôle PUCCH.

La figure suivante illustre le dimensionnement de capacité :

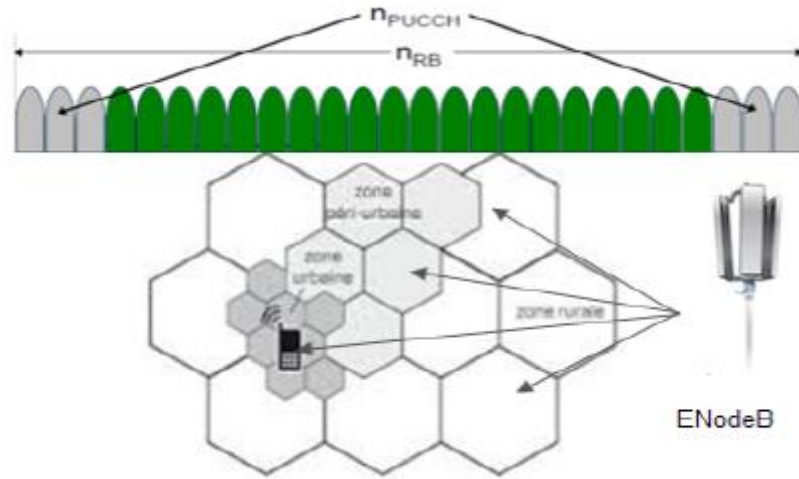


Figure III.9 : illustration de calcul de dimensionnement de capacité.

### III.5.2 Calcul dimensionnement de capacité Downlink

#### III.5.2.1 SINR

La capacité Downlink est basée sur le rapport signal interférence et bruit (SINR) noté  $\gamma_{DL}$ , voir équation (III.24).

Le SINR moyenne résultante  $\gamma_{DL,ave}$  est représentée par l'équation suivante :

$$\gamma_{DL,ave} = \frac{P_{tx,RB}}{B_{DL,noise} * N_{RB,DL} * H * L_{samax}} \quad (III.34)$$

Avec :

$$B_{DL,noise} = 1 + \frac{P_{tx,RB} * Q_{DL} * F}{N_{RB,DL} * L_{samax}} \quad (III.35)$$

#### III.5.2.2 Débit de la cellule

Le débit de l'utilisateur par cellule réduit proportionnellement avec le nombre de blocs des ressources  $n_{RB}$ .

$$R_{avg,DL} = n_{RB} * R_{RB} \quad (III.36)$$

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

$$T_{cell,DL} = Q_{DL} * R_{avg,DL} \quad (III.37)$$

### III.5.2.3 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.

$$T_{site} = T_{cell,DL} * 3 \quad (III.38)$$

L'utilisateur va entrer comme des inputs le nombre des abonnés et le débit moyen de chacun, afin de calculer le nombre des sites :

$$N_{site} = \frac{T_{user}}{T_{site}} * N_{abonnés} \quad (III.39)$$

Le nombre des abonnés est calculé à partir de l'équation suivante :

$$N_{abonnés} = [\prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i) * (1 + \beta_i)] * d * surface \quad (III.40)$$

- **d**: La densité des abonnés par Km<sup>2</sup> = 113abonnés/km<sup>2</sup>.
- **Surface** : voir tableau III.10.
- $\alpha_i$ : Augmentation de nombre des habitants.
- $\beta_i$ : Données opérateurs, indique le taux de migration des abonnés des autres opérateurs =1%.
- **N** : calcul fait pour 15 ans d'avance.

## III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à donner un modèle analytique simple qui permette de quantifier l'impact de dimensionnement d'un réseau mobile LTE qui fait intervenir deux composantes : couverture et capacité. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la conception et le développement de notre outil, qui est le contexte du chapitre suivant.

***CHAPITRE***  
***IV : Conception et***  
***Réalisation d'un Outil***  
***de Dimensionnement du***  
***Réseau LTE***

## IV.1 Introduction

Le dimensionnement d'un réseau cellulaire permet d'assurer un cout minimal du de la liaison radio et de l'infrastructure du réseau. Il existe de nombreuses façons d'utiliser la méthode de dimensionnement, le principal résultat de l'analyse est toujours une estimation de la couverture et de la capacité.

Pour répondre à nos besoins on a choisi de travailler avec le langage Matlab qui permet de réaliser des interfaces graphiques qui aide l'opérateur à calculer et vérifier certains paramètres du dimensionnement de réseau pour garantir une meilleure qualité de service aux clients.

## IV.2 Présentation du logiciel Matlab

Matlab est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

Le logiciel fonctionne sous Windows et sous Linux. Son interface de manipulation HMI utilise les ressources usuelles du multifenêtrage. Son apprentissage n'exige que la connaissance de quelques principes de base à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions.

Une alternative à Matlab est Scilab, logiciel libre, dont la version 5 présente de nombreux points communs avec Matlab. De nombreuses entreprises (EDF, ...) ont fait le choix de passer sous Scilab, le passage d'un logiciel à l'autre n'est cependant pas direct, certaines fonctions ayant des comportements différents (ce ne sont pas des erreurs mais des choix scientifiques différents). Tous les logiciels de calcul réutilisent des savoir-faire scientifiques anciens et éprouvés, développés dans les années 1960.



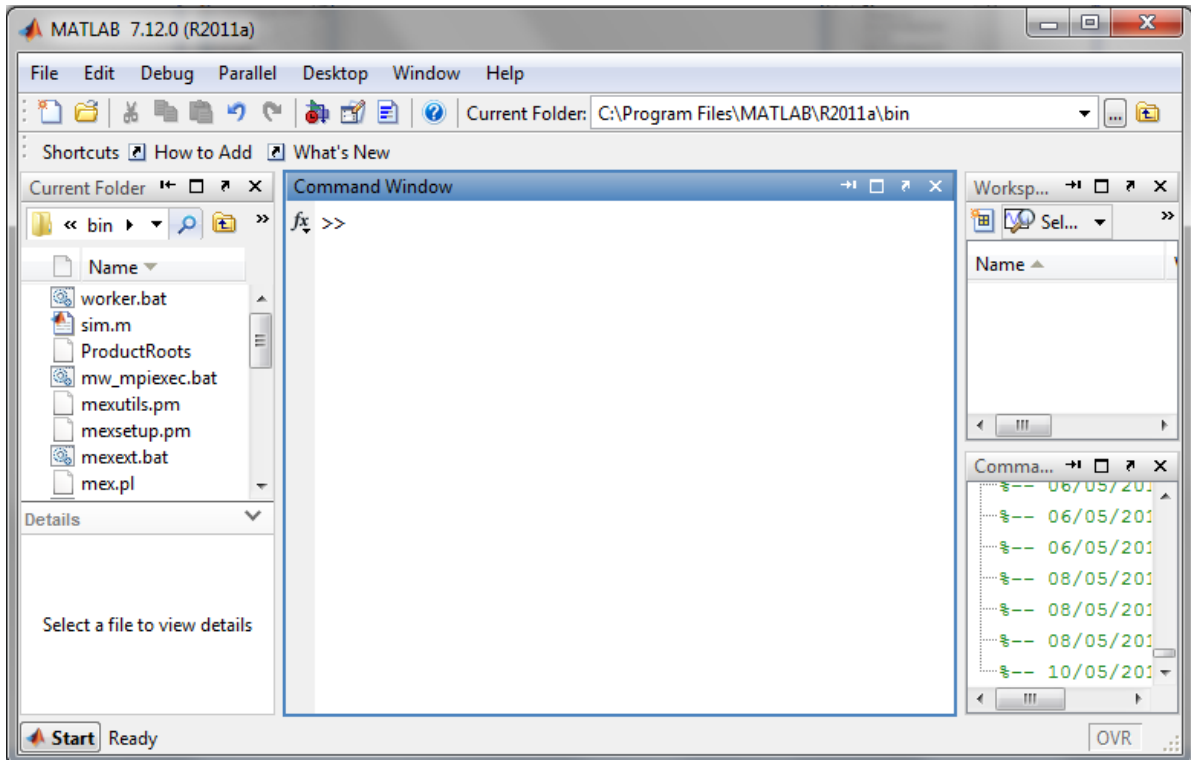
Figure IV.1 : Logo Matlab.

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

- *Ecran de base (présentation pouvant légèrement différer selon version)*

L'écran de base comprend l'écran de contrôle *Command Window* ainsi que des fenêtres Complémentaires permettant de suivre le fonctionnement général d'une application.

Les instructions frappées (ou collées) dans la *Command Window* s'exécutent directement.



**Figure IV.2:** Fenêtre principale du Matlab.

- Pour commencer on tape l'instruction « guide » dans la *command Window*, voir la figure ci-dessous :

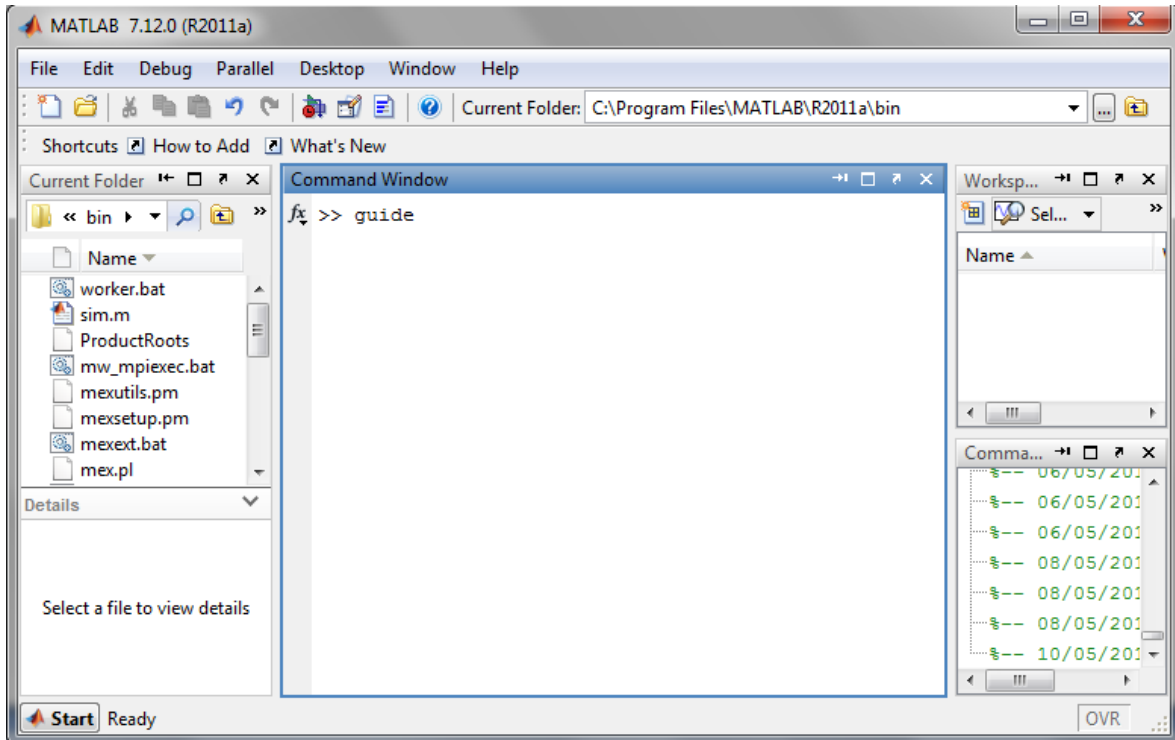


Figure IV.3: command Window.

- Après cette étape on appuie sur « entrer » et on obtient la figure suivante :

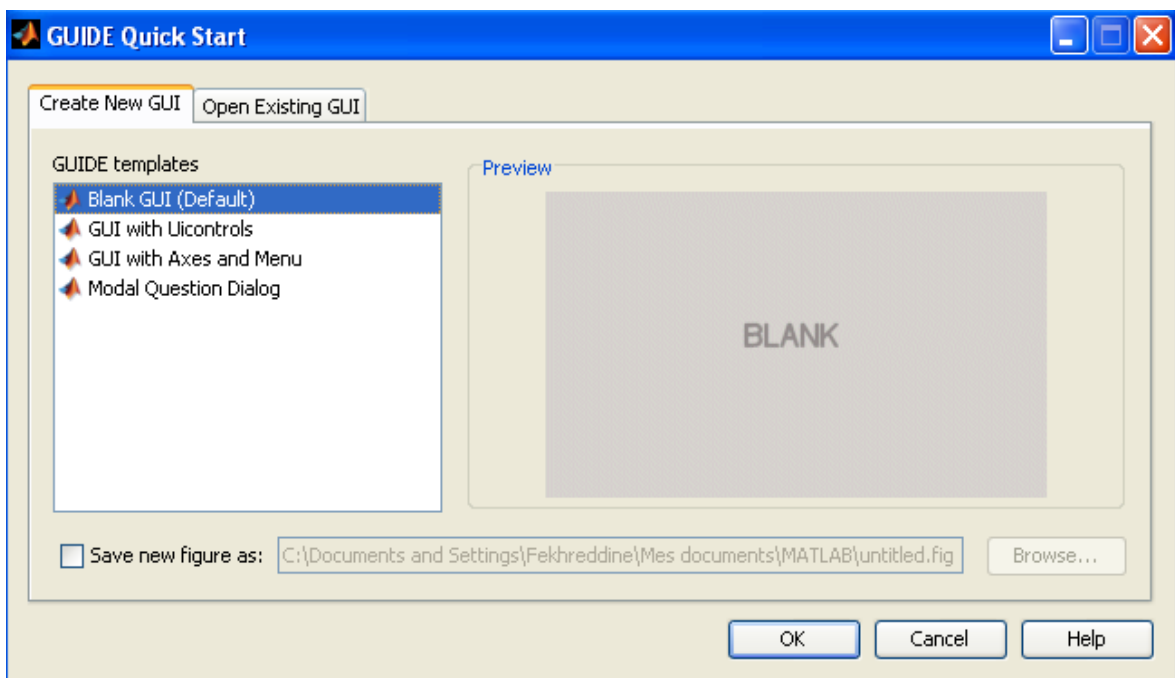


Figure IV.4 : Fenêtre principale du nouveau GUI.

- Il suffit d'appuyer sur « OK » pour obtenir la figure suivante :

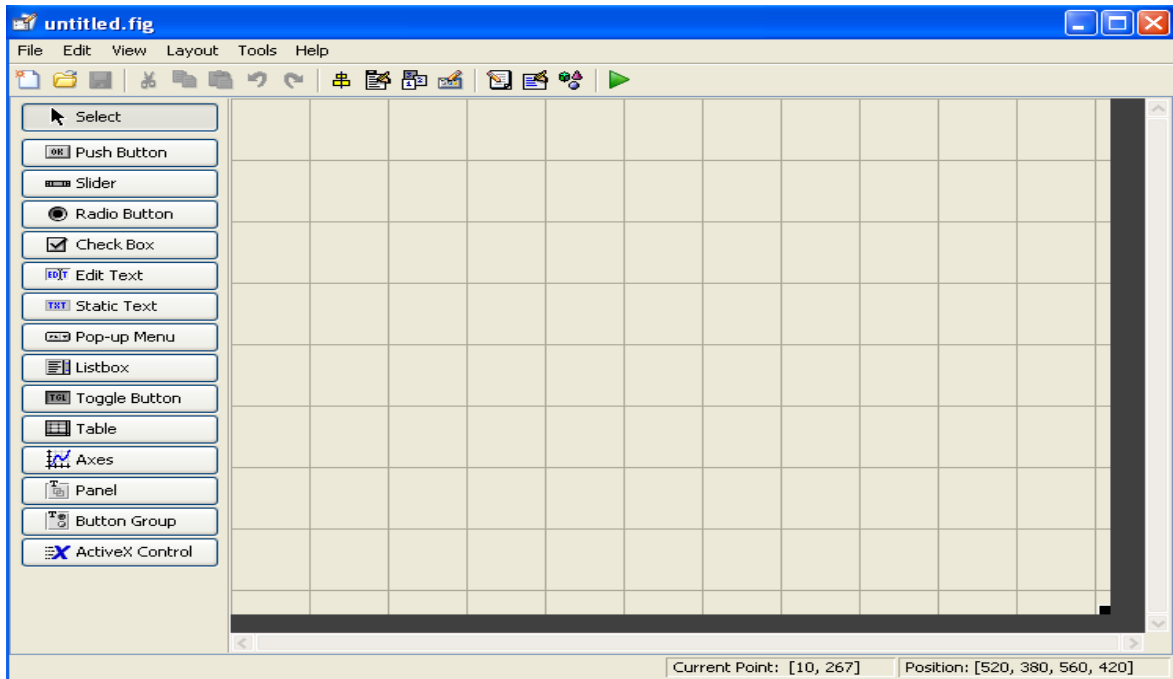


Figure IV.5: Interface GUI Matlab vierge.

- Maintenant vous avez une idée sur l'interface graphique sous-Matlab.

### IV.3 Outil de planification et de dimensionnement LTE

#### IV.3.1 Interface d'accueil



Figure IV.6 : Page d'accueil de l'application.



Lorsque l'utilisateur démarre l'application, il se retrouve face à une page de bienvenue, telle que présente la figure IV.6.

Cette page contient les boutons « Démarrer » pour le démarrage de notre application, « Fermer » si l'utilisateur quitte l'exécution, et le logo d'application.

### IV.3.2 Onglet « paramètre radio »

Dans cette fenêtre l'utilisateur doit choisir :

- ✓ Mode de canal (epa5, eva70, eta300)
- ✓ Type de la zone a dimensionner (dense urbaine, urbaine, suburbaine, rurale)
- ✓ Bande de fréquence utilisée (700, 800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100,2600 MHz)
- ✓ Probabilité de couverture assurée (98%, 95%, 90%, 85%, 75%).

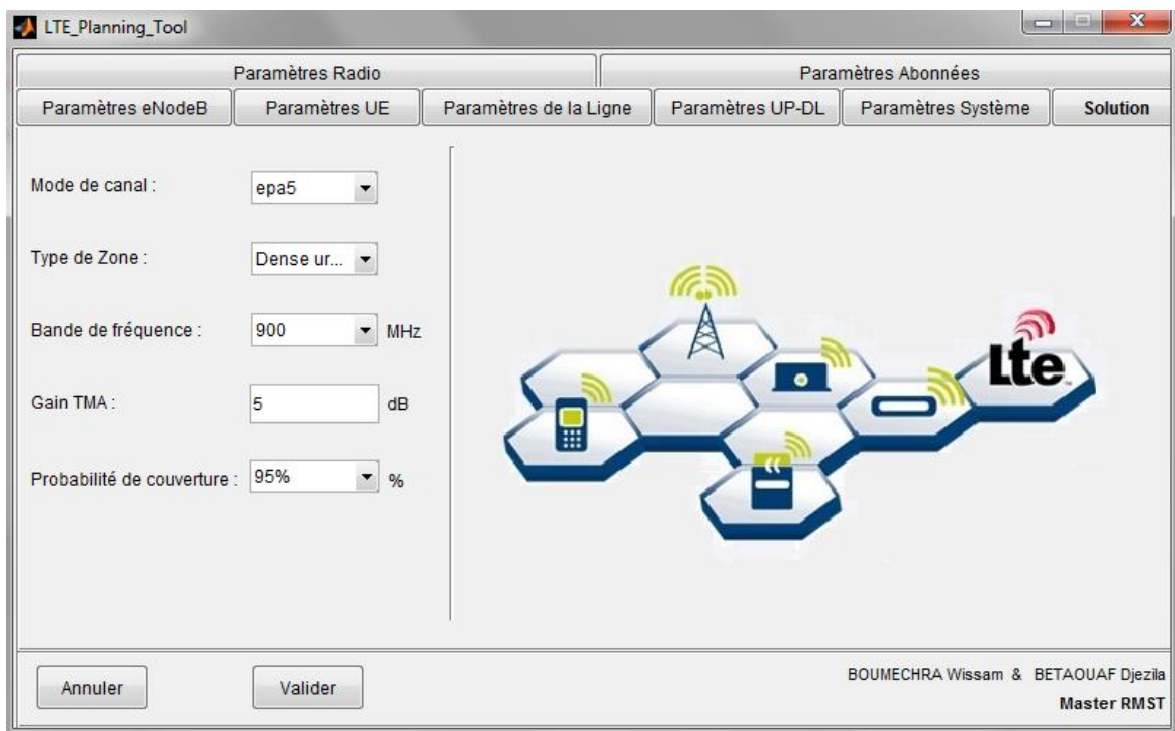


Figure IV.7 : Onglet « paramètre radio ».

### IV.3.3 Onglet « paramètre abonnés »

Cette fenêtre contient les paramètres suivants :

- ✓ Bande passante (1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz)
- ✓ Le type d'utilisateur de la zone choisit (standard, Business)
- ✓ Type de services utilisé (VoIP, données).

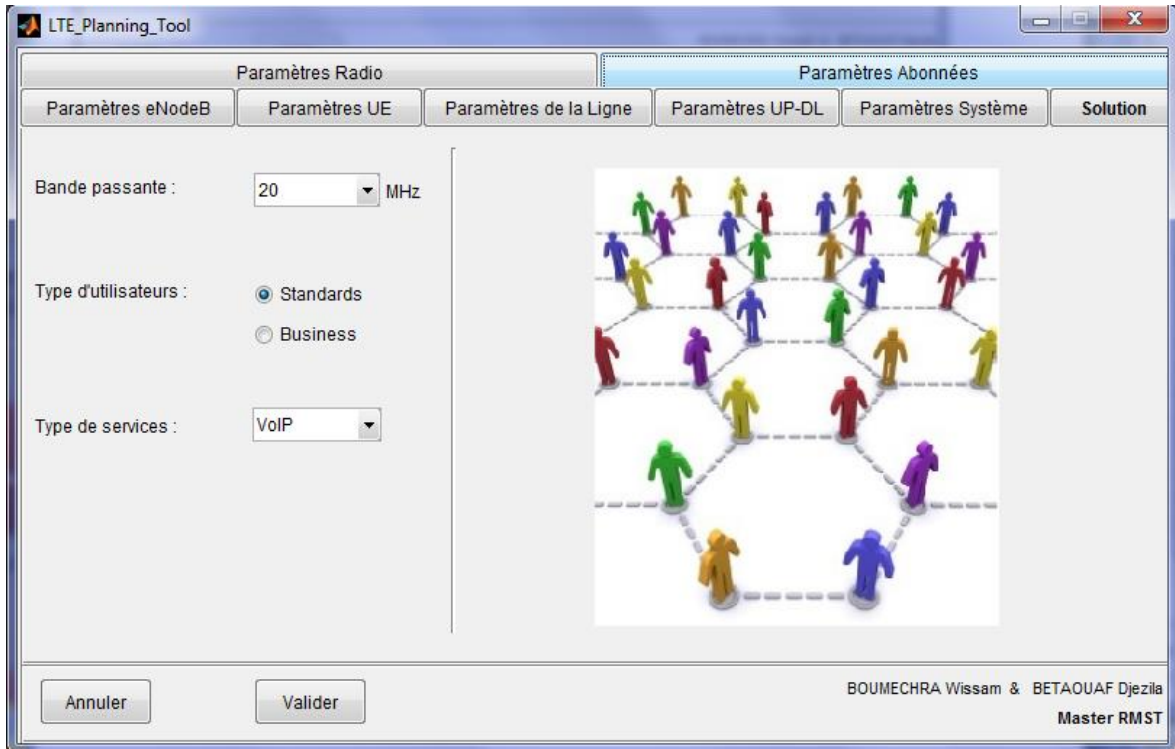


Figure IV.8 : Onglet « paramètre abonnés ».

#### IV.3.4 Onglet « paramètre eNodeB »

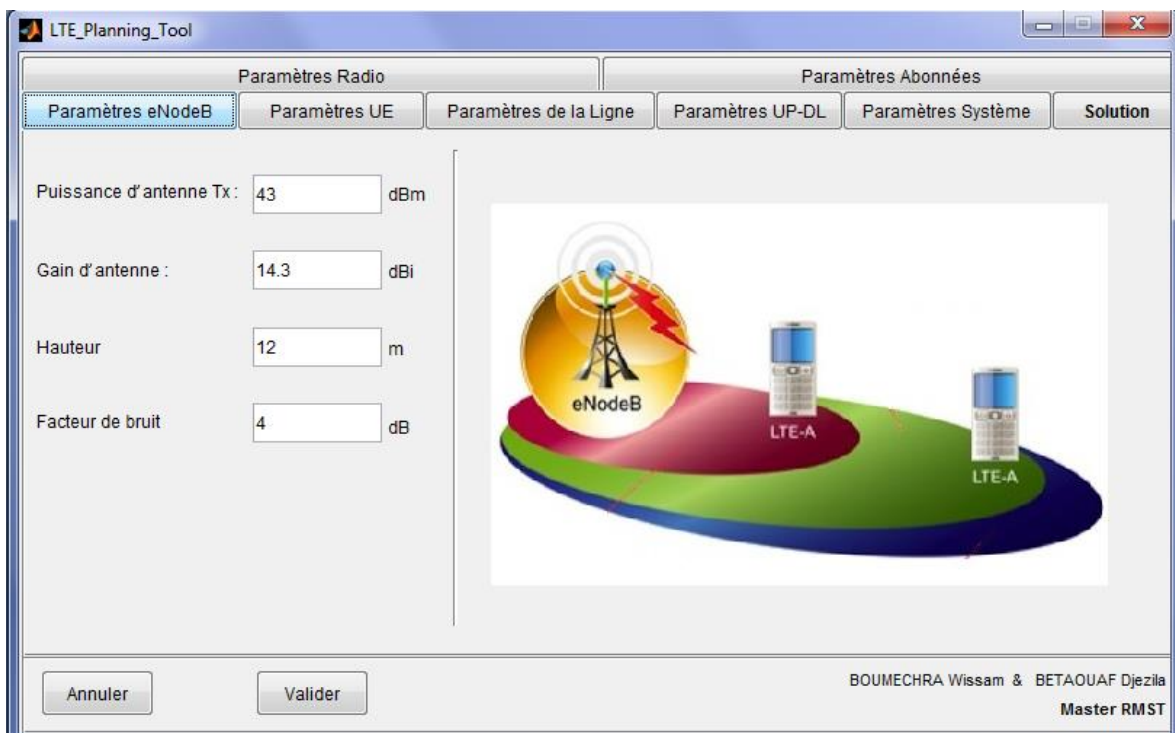


Figure IV.9 : Onglet « paramètre eNodeB ».

Le planificateur doit entrer les paramètres des eNodeBs :

- ✓ Puissance d'antenne

- ✓ Gain d'antenne
- ✓ La hauteur de la station de base
- ✓ Facteur de bruit.

#### IV.3.5 Onglet « paramètre UE »

La figure ci-dessous décrit les paramètres que l'utilisateur doit choisir : puissance d'antenne, gain d'antenne, hauteur du terminal mobile et le facteur de bruit.

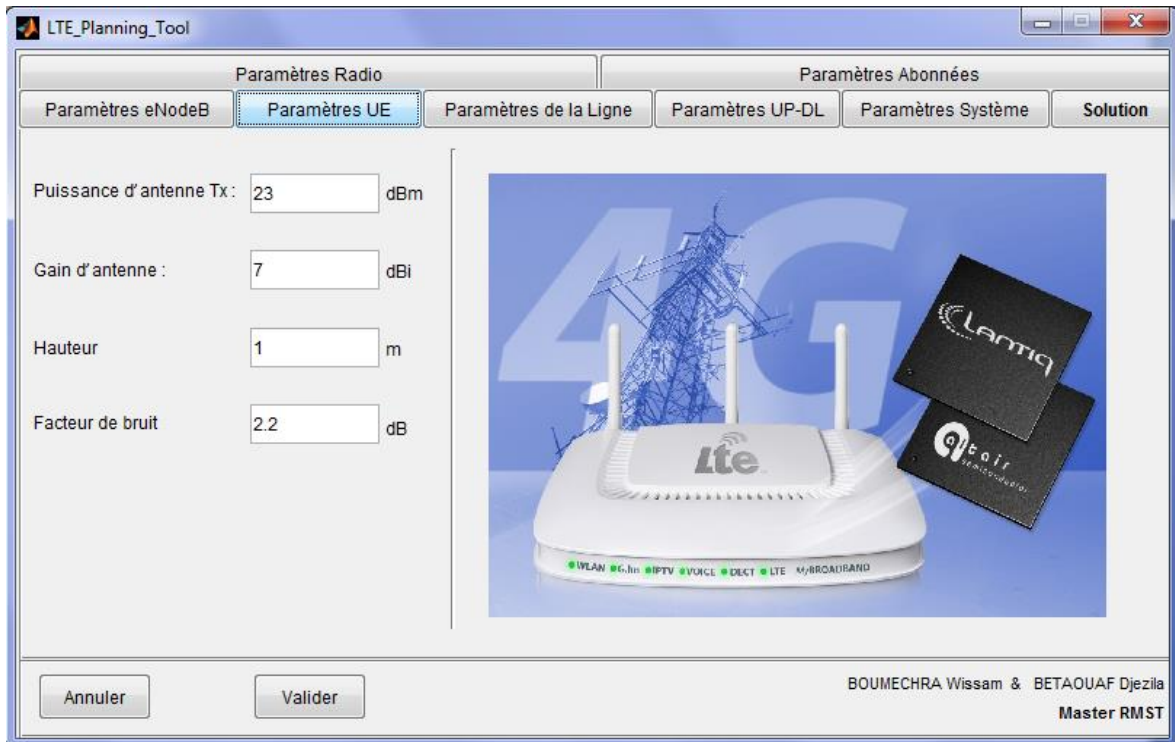


Figure IV.10 : Onglet « paramètre UE ».

#### IV.3.6 Onglet « paramètre de la ligne »

A ce niveau on doit entrer les paramètres suivants :

- ✓ Type de la ligne d'alimentation
- ✓ Longueur de la ligne
- ✓ Nombre des jumpers (de 1 à 10)
- ✓ Nombre des connecteurs (de 1 à 10).

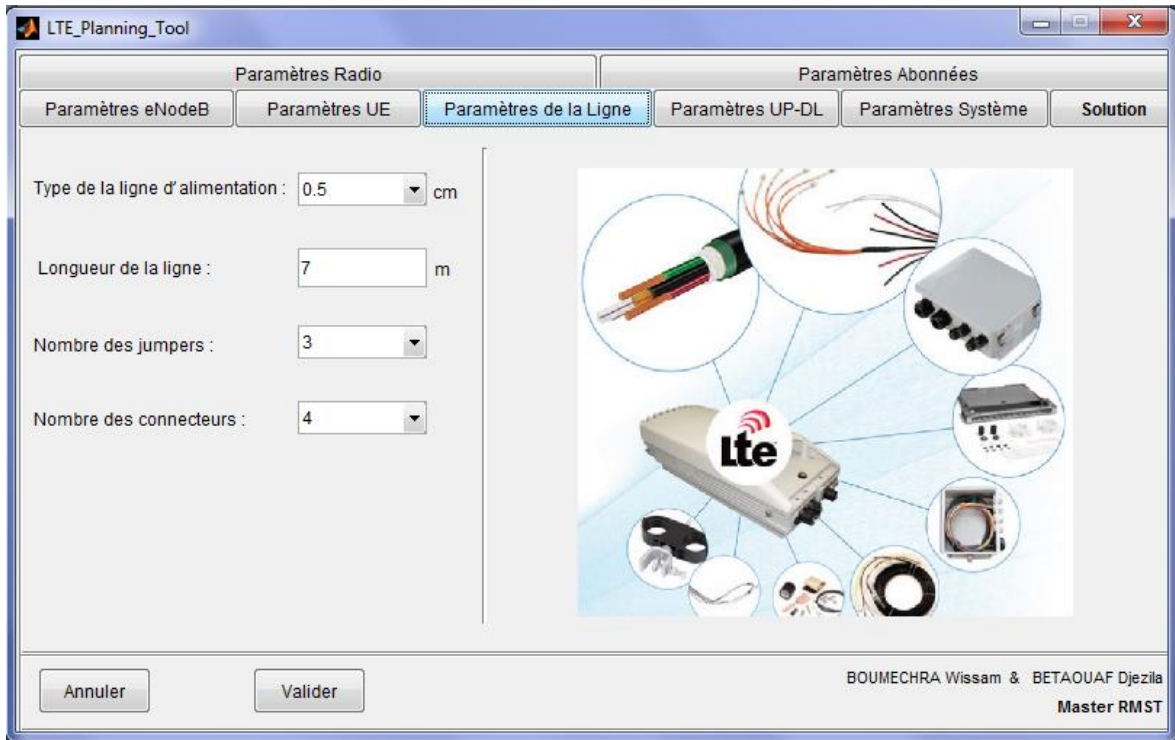


Figure IV.11 : Onglet « paramètre de la ligne » .

### IV.3.7 Onglet « paramètre UL-DL »

Cet onglet contient les paramètres pour un lien montant et un lien descendant :

- ✓ Facteur d'interférence
- ✓ Facteur de charge (35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%).

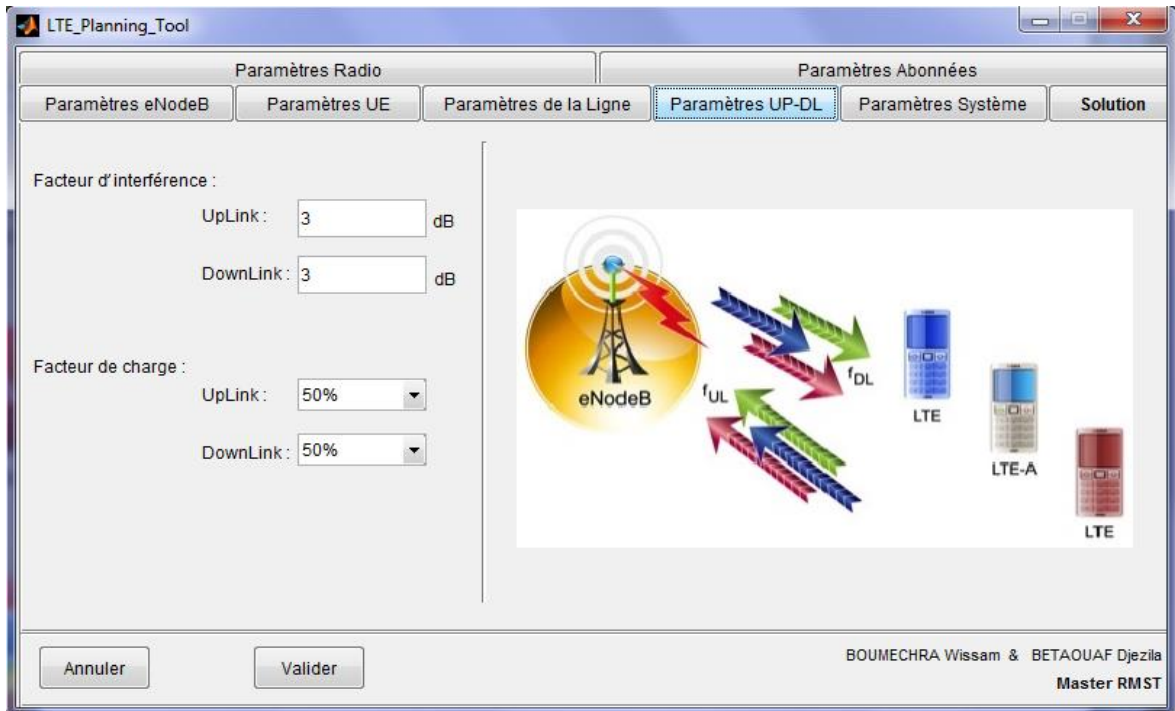


Figure IV.12 : Onglet « paramètre UL-DL ».

### IV.3.8 Onglet « paramètre système »

Cette fenêtre est destinée aux paramètres du système :

- ✓ Nombre des canaux PUCCH
- ✓ Type d'antenne (SIMO 1X2, TxDiv 2X2, OLSM 2X2).
- ✓ Type de site (1secteur, 3secteurs).

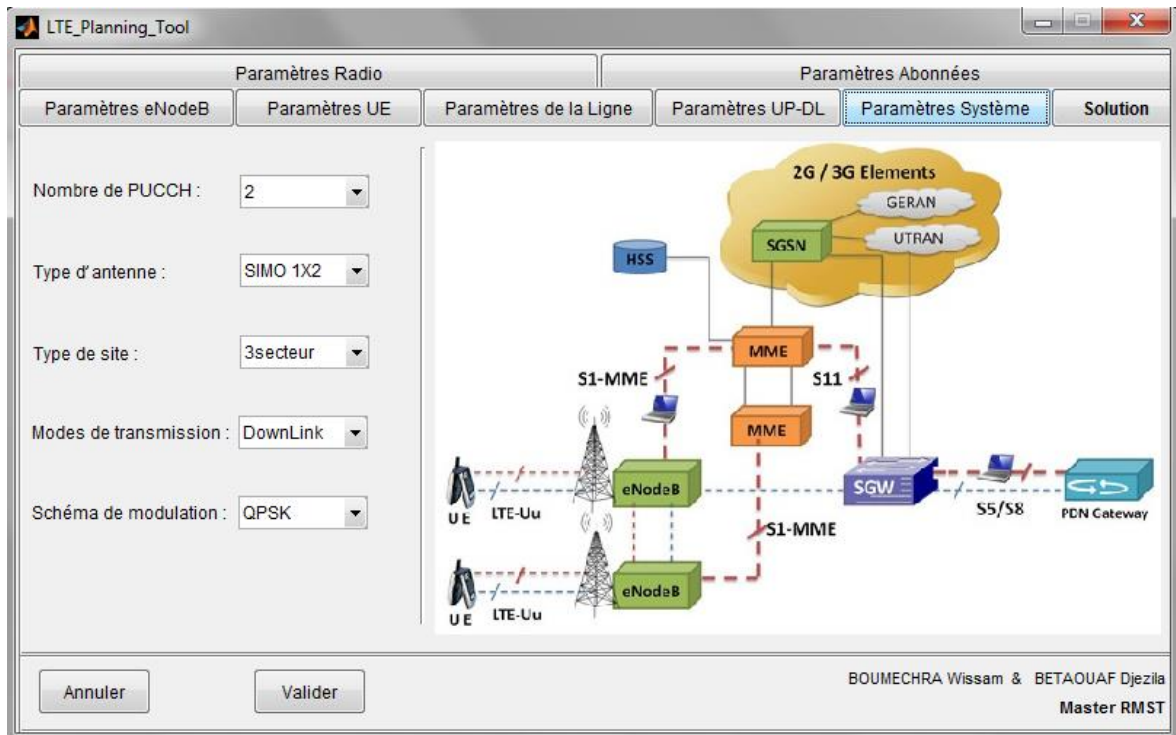


Figure IV.13 : Onglet « paramètre système ».

### IV.3.9 Onglet « solution »

Le résultat de dimensionnement est regroupé dans l'onglet de la solution. Cette fenêtre contient :

- ✓ le débit binaire requis par RB
- ✓ nombre des RB par utilisateur
- ✓ atténuation max du signal
- ✓ puissance transmise par RB
- ✓ affaiblissement max du parcours
- ✓ perte de shadowing
- ✓ perte de pénétration
- ✓ perte de la ligne d'alimentation
- ✓ perte de jumpers
- ✓ perte de connecteurs



- ✓ marge d'interférence
- ✓ SINR à la bordure de la cellule
- ✓ rayon de la cellule
- ✓ surface de couverture du site
- ✓ distance intersites
- ✓ nombre de sites par couverture
- ✓ nombre de sites par capacité
- ✓ débit binaire total
- ✓ débit de la cellule et le nombre d'abonnées

Paramètres Radio		Paramètres Abonnées	
Paramètres eNodeB	Paramètres UE	Paramètres de la Ligne	Paramètres UP-DL
Débit Binaire requis par RB :	1500	Kbps	SINR en EDGE cellule :
Nombre des RB par utilisateur :	100		-1.99162
Atténuation Max du signal LSA :	77.5427	dB	Rayon de la cellule :
Puissance transmise par RB PIRE :	-25.1246	dBm	0.844774
Affaiblissement Max du parcours MAPL :	154.596	dB	Surface de couverture du site :
Perte de Shadowing :	6.7	dB	3.61817
Perte de pénétration :	22	dB	Distance inter-sites :
Perte de la ligne d'alimentation :	1.53	dB	1.26716
Perte de jumpers :	0.34	dB	Nombre de sites par couverture :
Perte de connecteurs :	1.2	dB	13.8191
Marge d'interférence :	-806.633	dB	Nombre de sites par capacité :
			17.5692
			Débit binaire Total :
			7538.85
			Débit cellulaire :
			3769.43
			Nombre d'abonnées
			5820.63

Terminer

Figure IV.14 : Onglet « solution ».

#### IV.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons évoqué tous les étapes en relation avec la réalisation de l'application. Ainsi, nous avons exposé des aperçus d'écran témoignent les différentes étapes de l'application. Enfin, une partie de planification pour valider les résultats obtenus.

---

# *Conclusion Générale*

---

## *Conclusion Générale*

---

Le progrès du monde des télécommunications est de plus en plus rapide. Aujourd'hui un abonné est susceptible non seulement d'établir une connexion en tout moment pour récupérer ce dont il a besoin mais en plus, il est capable de jouir d'une multitude de services à travers le même réseau. C'est le principe de la convergence des réseaux aux quels répondent les réseaux des nouvelles générations et en particulier LTE.

L'objectif principal de ce projet est de créer un outil de planification et de dimensionnement du réseau d'accès de l'E-UTRAN, dans LTE. Un outil évolutif qui fournit une solution efficace, qui suit l'évolution rapide du standard 3GPP LTE et qui tient compte des nouvelles technologies introduites, telles que MIMO et l'agrégation de porteuses, etc.

Pour cela, nous avons commencé par une présentation des différentes générations de téléphonie mobile, En deuxième partie en a fait une étude général du réseau LTE, son architecture, ses caractéristiques, son interface radio ainsi que les avantages qu'il assure. En troisième partie, nous nous sommes intéressés à l'étude du dimensionnement d'un réseau d'accès LTE. En premier lieu, nous avons présenté les différents paramètres du bilan de liaison et les modèles de propagation afin d'effectuer un dimensionnement des e-NodeBs orienté couverture. En deuxième lieu, nous avons profilé les usagers de l'opérateur dans le but d'évaluer la charge du trafic. Nous avons, également, déterminé la capacité moyenne de la cellule pour effectuer un dimensionnement orienté capacité.

Dans la quatrième partie, nous avons présenté l'outil développé en décrivant les interfaces graphiques avec des valeurs réelles pour les interpréter par la suite dans la partie suivante dans le cadre de validation de notre solution.



## ***Bibliographie***

---

- [1] : 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.
- [2] : BENABADJIS et LALLAM.C « conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2012.
- [3] : <http://www.commentcamarche.net/contents/1123-telephonie-mobile-3g-et-4g-expliquees>.
- [4] : TONYE.E et EWOUSSAOUA.L, « planification et ingénierie des réseaux de télécoms », Mémoire pro 2 de télécommunication », Université de Yaounde I, 2011.
- [5] : BCHINI .T « gestion de la mobilité, de la qualité de service et interconnexion de réseaux mobiles de nouvelle génération», Thèse en vue de l'obtention du doctorat en réseaux et télécoms », Université de Toulouse, 2010.
- [6] : Bouguen.Y, Hardouin.E et Wolff. F.X « LTE et les réseaux 4G », édition groupe Eyrolles, 2012, page 11.
- [7] : NGUYEN.T.T « Evolution de la couche RRC de la plateforme OpenAir vers les nouvelles normes LTE », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Informatique, Institut de la Francophonie pour l'informatique, 2010.
- [8] : GHASSEN.A.A, MAHAMOD.I et KASMIRAN.J, “Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants”, Académie mondiale des sciences, 2011.
- [9] : Lindström.M, *LTE-Advanced Radio Layer 2 and RRC aspects*, 3GPP TSG-RAN WG2.
- [10]: <http://www.efort.com>
- [11]: OULD BAMBA.M.A.F, « Développement d'un Outil de Planification Dimensionnement de réseau WiMAX », Rapport de projet de fin étude, Ecole supérieur des communications de Tunis, 2007.
- [12] : HWAS.M.W, « Etude et dimensionnement d'un réseau WiMAX dans un concept IMS », Rapport de projet de fin étude, école supérieur des communications de Tunis, 2007.
- [13] : « <http://www.wireless-techbook.com/blocs-de-systeme-de-liaison-montante-lte/213-1single-transporteur-fdma.html> », Date de consultation juin 2013.

## ***Bibliographie***

---

[14] : Bouguen.Y, Hardouin.E et Wolff. F.X « LTE et les réseaux 4G », édition groupe Eyrolles, 2012, page 18.

[15] : Y. Bouguen, E. Hardouin, F.X.Wolff « LTE et les réseaux 4G », édition Groupe Eyrolles, 2012, page 19.

[16] : Ericsson «Coverage and Capacity Dimensioning recommendation» Confidential.

[17]: T. Novosad, L. Serna, C. Johnson Nokia Siemens Networks « LTE Radio Network Planning Guidelines », 2011.

[18]: <http://fr.wikipedia.org>.

[19]: <http://www.atdi.us.com/GeneralWimax.php>.

[20]: Huawei« Radio Access Network Planning Guide».

[21]: Nokia Siemens Networks «RNT\_LTE\_Dim v2.3.6 Approved for RL10 / RL20 / RL30 /RL15TD / RL25TD».