

TABLE DES MATIERES

Dédicace

Remerciement

Résumé..... I

Table des matières..... II

Liste des figures..... VI

Liste des tableaux..... VIII

Liste des abréviations..... IX

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Evolution des systèmes radio cellulaires

I.1 Introduction..... 3

I.2 Principe de base d'un réseau mobile..... 4

I.3 Historique..... 5

I.4 Standard des réseaux d'accès mobile..... 6

I.4.1 La première génération(1G)..... 6

I.4.1 La deuxième génération(2G)..... 7

I.4.2.1 le réseau GSM (2G)..... 8

I.4.2.1.1 Historique de la norme..... 8

I.4.2.1.2 Architecture du GSM..... 9

I.4.2.2 Le réseau GPRS (2.5G)..... 12

I.4.2.3 HSCSD ou EDGE(2.75G)..... 16

I.4.3 La troisième génération(3G)..... 17

I.4.3.1 le réseau UMTS (3G)..... 17

I.4.3.1.1 Les équipements du réseau UMTS..... 18

I.4.3.1.2 Les fréquences de l'UMTS..... 19

I.4.3.1.3 Les modes de transmission..... 20

I.4.3.2 HSDPA(3.5G)..... 21

I.4.3.3 HSUPA(3.75G)..... 21

I.4.4 La quatrième génération (4G)..... 21

I.4.4.1 Réseau LTE..... 22

I.4.4.2 Le réseau LTE-Advanced..... 22

I.5 Technologie de nouvelle génération (NGN)..... 22

I.6 Conclusion.....	23
---------------------	----

Chapitre II : Le Réseau LTE

II.1 <u>Le réseau LTE</u>	24
II.2 Architecture générale du réseau LTE	24
II.2.0 Réseau d'accès (Access Network).....	25
II.2.1 EPC (Evolved Packet Core).....	27
II.2.1.1 La partie signalisation	28
II.2.2 La partie radio E-UTRAN	29
II.3 Interfaces et protocoles	30
II.3.1 Architecture générale.....	30
II.3.2 Les interfaces réseaux E-UTRAN.....	31
III.3.2.1 L'interface S1.....	32
III.3.2.2 L'interface S1 flexibility.....	33
III.3.2.3 L'interface X2.....	34
II.4 Les protocoles de l'interface radio.....	35
II.4.1 Les canaux radio.....	35
II.4.1.1 Les canaux logiques.....	35
II.4.1.2 Les canaux de transport.....	37
II.4.1.3 Les canaux physique.....	37
II.4.2 Mappage entre les canaux.....	37
II.5 Architecture en couche radio de l'E-UTRAN.....	38
II.5.1 La couche PHY.....	40
II.5.2 La couche MAC.....	40
II.5.3 La couche RLC.....	40
II.5.4 La couche RRC.....	41
II.5.5 La couche PDCP.....	41
II.6 OFDM.....	42
II.6.1 OFDMA et SC-FDMA.....	43
II.6.2 Structure de la trame LTE.....	43
II.6.3 Concept de bloc de ressources.....	44
II.6.4 Latechnologie MIMO.....	45
II.7 Conclusion.....	46

Chapitre III : Dimensionnement D'un Réseau Mobile LTE

TABLE DES MATIERES

III.1 Introduction	47
III.2 Processus de Dimensionnement	47
III.3 Dimensionnement de couverture	48
III.3.1 Les étapes de dimensionnement de couverture	49
III.3.2 Le calcul à faire	50
III.3.2.1 Bilan de liaison Radio RLB	51
III.3.2.2. Modèle de Propagation	52
III.3.2.2.1 Modèle Macro-cellule	52
III.3.2.2.2 Modèle Micro-cellule	52
III.3.2.2.3 Types de modèles de propagation	53
III.3.3 Calcul de la couverture pour les Uplink	58
III.3.3.1 Débit requis	58
III.3.3.2 SINR requis	59
III.3.3.3 Sensibilité eNodeB récepteur	61
III.3.3.4 Les marges de bruit	61
III.3.3.5 Puissance par bloc de ressource EIRP (<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>)	65
III.3.3.6 Equation bilan de liaison Uplink	65
III.4 Calcul de la couverture pour les Downlink	67
III.4.1 Pertes de trajet	67
III.4.2 Débit binaire requis	67
III.4.3 Puissance par bloc de ressource	67
III.4.4 Augmentation du bruit à la bordure de la cellule	68
III.4.5 Equation bilan de liaison Downlink	68
III.4.6 La sensibilité du l'équipement utilisateur récepteur	69
III.4.7 SINR à la bordure de la Cellule	69
III.4.8 Limite du Bilan de liaison	70
III.4.9 Les modes de transmission	70
III.4.10 Rayon de la cellule	72
III.4.11 Nombre des sites	73
III.5 Dimensionnement de capacité	75
III.5.1 Calcul dimensionnement de capacité pour les Uplink	75
III.5.1.1 Débit de la cellule	75

III.5.2 Calcul dimensionnement de capacité Downlink.....	76
III.5.2.1 SINR.....	76
III.5.2.2 Débit de la cellule.....	76
III.5.2.3 Nombre des sites demandés.....	77
III.6 Conclusion	77

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

IV.1 Introduction	78
IV.2 Présentation du logiciel Matlab.....	78
IV.3 Outil de planification et de dimensionnement LTE.....	82
IV.3.1 Interface d'accueil.....	82
IV.3.2 Onglet « Radio Parameters».....	83
IV.3.3 Onglet « Subscriber Parameters».....	83
IV.3.4 Onglet « eNodeB Parameters».....	84
IV.3.5 Onglet « UE Parameters».....	85
IV.3.5 Onglet « Line Parameters».....	85
IV.3.6 Onglet « UL-DLParameters».....	86
IV.3.7 Onglet « SystemsParameters».....	87
IV.3.8 Onglet «solution».....	87
IV.4 Conclusion	88
Conclusion générale	89
Bibliographie.....	90

Liste des Tableaux

Tableau III.1 : Largeurs de bande et les blocs de ressources spécifiées LTE.....	59
Tableau III.2 : Pertes de pénétration.....	61
Tableau III.3 : Pertes selon type de signal.....	62
Tableau III.4 : Marge de shadowing.....	63
Tableau III.5 : Pertes de ligne d'alimentation.....	64
Tableau III.6 : Paramètres semi empiriques pour Downlink.....	72
Tableau III.7 : Paramètres semi-empiriques pour l'Uplink.....	72
Tableau III.8 : Atténuation fixe dans le modèle de propagation Okumura-hata.....	73
Tableau III.9 : Surface de zone.....	74

1G : première génération

2G: deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

5G : cinquième génération

3GPP: 3rd Génération Partnership Project

A

AUC: Authentification 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

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: New Generation Network

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

PDCCP: Packet Data Convergence Protocol

Q

QoS: Quality of Service

QDS: Qualité de service

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 to Interference & 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 Telecommunications System

UE: User Equipment

UL: UpLink

UL-SCH: UpLink Shared Channel

V

VLR: Visitor Location Register

VoIP: Voice over IP

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.

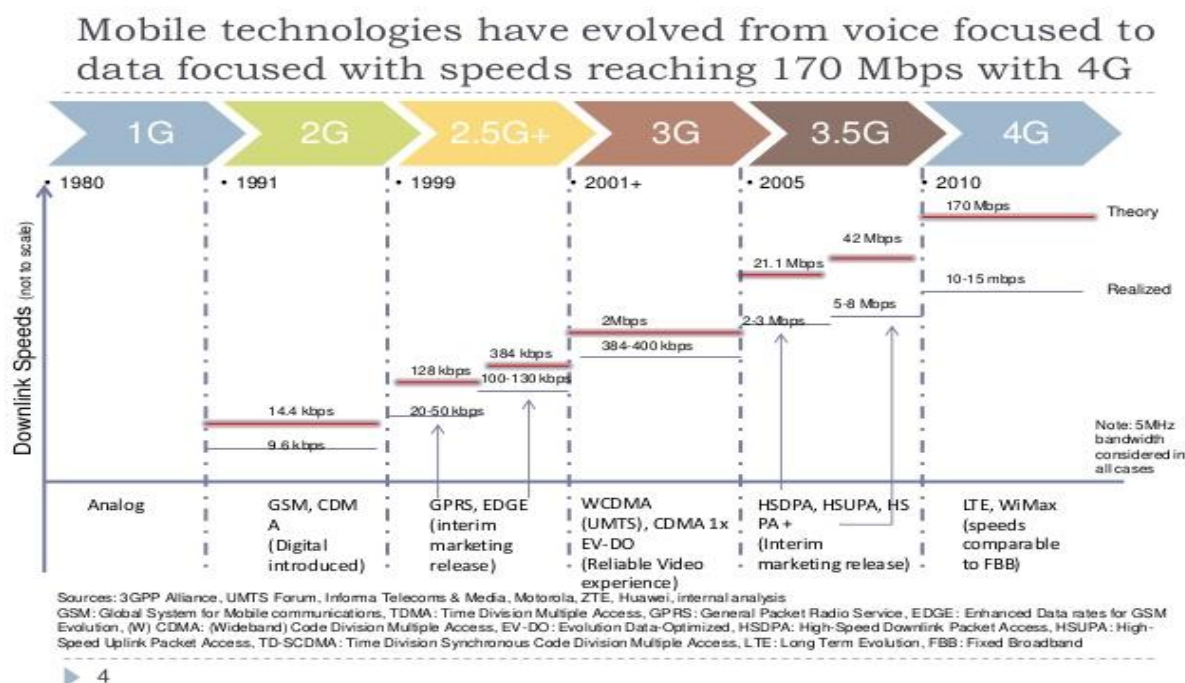


Figure I.1 : Evolution vers LTE

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 (figure I.2), ces mêmes fréquences seront réutilisées par des cellules suffisamment éloignées de façon à éviter les interférences.

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 macros 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).

Le concept de cellules

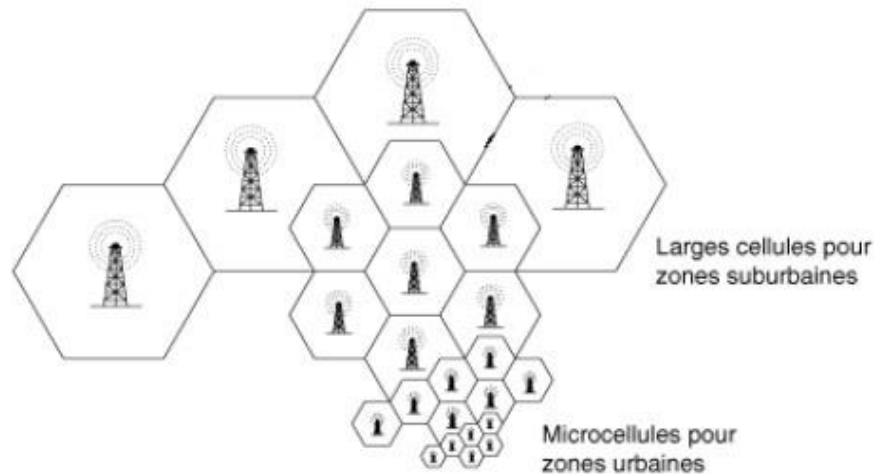


Figure I.2 : concept cellulaire

I.3 Historique

Dans le monde à fin 2016, ce sont près de 7,4 milliards d'abonnements mobiles qui étaient souscrits, soit quasiment la totalité de la population mondiale, selon les estimations de l'International Télécommunication Union. Cela correspond ainsi à un taux de pénétration de 99,7%. 5,8 milliards de ces abonnements ont été souscrits dans des pays en développement.

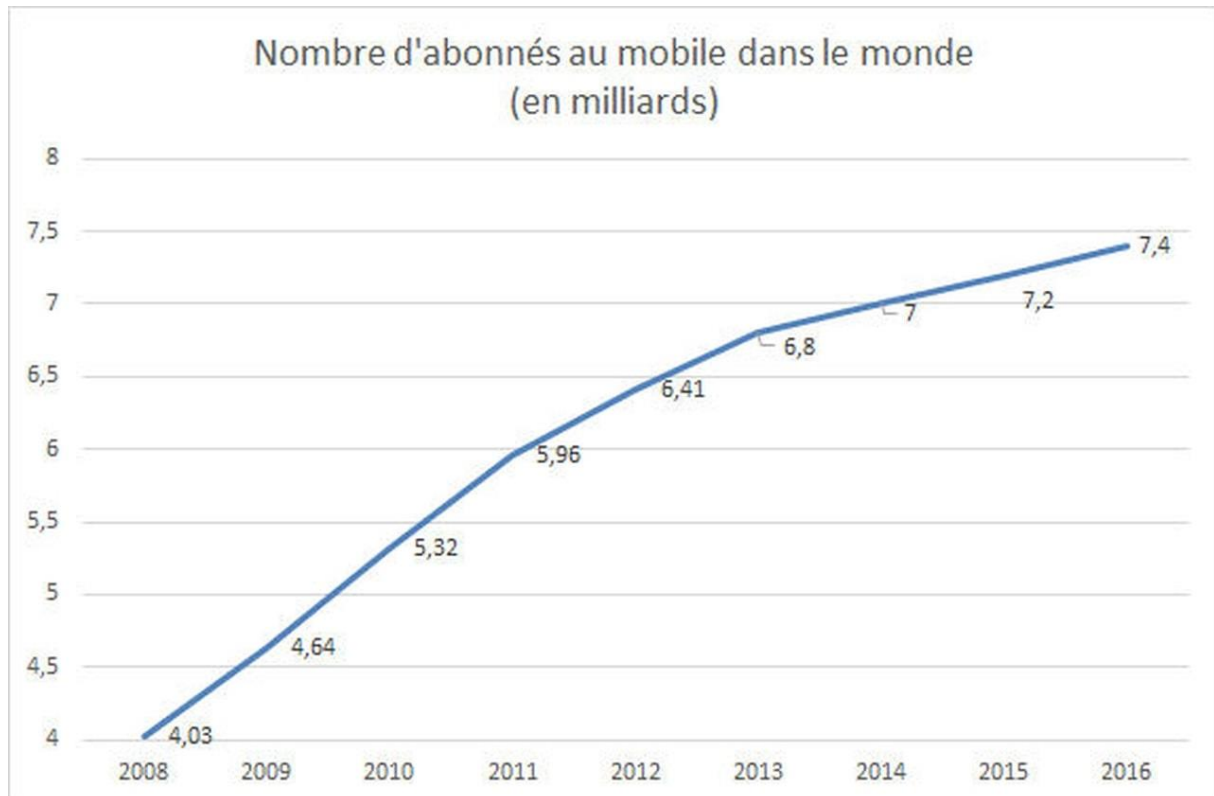


Figure I.3 : Evolution des abonnés mobiles dans le monde

Dans les pays en voie de développement, la pénétration des abonnements mobiles atteint 94,1% fin 2016 contre 126,7% dans les pays développés.

Le marché approche la saturation : la croissance des abonnements n'est plus que de 2,2% par an (contre 2,6% entre 2014 et 2015 par exemple). Elle est surtout due aux pays en voie de développement (hausse de 2,5% en 2016)

.

I.4 Standard des réseaux d'accès mobile

I.4.1 La première génération (1G)

La première génération de systèmes cellulaires 1G reposait sur un système de communications mobiles analogiques.

Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base.



Figure I.4 : La première génération 1G

La première génération de systèmes cellulaires (1G) utilisait essentiellement les standards suivants :

AMPS (Advanced Mobile Phone System)

Lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access)

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.

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 service le plus important dans les réseaux cellulaires GSM est le service de la voix. Cette technologie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau fixe RTC (Réseau Téléphonique Commuté). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Il se distingue par un accès spécifique traduisant la liaison radio et un débit inférieur à 10 Kb/s.

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).

I.4.2.1.1 Historique de la norme

- L'histoire du GSM a commencé en 1979, date à laquelle l'UIT a ouvert la bande des 900 Mhz aux services mobiles.
- En 1982, il y a eu allocation de sous bandes de largeurs de 25 Mhz :
 - * de 890 Mhz à 915 Mhz pour les transmissions des terminaux vers les réseaux (Uplink),
 - * de 935 Mhz à 960 Mhz pour les transmissions en sens inverses (Downlink)
- en 1987 le GSM (Groupe Européen (France- Allemagne)) choisit la transmission numérique avec multiplexage temporel, le type de modulation, le codage du canal, le codage de la parole à débit réduit.
- en 1988 : Lancement de l'appel d'offre en France.
- en 1991 : déploiement du réseau GSM prototype en France, France Télécom, SFR)
- en 1993 : Ouverture commerciale du réseau GSM.

- en 1991 : Sous l'impulsion des britanniques, un système parallèle à GSM 900 Mhz, le 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 de forte densité.
- Actuellement dans beaucoup de pays, la norme GSM inclut le DCS 1800.

I.4.2.1.2 Architecture du GSM

Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio. La figure I.5 présente l'architecture du réseau GSM :

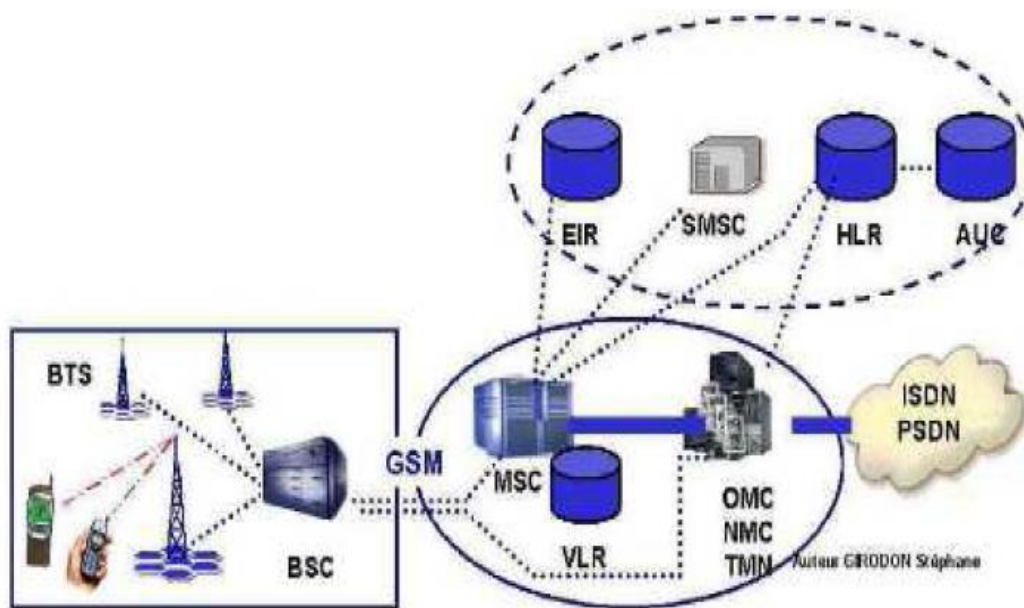


Figure I.5 : Architecture du réseau GSM.

Un réseau GSM est constitué de trois sous-systèmes :

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.

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

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

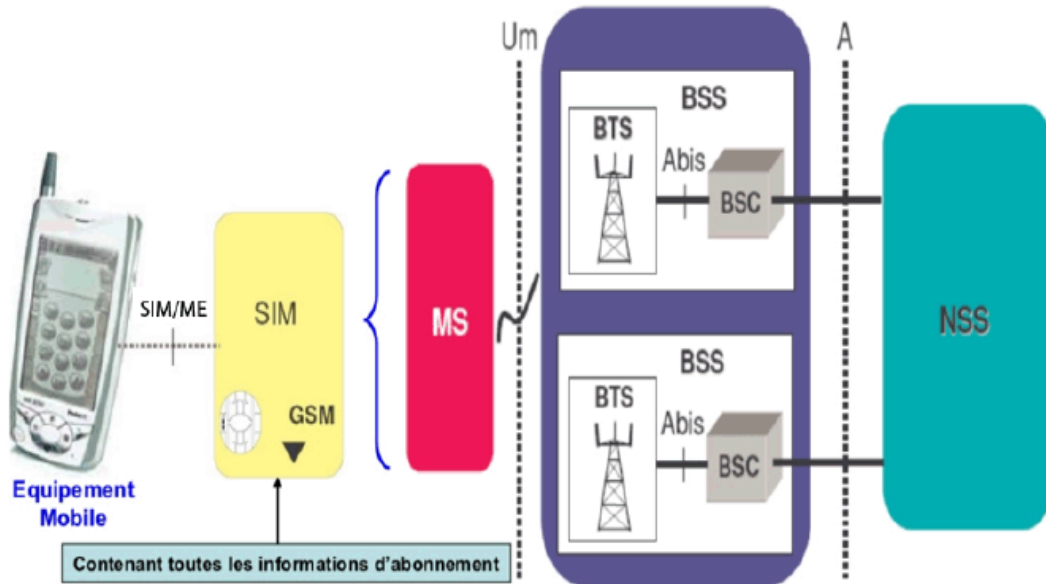


Figure I.6 : L'architecture du BSS.

On distingue dans le BSS :

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*) :

Regroupe les sous-systèmes qui assurent des fonctions du niveau réseau (routage, interconnexion).

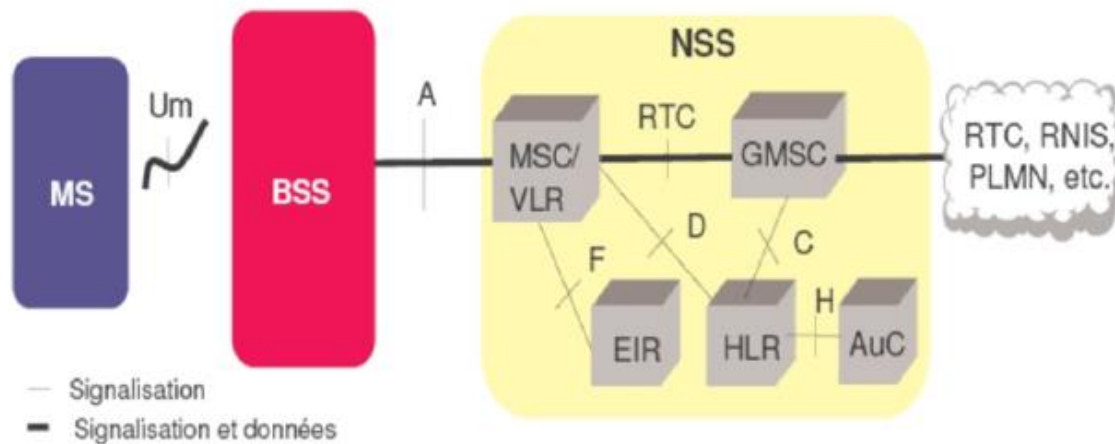


Figure I.7: L'architecture du NSS.

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 Equipment (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.

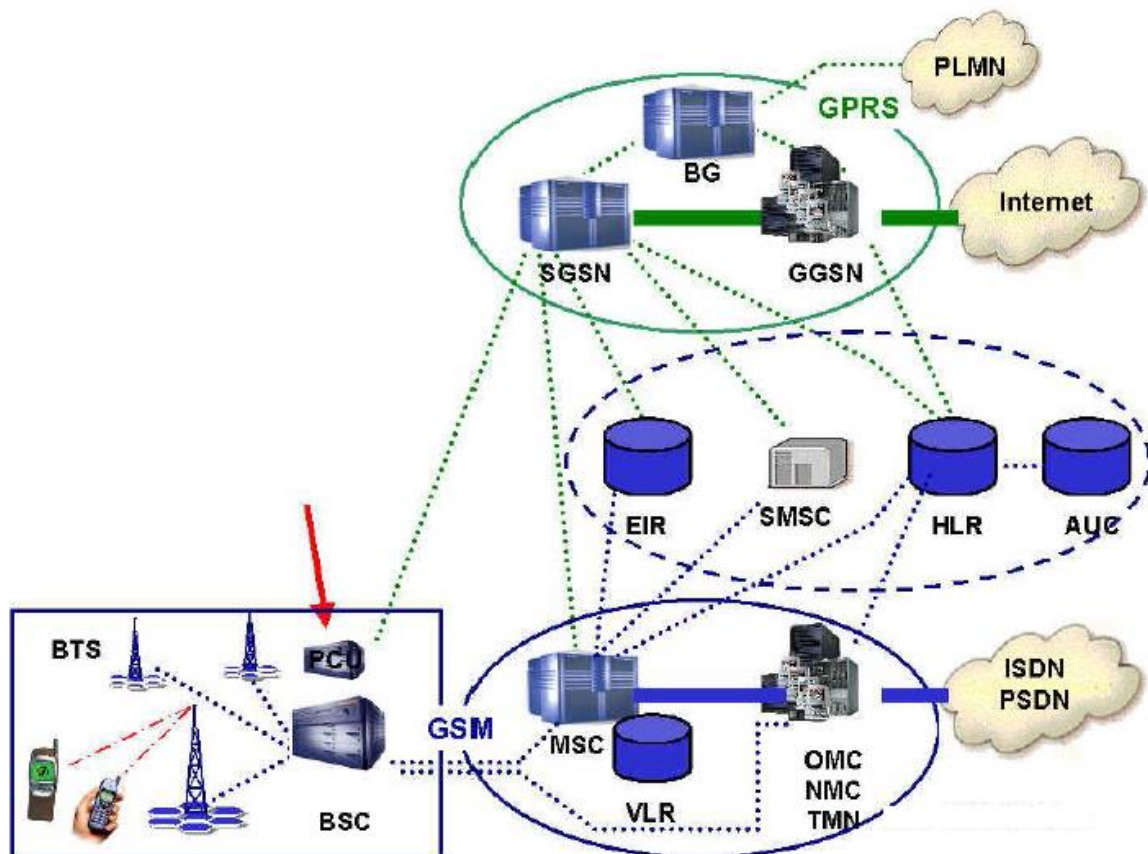


Figure I.8 : Architecture du réseau GPRS.

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 routeurIP en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissionsradio (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 zonedonnée. Il est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone desurveillance.

Le noeud de passerelle (GGSN) :

Le noeud passerelle GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) est un routeur qui permet aux paquets venant de réseaux de donnéesexternes d'être acheminés vers le SGSN du destinataire, il est relié à un ou plusieursréseaux 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 fédérateurinterconnectant différent réseaux GPRS. Ces BG jouent le rôle d'interface avec le autres PLMN (*Public Land Mobile Network*) sécurité entre les réseaux.

Principe générale de l'acheminement des données :

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

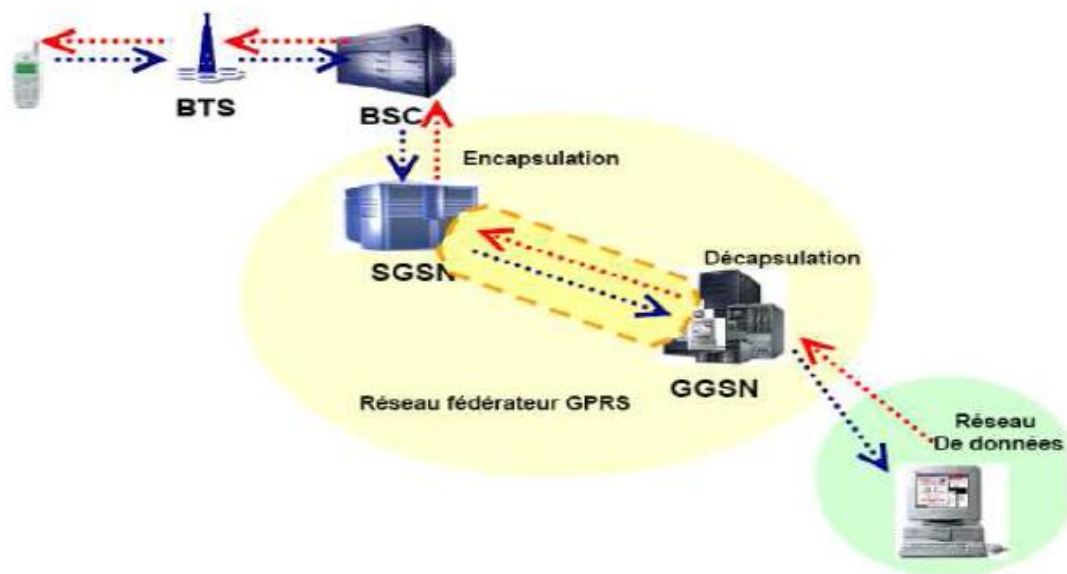


Figure I.9 : L'acheminement des paquets du réseau GPRS.

Le routage des données vers les terminaux mobiles utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels. L'encapsulation consiste à placer une unité de protocole PDU (Protocol Data Unit) dans une unité d'un autre protocole sans que ce dernier se préoccupe du format des données transportées. Par exemple, si on utilise un réseau à accès X25, pour transporter des datagrammes IP, on place les datagrammes IP dans des paquets X25 qui seront transportés comme n'importe quel paquet dans le réseau X25; le routage étant fait à partir de l'adresse X25. Le réseau X25 se comporte alors comme un tunnel: les datagrammes IP entrent à une extrémité du réseau pour en ressortir à l'autre.

Dans le cas du GPRS, on utilise l'exemple inverse: des paquets X25 ou des datagrammes IP sont encapsulés dans des datagrammes IP. Le protocole qui réalise la mise en tunnel s'appelle GTP (GPRS Tunnel Protocol). Toutes les données émises par un équipement du réseau PDP sont routées vers le GGSN. Le GGSN les transmet alors au SGSN par une mise en tunnel (Protocole GTP). En conséquence le GGSN doit mémoriser en permanence pour un abonné actif de quel SGSN il dépend.

Le tunneling permet d'encapsuler un paquet dans un nouveau paquet. Ce nouveau paquet peut comporter de nouvelles informations d'adressage et de routage, qui lui permettent de parcourir les réseaux.



Une fois que les paquets ont atteint leur destination, l'en-tête d'encapsulation est retirée et l'entête du paquet d'origine est utilisée pour transférer le paquet vers sa destination finale. Entre la source d'origine et son homologue de destination, le tunnel est généralement transparent et ressemble à n'importe quelle autre connexion point à point.

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 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. Mais c'est beaucoup moins performant que la 3G et son rendement optimal est obtenu lorsqu'il est combiné avec un réseau de commutation par paquet (GPRS).

Ce standard utilise une nouvelle modulation du signal (8PSK) qui permet d'améliorer l'efficacité spectrale et la capacité du réseau. Un terminal mobile dans un réseau EDGE est capable de transmettre et de recevoir sur plusieurs intervalles de temps (IT). Cette technique permet de définir des circuits allant jusqu'à 6 IT alloués aux mobiles par trame TDMA; ce qui permet d'envisager des débits de l'ordre 19.2 Kb/s, 28.8 Kb/s, 38.4 Kb/s, 48 Kb/s, 56 Kb/s ou 64 Kb/s suivant le nombre des canaux alloués.

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

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

La mise en place d'un réseau UMTS permet à un opéra existant par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS. L'architecture du réseau UMTS est présenté par la figure I.10 si dessous ;

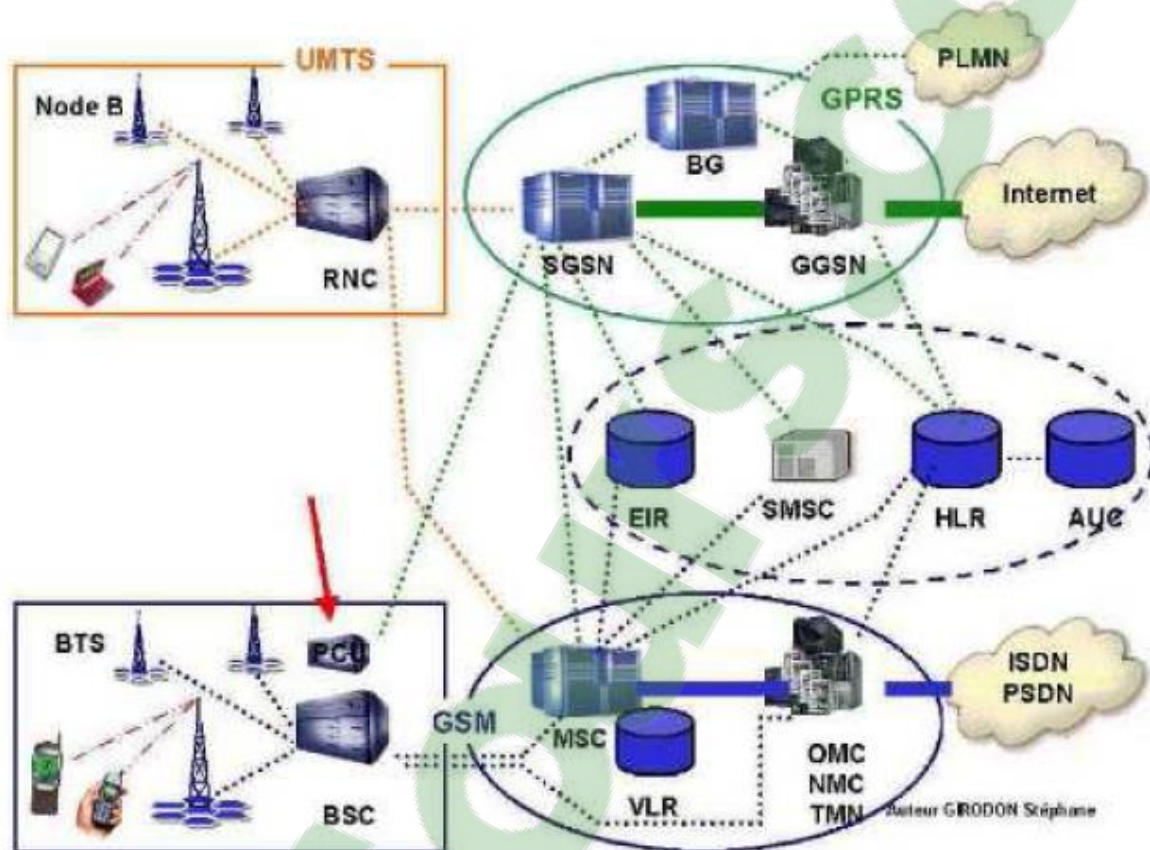


Figure I.10 : Architecture du réseau UMTS.

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 communications entre mobiles (par l'intermédiaire des nodes B) et le réseau.

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.

I.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 35 MHz) et [2010 – 2025] MHz (Downlink bande de 15 MHz).
- Duplex fréquentiel FDD (*Frequency 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 5 MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

I.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.

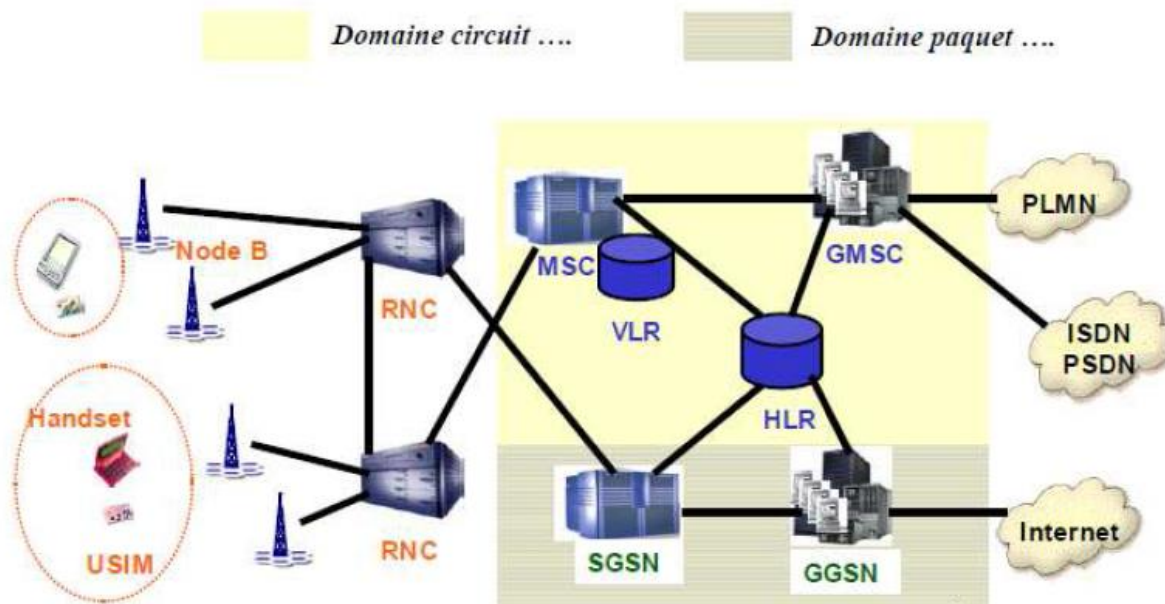


Figure I.11: Mode de transmission du réseau UMTS.

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

L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases de données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe.

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

Le domaine paquet : 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.

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

I.4.3.2 HSDPA (3.5G ou 3G+)

La troisième génération (UMTS) impose des investissements énormes pour des débits qui ne sont pas éloignés de ceux du GPRS et se voit rapidement remplacée par la nouvelle génération 3,5G, appelée HSDPA. Cette nouvelle technologie offre des débits pouvant atteindre 8 à 10 Mb/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 ou 3G++)

La 3.75G est une variante de HSDPA sur la voie montante. HSUPA peut être considérée comme le successeur de HSDPA, elle porte le débit montant (Uplink) vers les 20 Mb/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 10 Mb/s comme en HSDPA. L'intérêt de cette technologie est d'offrir la possibilité d'émettre vers d'autres mobiles toutes sortes de 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 coeur 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 100Mb/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 1.5) reposent sur l'intégration de plusieurs systèmes et technologies d'accès sans fil. Ce système de télécommunication regroupe les différentes générations et les diverses technologies radio complémentaires. Cela permet de réduire les coûts de déploiement et d'augmenter la couverture à moindre frais. Les terminaux

de cette technologie sont capables de sélectionner à chaque instant la meilleure solution pour accéder à un réseau donné. L'objectif est de fournir aux utilisateurs mobiles des services rapides et sans interruption dans un environnement hybride. Cette génération offre des taux de données supérieurs à 100 Mb/s.

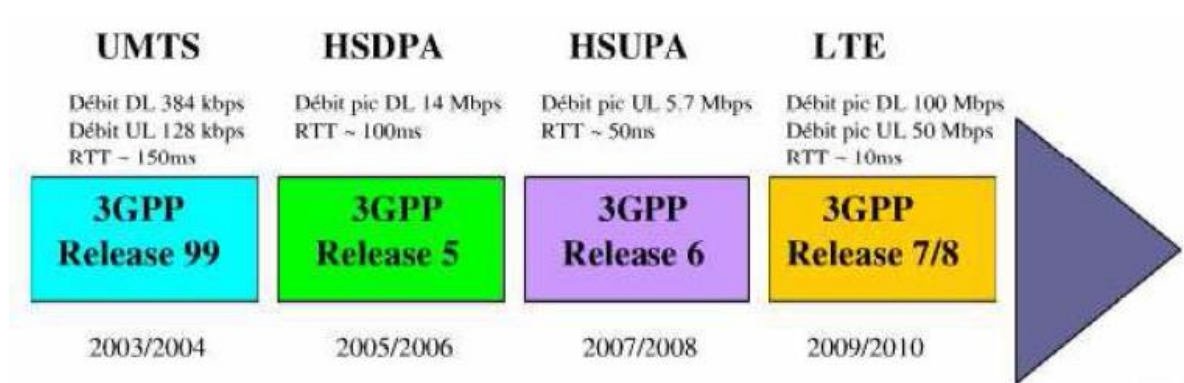


Figure I.12 : Evolution vers les réseaux NGN

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.

Les standards développés sont généralement sous le terme «**Release**».

I.6 Conclusion

Les réseaux de téléphonie se sont beaucoup plus développés, qu'ils soient filaires ou hertziens. Ces dernières années, un besoin se crée, celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile pour cela on a 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.

Avec l'explosion du trafic et l'accroissement du progrès technologique, les réseaux encouragent de nouveaux types d'usages tels que la visiophonie, vidéo streaming... Ces nouveaux usages, incitent une utilisation plus intensive des réseaux. D'où les besoins de capacité vont croître, et la technologie se doit d'évoluer constamment pour les satisfaire.

II.1 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 élevé 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 [6].

II.2 ARCHITECTURE GENERALE DU RESEAU LTE :

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

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

D'autres blocs sont également affichés, comme l'UTRAN (le réseau d'accès de l'UMTS), les deux parties PS et CS du réseau cœur, reliés respectivement, au réseau d'IP public (ou privé) et au réseau du téléphone. L'IMS (IP MultimediaSubsystem) est localisé au sommet de la partie cœur et fournit l'accès aux réseaux IP publique et privé, et le réseau public du téléphone via les entités du réseau Media Gateway [7].

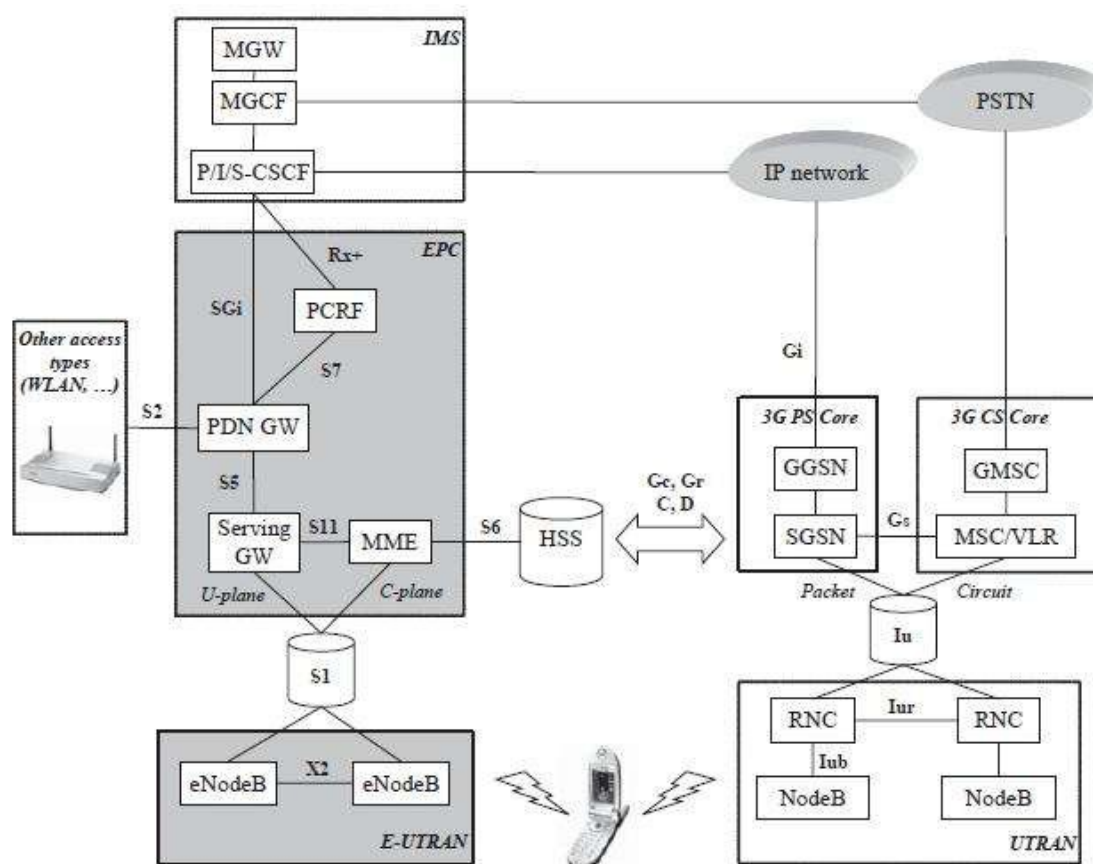


Figure II.1 : Architecture générale du LTE [7].

II.2.0 Réseau d'accès (Access Network) :

II.2.0.1 Caractéristiques du réseau d'accès :

a) *Débit de l'interface radio :*

L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum instantané de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum instantané de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens montant. Les technologies utilisées sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant. Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bits/s/Hz pour le sens descendant et 2.5 bit/s/Hz pour le sens montant [7].

b) *Connexion permanente :*

Le principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet. Mais même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou recevoir du trafic.

Ce changement d'états opère en moins de 100 ms. Le réseau pourra recevoir le trafic de tout terminal rattaché puisque ce dernier dispose d'une adresse IP, mettre en mémoire ce trafic, réaliser l'opération de paging afin de localiser le terminal et lui demander de réserver des ressources afin de pouvoir lui relayer son trafic [7].

c) ***Délai pour la transmission de données :***

Ce délai est de moins de 5 ms entre l'UE et l'Access Gateway, en situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio. La valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio. Ceci permet de supporter les services temps réel IP, comme la voix sur IP et le streaming sur IP [7].

d) ***La mobilité***

Elle est assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer (le LTE ne permet que le hard handover et non pas le soft handover) dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse [7].

e) ***Coexistence et interfonctionnement avec la 3G :***

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

Le handover pourra aussi s'effectuer entre le LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs CDMA évolueront aussi vers le LTE qui devient le vrai standard de communication mobile de 4^{ème} génération [7].

f) ***Flexibilité dans l'usage de la bande :***

E-UTRAN doit pouvoir opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz [7].

g) ***Support du multicast :***

Ce support est indispensable notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast[7].

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

Comme le LTE pourra opérer sur des bandes de fréquences diverses et notamment basses comme celle des 700 MHz, il sera possible de considérer des cellules qui pourront couvrir un large diamètre [7].

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La Figure II.2 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

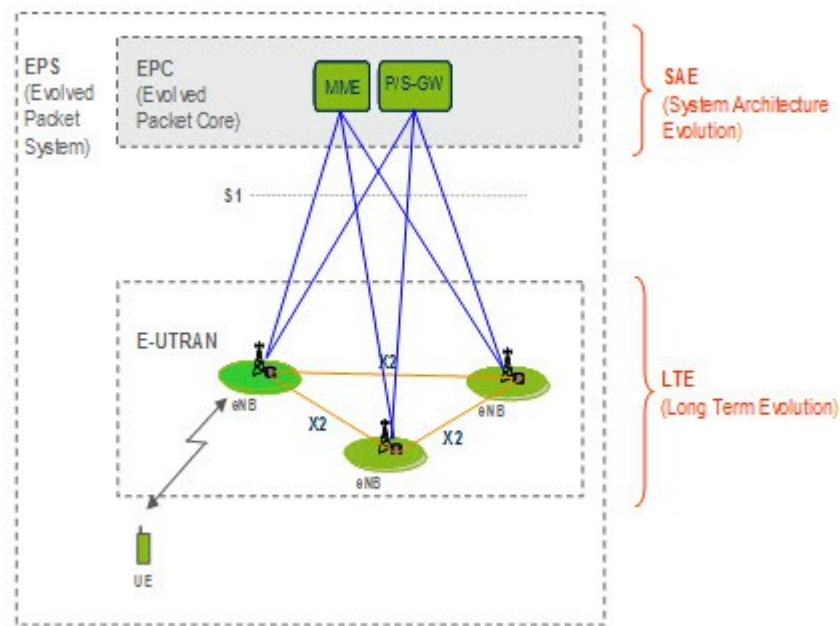


Figure II.2 Architecture d'EPS (evolved packet System)

II.2.1 EPC : Evolved Packet Core

Le cœur de réseau appelé «EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet. EPC simplifie le réseau d'architecture à tout IP, comme il assure la mobilité entre 3GPP based system, et aussi non 3GPP based system par exemple WIMAX et CDMA2000.

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

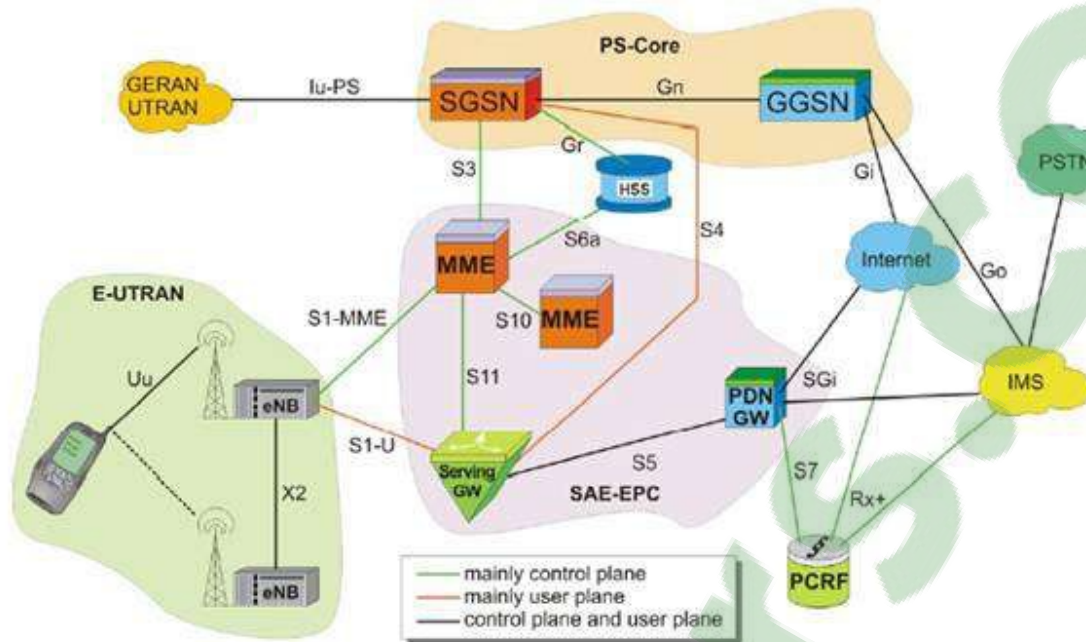


Figure II.3 Architecture globale du réseau cœur EPC [9]

EPC est l'élément principal de l'architecture SAE. Il a un rôle équivalent du NSS dans le réseau GPRS. Le cœur réseau est composé de deux parties séparées :

II.2.1.1 La partie Signalisation :

Gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau, il s'agit du MME. Une base de données permettant entre autre d'authentifier l'abonné, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications, il s'agit du HSS.

Une politique de tarification, qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonnée, il s'agit du PCRF.

❖ MME : Mobility Management Entity

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. 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, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

❖ HSS : Home Subscriber Service

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnées voisins), et porte l'appel de contrôle et la session management. Elle est

principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

❖ **PDN-GW: Packet Data Network Gateway**

C'est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments:

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

❖ **PCRF: Policy and Charging Rules Function**

Elle est responsable de la prise de décision principale du contrôle. Elle fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

❖ **SGW: Serving Gateway**

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur. Serving Gateway (SGW) qui achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

❖ **P-GW: Packet-Switch Gateway**

Packet-Switch Gateway (P-GW) fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM système et le non 3GPP système.

❖ **SGSN : Serving GPRS Support Node**

Cette partie interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

II.2.2 La partie radio E-UTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2), ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3GUMTS. Cette partie est

responsable du management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

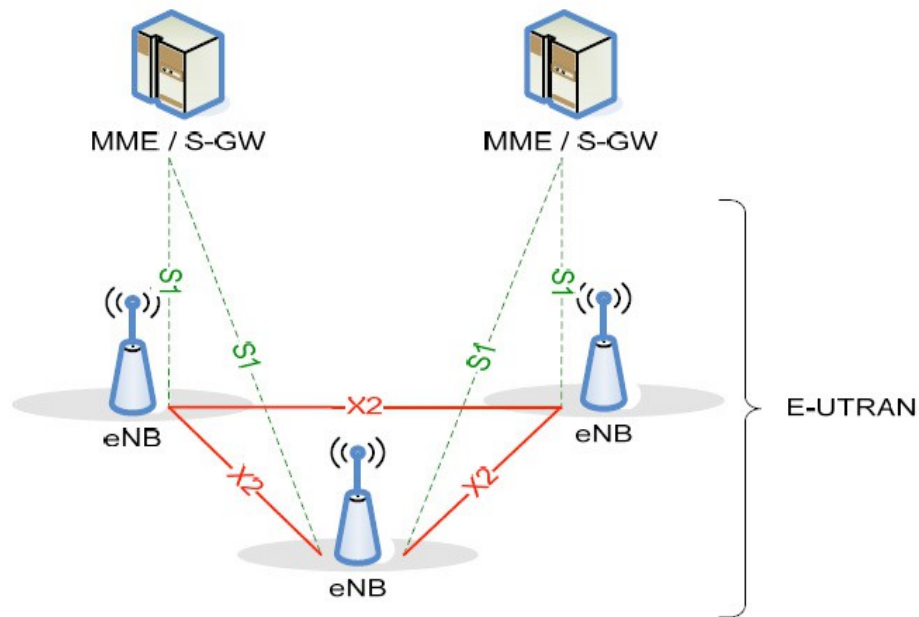


Figure II.4 : *Architecture de l'E-UTRAN*

❖ eNodeB

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS. La fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB à la place de BSC ou RNC.

II.3 INTERFACES ET PROTOCOLES :

II.3.1 Architecture générale :

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

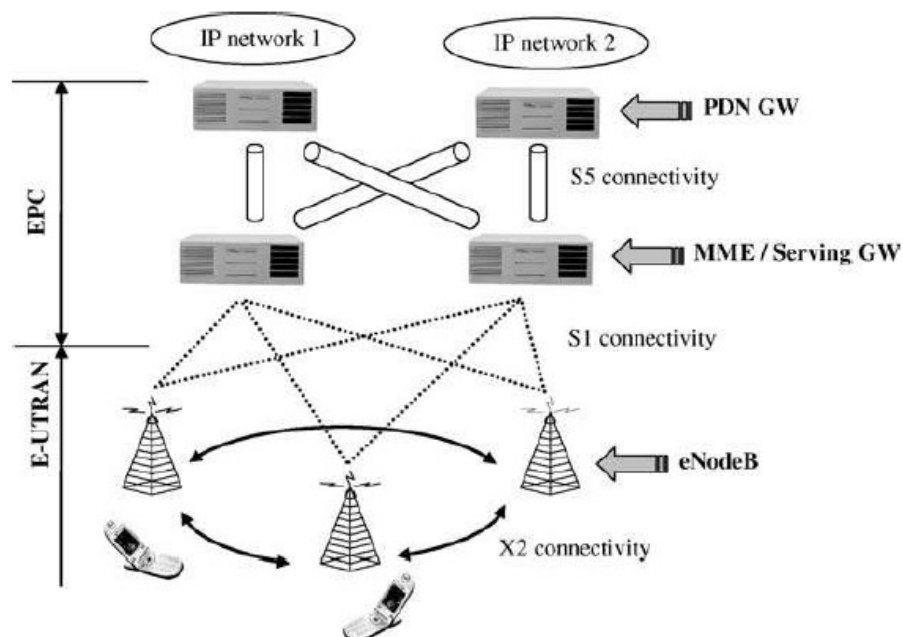


Figure II.5 : *Architecture de l'EPS – Les connectivités dans le plan usager et contrôle.*

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

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

- L'interface S1-U (pour le plan usager) qui transporte les données utilisateur entre l'eNodeB et le Serving GW.
- L'interface S1-C (pour le plan de contrôle) qui transporte uniquement la signalisation entre l'eNodeB et le MME [10].

II.3.2 Les interfaces réseau de l'E-UTRAN :

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

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

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

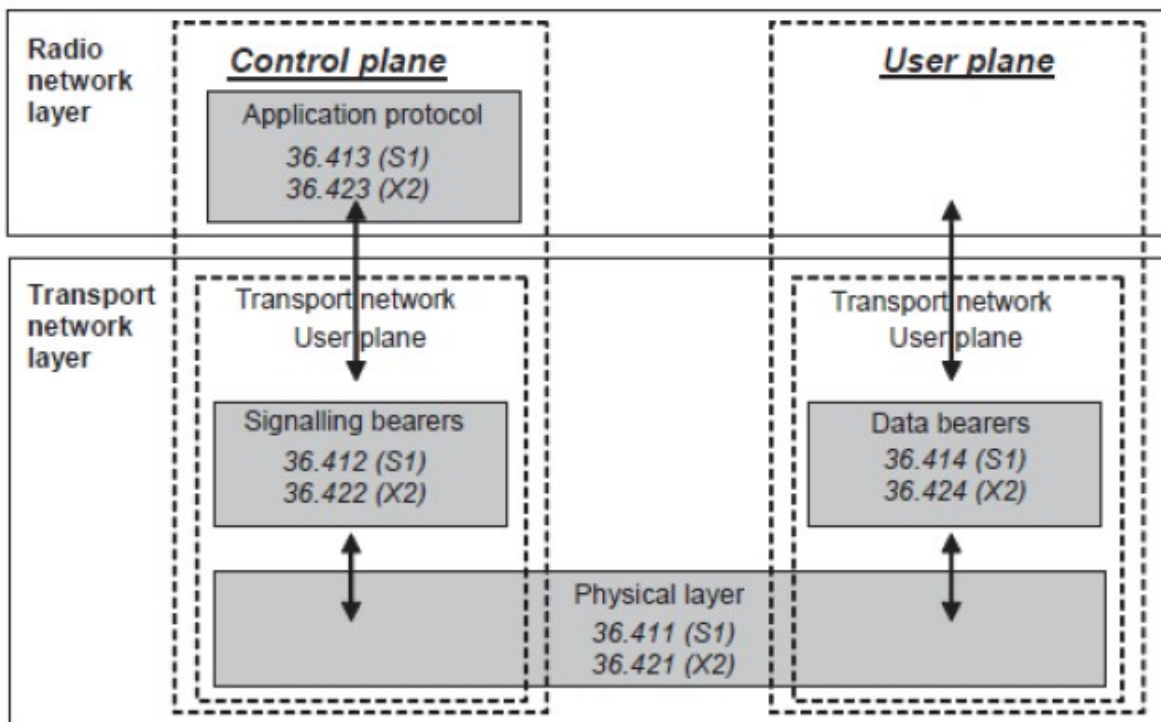


Figure II.6 : Le modèle d'une interface E-UTRAN

II.3.2.1 L'Interface S1 :

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

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

L'interface S1-C doit fournir un haut niveau de fiabilité dans le but d'éviter les messages de retransmission et des retards dans l'exécution des procédures du plan de contrôle. Selon le déploiement du réseau de transport, il y a certains cas où le transport UDP/IP n'est pas suffisamment fiable. Par ailleurs, dans

le cas où le réseau de transport n'appartient pas à l'opérateur mobile, il se peut que la qualité de service (QoS) ne soit pas garantie tout le temps. C'est pour cette raison que l'interface S1-C utilise une couche de transport de réseau, qui est mise en place de bout-en bout.

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

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

II.3.2.2 Interface S1 Flexibility :

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

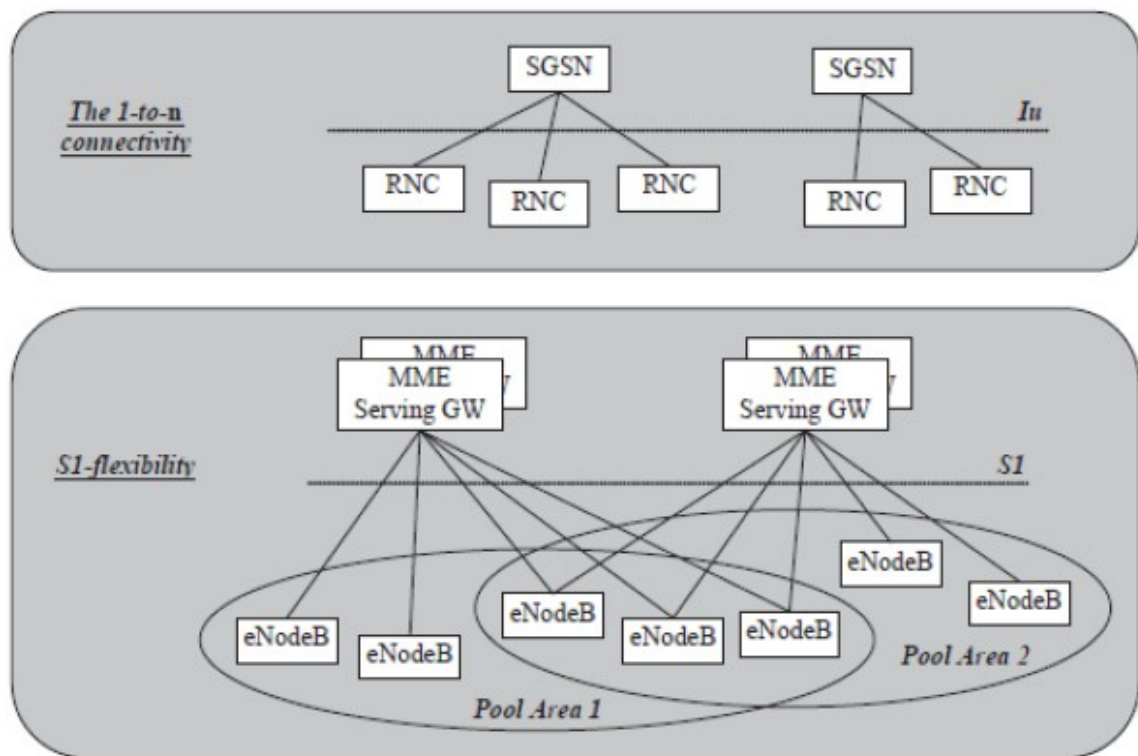


Figure II.7 : La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex[11].

Bien qu'un eNodeB puisse être connecté à plusieurs MME, un terminal mobile est associé à un unique MME à la fois. Ceci est dû au fait que les sessions d'un utilisateur sont toujours sous le contrôle d'un seul MME [11].

II.3.2.3 Interface X2 :

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

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

Par ailleurs, l'interface X2-C propose la procédure du « *LoadIndicator* » dont le but est de permettre à un eNodeB de signaler sa condition de charge aux eNodeBs voisins. Le but de cette procédure est d'aider à

supporter la gestion du balancement de la charge ou d'optimiser les seuils du handover ainsi que les décisions du handover. Le besoin d'un transport de signalisation fiable entre les nœuds est le même que dans l'interface S1-C. C'est pour cette raison que l'interface X2-C utilise aussi une couche de transport type « SCTP over IP » [11].

II.4 LES PROTOCOLES DE L'INTERFACE RADIO :

L'interface radio est distinguée de la transmission filaire par le coût et la rareté du spectre, ainsi le taux d'erreur très élevé de la transmission. A cause de ces caractéristiques, la pile protocolaire de l'interface radio est très spécifique. Elle est composée des couches suivantes [11] :

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

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

II.4.1 Les canaux radio :

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

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

II .4.1.1 les canaux logiques

Les canaux logiques correspondent aux services de transfert de données offert par les protocoles des couches hautes de l'interface radio. Il y a uniquement deux types de canaux logiques: les canaux de contrôle, pour les transferts des informations du plan de contrôle et les canaux de trafic pour les transferts

des données utilisateur du plan usager. Chacun des canaux de ces deux catégories correspond à un certain type de flux d'information.

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

BCCH (Broadcast Control Channel) est un canal commun en downlink, utilisé par le réseau pour broadcaster les informations système de l'E-UTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio. Ces informations sont utilisées par le terminal, par exemple pour connaître l'opérateur, pour avoir des informations sur la configuration des canaux commun de la cellule et comment accéder au réseau, etc.

PCCH (Paging Control Channel) est un canal commun en downlink qui transfère les informations de paging aux terminaux présents dans une cellule.

CCCH (Common Control Channel) est utilisé pour la communication entre le terminal et l'E-UTRAN quand la connexion RRC. Ce canal est typiquement utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication.

MCCH (Multicast Control Channel) est utilisé pour la transmission des informations MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service) du réseau à plusieurs terminaux.

DCCH (Dedicated control Channel) est un canal point-à-point bidirectionnel qui supporte les informations de contrôle entre un terminal donné et le réseau. Il supporte uniquement les signalisations RRC et NAS.

Les canaux logiques de trafic sont:

DTCH (Dedicated Traffic Channel) est un canal point-à-point bidirectionnel utilisé entre un terminal donné et le réseau. Il peut supporter la transmission des données utilisateurs qui inclut les données elles mêmes et la signalisation de niveau application associée à ce flux de données.

II .4.1.2 Canaux de transport

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

Comme décrit dans les spécifications, les canaux de transports sont classifiés en deux catégories: Les canaux de transport downlink et les canaux de transport uplink.

Les canaux de transport E-UTRAN en downlink sont:

BCH (Broadcast Channel) est associé au canal logique BCCH. Il un 'Transport Format' fixé et prédéfini et doit couvrir l'ensemble de la cellule.

RACH (Random Access Channel) qui est 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 du RRC.

II 4.1.3 Canaux physiques

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

II 4.2 Mappage entre les canaux

La figure ci-dessous présente le mappage entre les canaux logiques, de transport et physiques. Toutes les combinaisons ne sont pas permises, car certains canaux logiques ont des contraintes spécifiques.

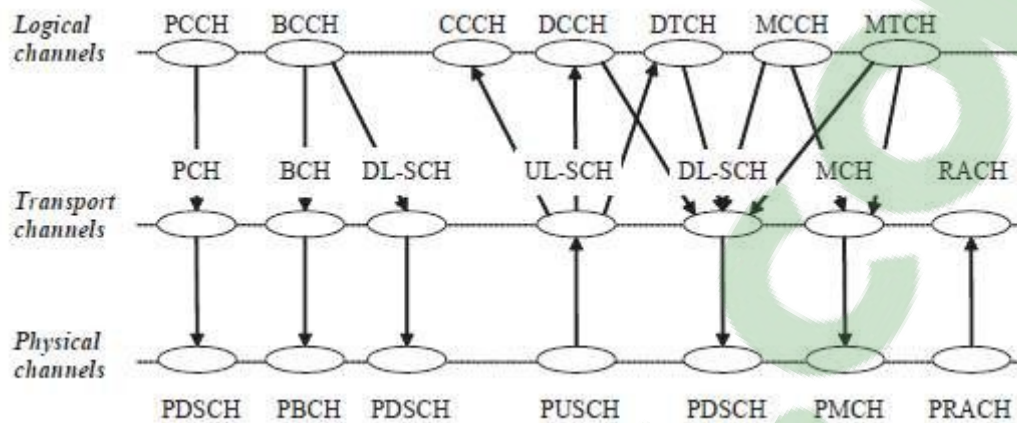


Figure II.8 Mappage entre canaux de l'E-UTRAN.

II. 5 Architecture en couche radio de l'E-UTRAN

La figure II.9 donne une vue globale sur la structure du protocole radio. Elle décrit brièvement le rôle de chacune des différentes couches et comment elles interagissent avec les autres. Cette figure décrit uniquement les couches protocolaires dans la partie eNodeB, mais les mêmes fonctions et couches existent sur la partie station mobile.

A partir du haut de la figure, la couche RRC (Radio Resource Control) supporte toutes les procédures de signalisation entre le UE et l'eNodeB. Ceci inclut les procédures de mobilité et la gestion de connexion. Les signalisations venant du plan de contrôle de l'EPC sont transférées au terminal à travers le protocole RRC, d'où le lien entre le RRC et les couches supérieures.

La couche PDCP dont le rôle est de fournir le protocole de compression d'entête et implémente le cryptage de données, supporte les porteuses radio. Chaque porteuse correspond à un flux d'information comme les données du plan usager ou les signalisations du plan de contrôle. Dû à leur but spécifique et leurs manipulations, les flux d'information générés par les fonctions 'System Information Broadcast' et 'Paging' sont transparents à la couche PDCP.

La couche RLC fournit à la couche PDCP les services basiques de la couche 2 du modèle OSI, comme la segmentation des données paquet et l'ARQ (Automatic Repeat Request) pour le mécanisme de correction d'erreur. Il y a un mappage un-à-un entre les flux d'entrée du RLC et les canaux logiques fournis par le RLC à la couche MAC.

Le but principal de la couche MAC est de mapper et multiplexer les canaux logiques sur les canaux de transport après avoir performé les manipulations de priorité sur les flux de données reçu par la couche RLC. La couche MAC supporte aussi HARQ (Hybrid ARQ) qui est un processus de répétition rapide. Finalement, la couche MAC délivre les flux de transport à la couche PHY, qui appliquera le codage canal et la modulation avant la transmission sur l'interface radio.

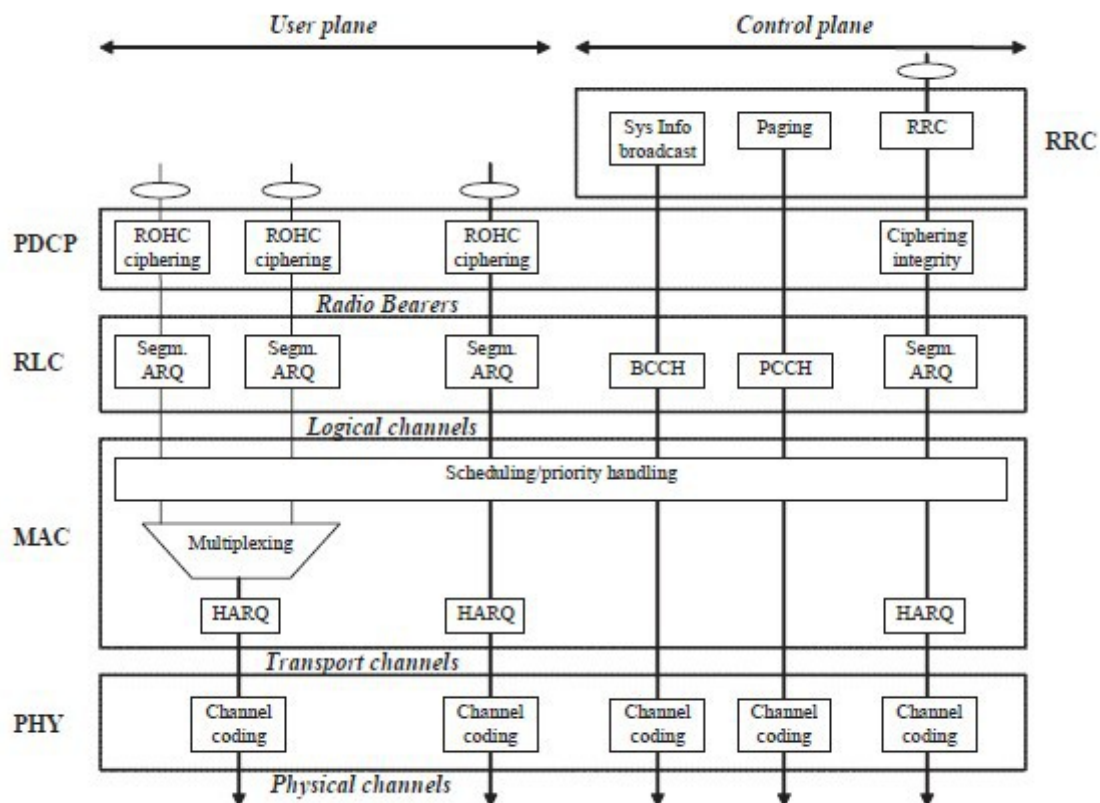


Figure II.9: *Structure protocol aire en couche dans l'eNodeB pour les canaux de downlink.*

II.5.1 La couche PHY

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

Lors de chaque TTI (Transmission Time Interval) la couche physique reçoit un certain nombre de 'Transport Blocks' pour la transmission. Chaque 'Transport Block' lui sera ajouté une CRC (Cycle de contrôle de redondance) ou un ensemble de bits pour la détection des erreurs de transmission. Ensuite les blocs sont protégés avec un codage canal robuste. Cette phase est sous le contrôle du processus MAC HARQ (Hybrid ARQ) qui adapte le taux de codage canal en se basant sur les informations 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.5.2 La couche MAC

Le but principal de la couche MAC (Medium Access Control) est de fournir un couplage efficace entre les services de la couche RLC2 et la couche physique. De cette perspective, la couche MAC supporte quatre fonctions principales:

- Le mappage entre les canaux logiques et de transport. En effet, quand le standard offre différentes options pour le transport de données pour un canal logique donné, la couche MAC s'occupe de choisir le canal de transport selon la configuration choisie par l'opérateur.

- La sélection du format de transport qui fait référence par exemple, au choix de la taille du 'Transport Block' et le schéma de modulation.

- Gestion de propriété entre les connexions logiques d'une terminale ou entre plusieurs terminaux.

- Correction d'erreur à travers le mécanisme HARQ.

II.5.3 La couche RLC

L'objectif principale de la couche RLC (Radio Link Control) est recevoir/délivrer les paquets de données des/aux autres entités RLC pairs. Pour ce, la couche RLC propose trois modes de transmission TM(Transport Mode), UM(Unacknowledged Mode) et AM (Acknowledged Mode).

Le mode TM est le plus simple, il ne change pas les données des couches hautes. Ce mode est spécialement utilisé pour la transmission du BCCH ou PCCH. Entité RLC Transparent Mode reçoit les données des couches hautes et les passe directement à la couche MAC. Le mode UM quant à lui, rajoute la détection des pertes des paquets et leurs réorganisation et réassemblage. Finalement, le mode AM le plus compliqué des trois—supporte, supporte les fonctionnalités du mode UM. Aussi, la capacité de demander à ses pairs la retransmission de paquets dans le cas où une perte est détectée.

II.5.4 La couche RRC

La couche RRC (Radio Resource Control) est la couche clé dans le processus de signalisation. Elle supporte plusieurs fonctions entre le terminal et l'eNodeB. Les procédures proposées par la couche RRC peuvent être classifiées comme suit:

- La gestion de connexion RRC qui inclut l'établissement et la libération de la connexion RRC entre le terminal et l'eNodeB.
- L'établissement et la libération des ressources radio qui est relié à l'allocation des ressources pour le transport des messages de signalisation ou les données utilisateurs entre le terminal et l'eNodeB.
- Broadcast des informations système réalisé à travers le canal logique BCCH.
- Paging qui est réalisé à travers le canal de contrôle logique PCCH.
 - Transmission des messages de signalisation vers et à partir du EPC— ces messages sont traités par le RRC de façon transparente.
 - Mesures de contrôle qui fait référence aux configurations des mesures réalisées par le terminal ainsi que la méthode de les rapporter à l'eNodeB.
- Support des procédures de mobilité inter-cellulaire handover.
- Le contexte utilisateurs transféré entre eNodeB lors d'un handover.

II.5.5 La couche PDCP

Le but principal de la couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol) est de recevoir/délivrer les paquets de données de/vers les entités PDCP paires. En principe, cette

fonction est assurée par la couche RLC. De cette perspective, la couche PDCP fournit des fonctionnalités additionnelles.

La valeur ajoutée de la couche PDCP repose sur quatre fonctions principales:

- Fonctionnalités relatives à la couche 2, comme réorganisation des paquets RLC dans le cas d'une mobilité inter-eNodeB, la détection des doublets de paquets RLC.
- Compression et décompression des entêtes des paquets IP. Le PDCP supporte un unique schéma de compression ROHC (Robust Header Compression).
- Chiffrement des données et de la signalisation. 'Données' relative aux données utilisateurs et la signalisation de la couche application comme le SIP ou RTCP. 'Signalisation' fait référence aux messages de signalisation RRC et les messages de signalisation NAS.
- Protection de l'intégrité des signaux. En donnant à la partie qui reçoit, le moyen de déterminer si le message de signalisation a été altéré durant la transmission ou non.

II.6 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.

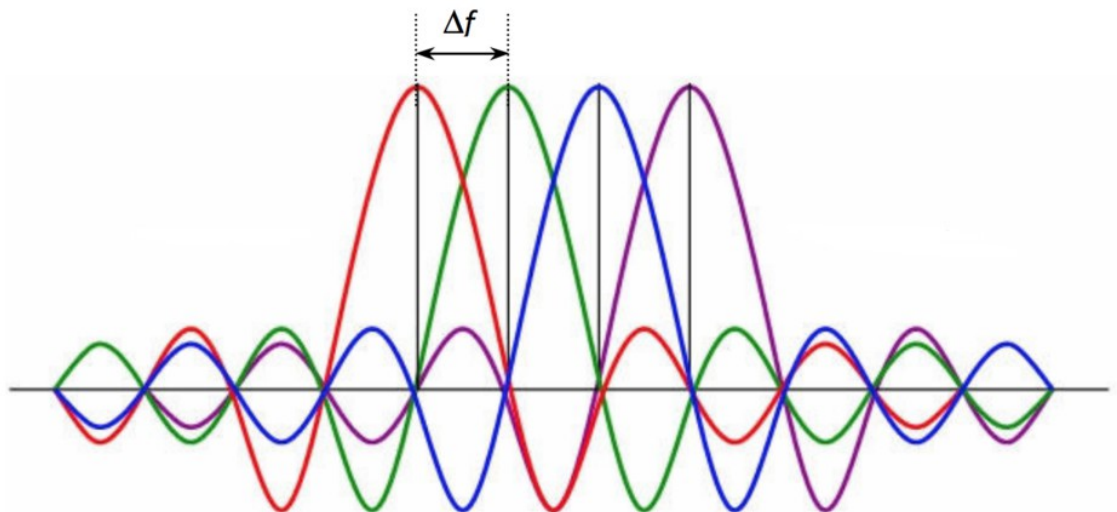


Figure II.10 Principe de l'OFDM

La figure (II.10) 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.

II.6.1 L'OFDMA et SC-FDMA :

Le principe de l'OFDM consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales. Il est utilisé en voie descendante. L'espacement entre sous-porteuses en LTE est fixé $f = 15 \text{ kHz}$ et 2048 pour IFFT. L'unité de temps dans la structure de trame est $T_s = 1 / (2048 * 15000)$ secondes [12]. Dans un canal multi trajets, il y a risque d'interférence entre symboles OFDM. Pour ceci, l'ajout d'un préfixe cyclique CP (5.21 μsec) demeure nécessaire.

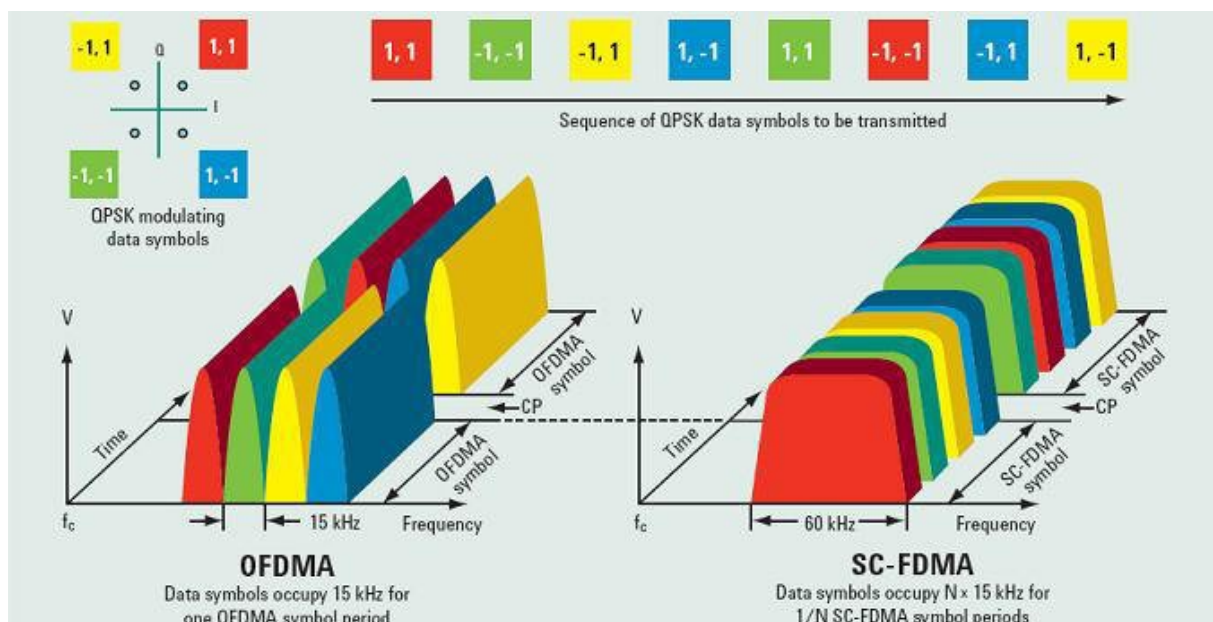


Figure II.11: La différence OFDMA et SC-FDMA [13].

L'OFDMA est la technologie d'accès multiple par rapport OFDM, elle est utilisée dans la liaison descendante LTE. C'est la combinaison de TDMA et FDMA essentiellement. Pour la voie montante, on en utilise une dérivée appelée SC-FDMA.

En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées, comme montre la figure II.11.

II.6.2 Structure de la trame LTE :

La trame générique du LTE a une durée de 10 ms, décomposée en 20 slots de 0.5ms chacun, numérotés de 0 à 19.

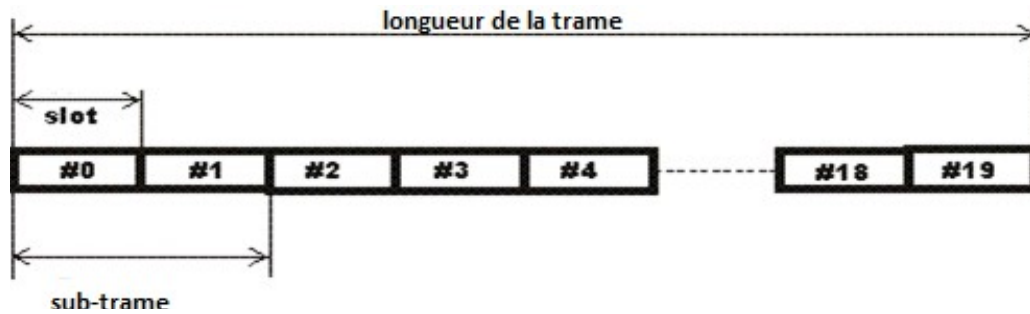


Figure II.12: Structure de la trame LTE [14].

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

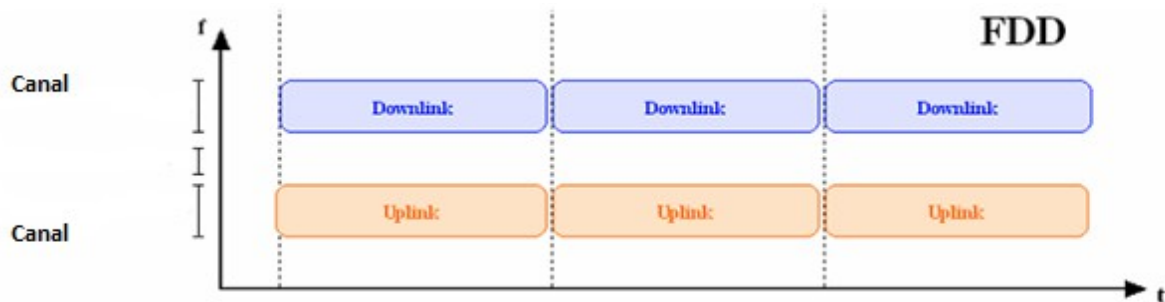


Figure II.13 : Le duplexage FDD [14].

Le TDD, une sous-trame est allouée à la réception et l'émission de manière indépendante. Une sous-trame est un ensemble de 2 slots consécutifs [14].

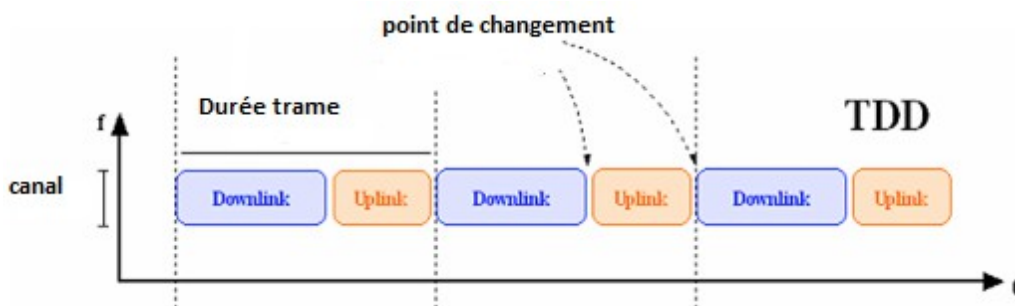


Figure II.14 : Le duplexage TDD [14].

II.6.3 Concept de bloc de ressources :

LTE est constitué de domaine de temps et de ressources dans le domaine fréquentiel. Le bloc de ressource est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE, qui est une grille, composée par des éléments de ressource RE. Il est formé de 12 sous porteuses, largeurs de chacune est de 15 kHz comme montre la figure II.15 [14].

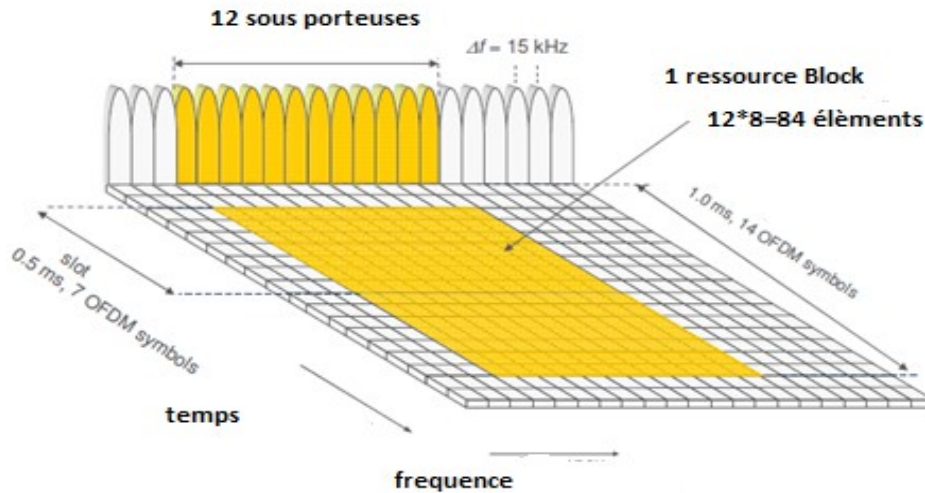


Figure II.15 : Bloc de ressources.

II.6.4 La technologie MIMO :

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

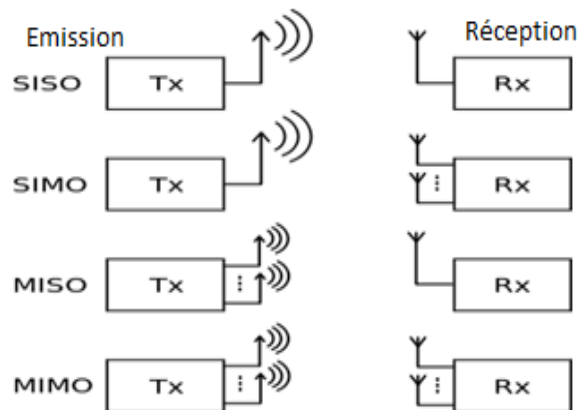


Figure 1.16: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO [14].

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

- Diversité d'espace : diversité d'antenne.

- Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- Diversité temporelle : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps ~~cohérence du canal~~.

II.7 CONCLUSION :

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

En effet, une bonne connaissance des architectures permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, qui leur permettent de fournir en même temps des services de bonne qualité. Notre troisième chapitre présente les processus de dimensionnement du 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.

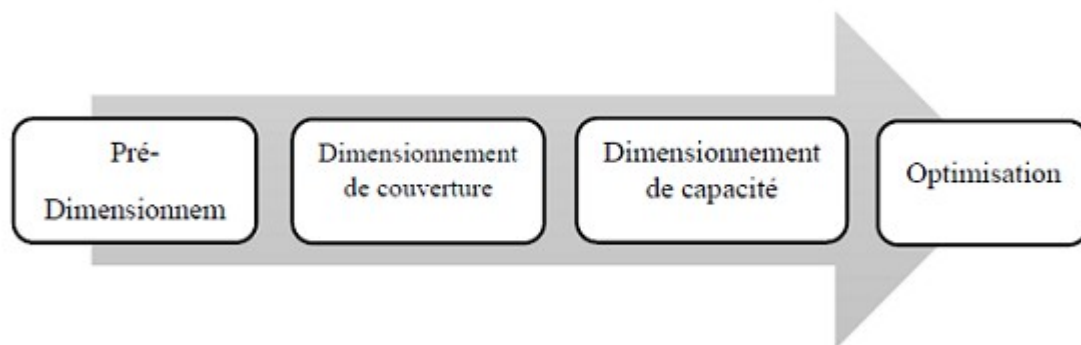


Figure III.1 : Processus de dimensionnement.

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)

- ✓ 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 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 obtenus par l'analyse de couverture, sera effectuée par la capacité. On va vérifier si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés.

- **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 apparaît lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeBs n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile.

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 mobile 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.*

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) :

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

Avec :

- **PathLoss** : 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 dépendent du type de zone comme urbaine, suburbaine et rurale. 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 formules mathématiques pour permettre 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 simples 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 1000MHz.
- ✓ 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 10m.
- ✓ Distance (d) : 1 à 20km.

• 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 2200MHz.

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

➤ Urbain :

$$L_{u,dB} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log H_m - a_m H_m + 44.9 - 6.55 \log H_m \log d_b \quad (III.2)$$

Avec :

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

➤ **Urbain dense :**

Pour $f \leq 2000 \text{MHz}$

$$L_{u,dB} = 8.29 * \log \left[\left(\frac{H_m}{1.54} \right)^2 \right] - 1.1 \quad (III.4)$$

Pour $f \geq 2000 \text{MHz}$

$$L_{u,dB} = 3.2 * \log \left[\left(\frac{H_m}{11.75} \right)^2 \right] - 4.97 \quad (III.5)$$

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

m

➤ Sous urbain:

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

➤ Rurale:

Deux cas qui se posent :

Quasi-ouverte :

$$L_{qu} \text{ dB} = L_u - [\log(f)]_2^2 - 5.4$$

$$L_{qu} \text{ dB} = L_u - 4.78 * \log f + 18.33 \log f - 35.94 \quad (III.7)$$

qo u

Ouverte :

$$L_{ro} \text{ dB} = L_u - [\log(f)]_2^2 - 5.4$$

$$L_{ro} \text{ dB} = L_u - 4.78 * \log f + 18.33 \log f - 40.94 \quad (III.8)$$

ro u

- **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 20m).

- **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 blocs.

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

Le nombre **nRB** peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante comme montre le tableau (III.1).

- Avec un petit **nRB**, le débit binaire requis peut être satisfait avec un minimum de ressources. Ce qui de maximiser la capacité des autres utilisateurs.
- Avec un grand **nRB**, les blocs transmis sont répartis sur un intervalle de fréquence, avec un moins d'énergie utilisée par le bloc.

Bande passante MHz	Nombre de ressource de block
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.

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 :

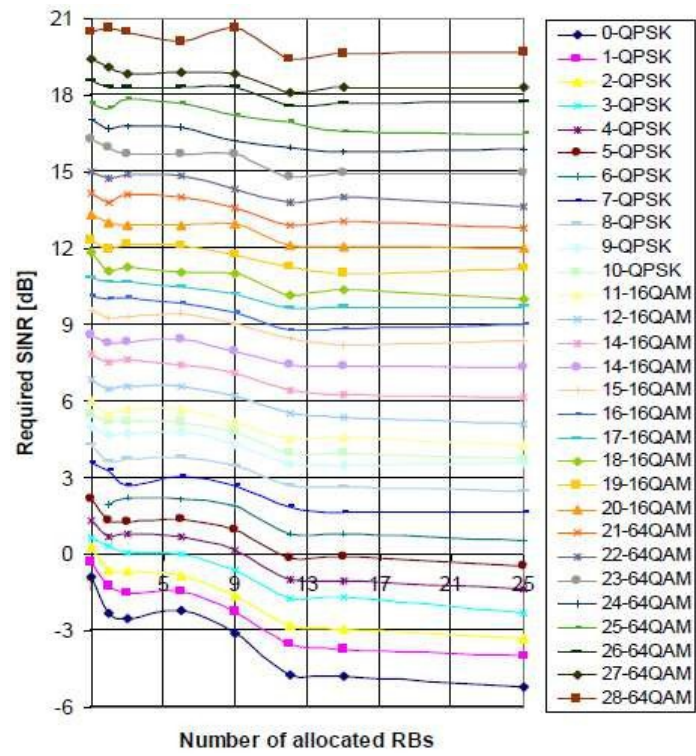


Figure III.4 : *variation SINR en fonction de nombre de bloc de ressources.*

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.

()

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

Avec :

- N_t : Densité de puissance de bruit thermique -174 dB m /Hz.
- N_f : Le facteur de bruit qui 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 : 180kHz.
- SINR y: 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 « *SwissCheese* » (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.

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.

➤ **Marge de shadowing**

C'est l'effet masque, les variations du signal sont dues au obstacle qui existe dans le milieu de propagation. Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur aléatoire Log Normale (Logarithme est une variable aléatoire Gaussienne), qui dépend de :

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

Environnement	Probabilité de couverture				
	98 %	95 %	90 %	85%	75%
Rurale- suburbaine	5. 5	3	0. 06	-1	-4
Urbaine	8. 1	5	2	0.2	-3.5
Dense Urbaine - suburbaine	10 .6	6. 7	3. 1	1	-3

Tableau III.4 : Marge de shadowing.

→ *Évanouissement rapide*

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

Notant que la marge d'évanouissement rapide = 1.2 dB.

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

C'est une perte causée par les divers dispositifs qui sont situés sur le trajet de l'antenne vers 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 :

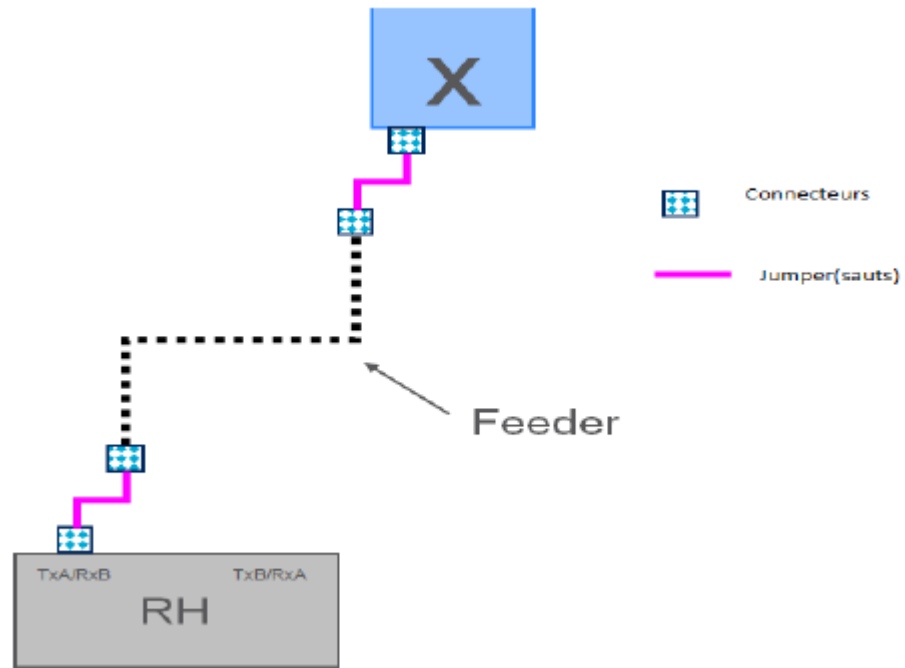


Figure III.5 : *Connexions du système d'alimentation de l'antenne.*

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.*

─ *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.

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

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. On suppose que tous les blocs de ressources ont la même puissance P (UE, rb), qui est calculée de la manière suivante :

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

Avec :

$$\begin{aligned}
 & P_{UE} / \\
 \bullet \quad P_{UE,RB} &= (\quad)^n
 \end{aligned}$$

III.3.3.6 Equation bilan de liaison Uplink

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



Figure III.6 : *modèle bilan de liaison Uplink.*

Son équation est comme suit :

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

Avec :

- L_{pmax} : perte maximum de trajet autorisée 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 calculé:

- ✓ 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 **MAPl_{dl}** est calculé à partir du **MAPl_{ul}** pour les liens montants.

III.4.2 Débit binaire requis

On doit diviser **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 :

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

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_{IDL}** sur l'EDGE (bord) de la cellule est nécessaire pour le bilan de liaison. Il est calculé par l'expression suivante :

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

Avec :

- Q_{DL} : Facteur de charge de la liaison descendante.
- F_C : Le ratio moyen entre les puissances reçues d'autres cellules.
- $N_{RB,DL}$: bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante, défini

par : $(N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}))$.

- N_t : UE bruit = 7dB.
- L_{samax} : atténuation du signal en liaison descendante.

L_{samax} est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale **MAPI_{UL}**.

L'expression est la suivante :

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

III.4.5 Equation bilan de liaison Downlink:

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



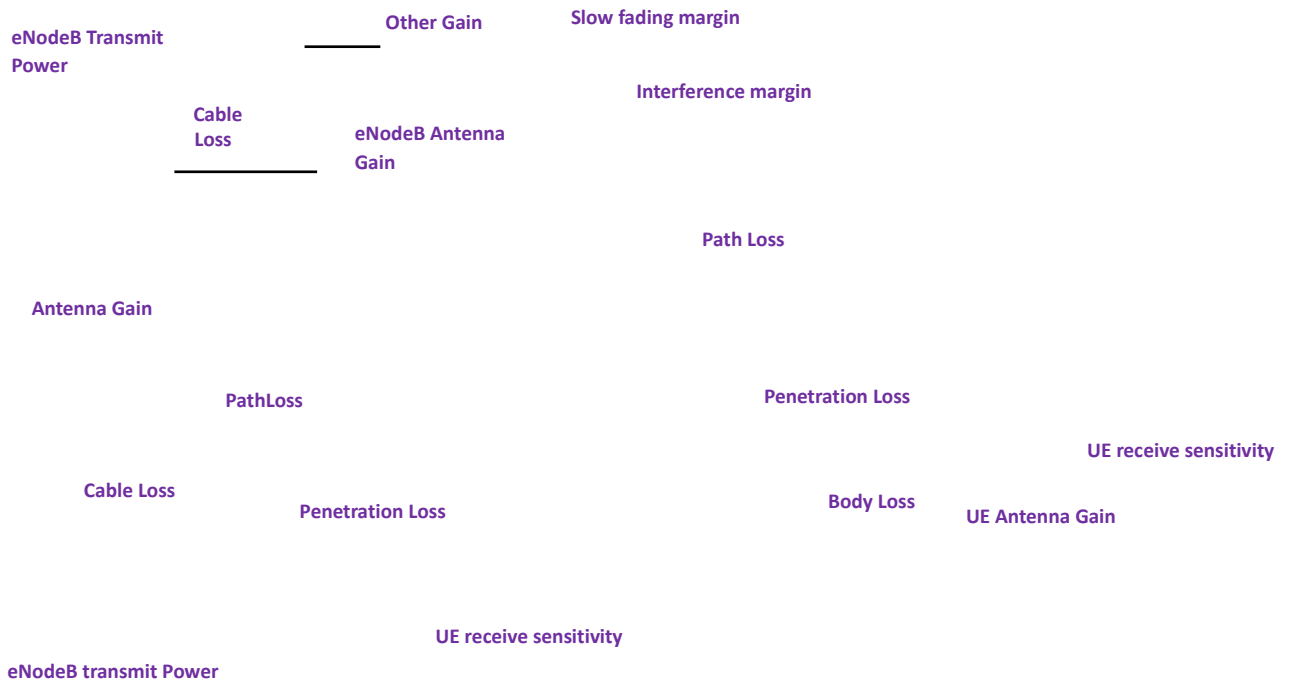


Figure III.7 : Bilan de liaison Downlink.

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

La sensibilité est donnée par l'équation suivante :

()

$$S = N_u + N_t + 10 \log W + y = N_{RB} + y \text{ [dB]} \quad (\text{III.19})$$

N_u N_t f N_{RB} $N_{RB,DL}$

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 :

[]

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

III.4.8 Limite du Bilan de liaison

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

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

Le nouveau L_{samax} est appliqué pour obtenir une nouvelle BI_{DL} . On parle d'un système Downlink limité lorsque la qualité d'Uplink dépasse l'exigence.

On applique L_{samax} de la liaison descendante pour obtenir un nouveau L_{PMax} et BI_{DL} par l'expression suivante :

$$BI_{dL} = 1 + ((P_{UE} * Q_{UL} * F) / (n_{RB} * N_{RB,UL} * H * L_{samax})) \quad (III.22)$$

Avec :

- **H** : Facteur d'affaiblissement de propagation utilisée dans le dimensionnement de couverture et de capacité, il 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 recommandée pour le dimensionnement.

III.4.9 Les modes de transmission

Les modes de transmission disponibles sont les suivants :

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

✓ TX diversité, en utilisant deux antennes TX et deux antennes RX dans la station de base.

✓ Open Loop Spatial Multiplexing (OLSM), en utilisant deux antennes TX et deux antennes RX à la station de base.

➤ **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, ETU300.

➤ **Cas de liaison montante:**

✓ Techniques d'antenne : 2-branch RX diversity.

✓ Schémas de modulation : QPSK, 16-QAM.

✓ Modèles de canaux : EPA5, EVA70, ETU300.

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

$$R_{RB} = \max [0, a_3 + (a_0 - a_3) * e^{-\ln(2)[(y - a_1)/a_2]^2}] \quad (\text{III.22})$$

Avec :

- $R_{RB} = a_0$; $y \geq a_1$
- **a0**, **a1**, **a2** et **a3** sont des paramètres empiriques.
- SINR y est exprimé en dB.

Le paramètre **a0** semi-empirique représente le débit maximum pouvant être obtenu dans un bloc de ressources.

La relation inverse entre γ et **RRB** est comme suit :

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

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

Type d'anten	SIMO 1X2			TxDiv 2X2			OLSM 2X2		
Mode de	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	-13.5	-5.44	-6.2	-15.8	-8.46	-7.12

Tableau III.6: paramètres semi empiriques pour Downlink.

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 :

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

Avec :

(III.25)

$$C_{path} = (L_{path} - A + 13.82 \log(h + (ah)^m)) / (44.9 - 6.55 \log(h))$$

C

path

b

m

b

- **A** : fréquence dépendante de la valeur d'atténuation.

Cette relation est l'inverse de l'équation donnée par le modèle de propagation COST 231-Hata:

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

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

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 COST 231-Hata.

III.4.11 Nombre de 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**.

R : rayon de la cellule

d : distance intersites

Figure III.8 : Modèle hexagonales de cellule.

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 :

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

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

Et pour un site à 3 secteurs :

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

$$S_{s2} = 1.95 * 2.6 * R^2$$

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 :

$$N = \frac{S_z}{S_s} \quad (\text{III.31})$$

S_z : est la surface totale de la zone ; elle 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 exact :

Type de zone	Surface de la zone
Urbaine dense	50
Urbaine	200
Suburbaine	300
Rurale	400

Tableau III.9 : Surface de zone.

III.5 Dimensionnement de capacité

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

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

III.5.1 Calcul dimensionnement de capacité pour les Uplink

Pour évaluer les besoins en capacité, on doit suivre les tâches suivantes :

- ✓ Estimer le débit de cellule.
- ✓ Analyser les entrées de trafic fournies par l'opérateur pour estimer la demande du 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 du 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 petit.

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 :

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

Avec :

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

- N_{RB} : nombre total de blocs de ressources de la bande passante.
- N_{pucchM} : nombre de blocs de ressources attribuées aux canaux de contrôle PUCCH. La figure suivante illustre le dimensionnement de capacité:

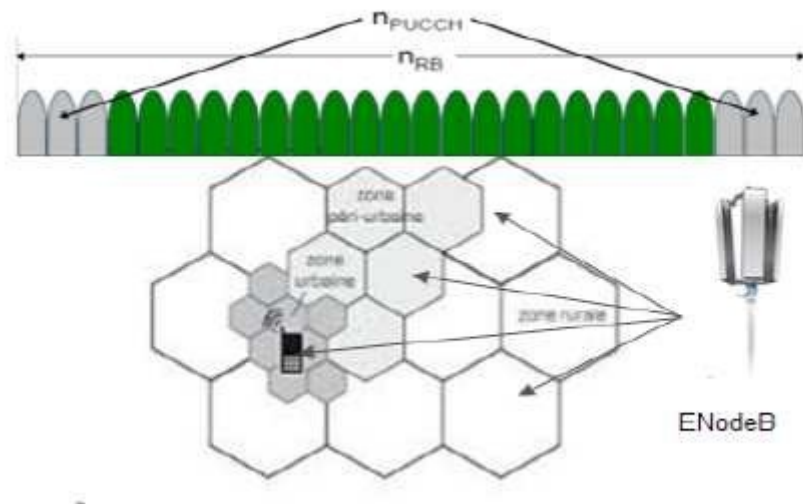


Figure III.9 : illustration de calcul de dimensionnement de capacité.

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) notée y_{DL} , voir équation (III.24).

Le SINR moyenne résultante $y_{DL,are}$ est représentée par l'équation suivante :

$$y_{DL,are} = \frac{P_{tx,RB} \cdot H \cdot L_{sama}}{N_{RB,DL}} \quad (III.34)$$

Avec :

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

III.5.2.2 Débit de la cellule

Le débit de l'utilisateur par cellule réduit proportionnellement avec le nombre de blocs des ressources **nrb**.

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

$$R_{user,DL} = N_{RB} * R_{RB}$$

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

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

III.5.2.3 Nombre des sites demandés

A l'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 :

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

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

- d : La densité des abonnés par $Km^2 = 113 \text{ abonnés}/km^2$.
- **Surface** : voir tableau III.10.
- α_i : Augmentation de nombre des habitants.
- β_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.

IV.1 Introduction

Puisque le processus de planification est complexe, il est nécessaire de développer un outil permettant de faciliter la tâche de planification. Dans la conception de notre outil et pour répondre à nos besoins, nous avons choisi le langage matlab qui permet de réaliser les interfaces graphiques qui aident l'opérateur à calculer et vérifier certains paramètres du dimensionnement du réseau.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes interfaces développées ainsi qu'un exemple de dimensionnement et de planification avec ses résultats.

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 IHM 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.

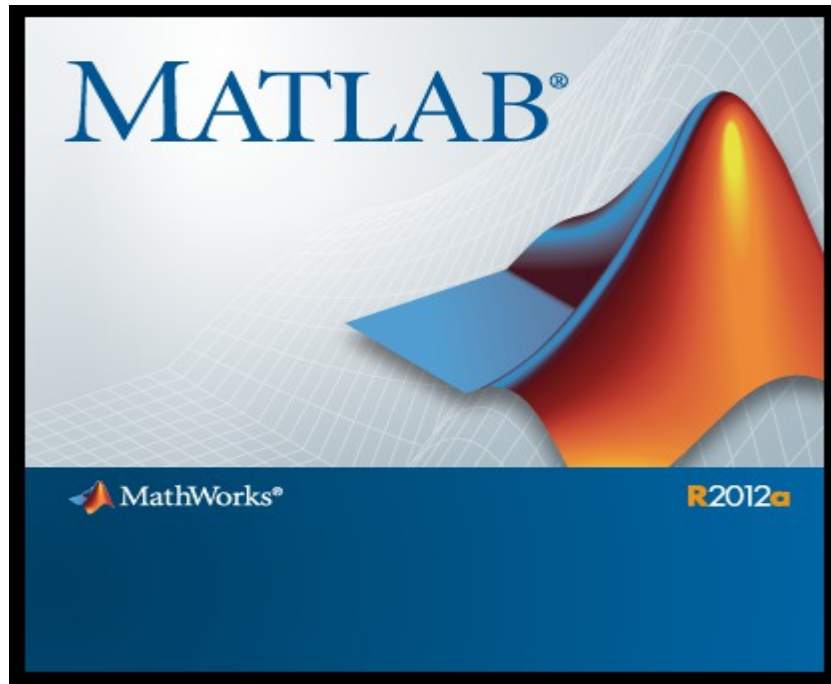


Figure IV.1 : Logo Matlab.

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

o *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.

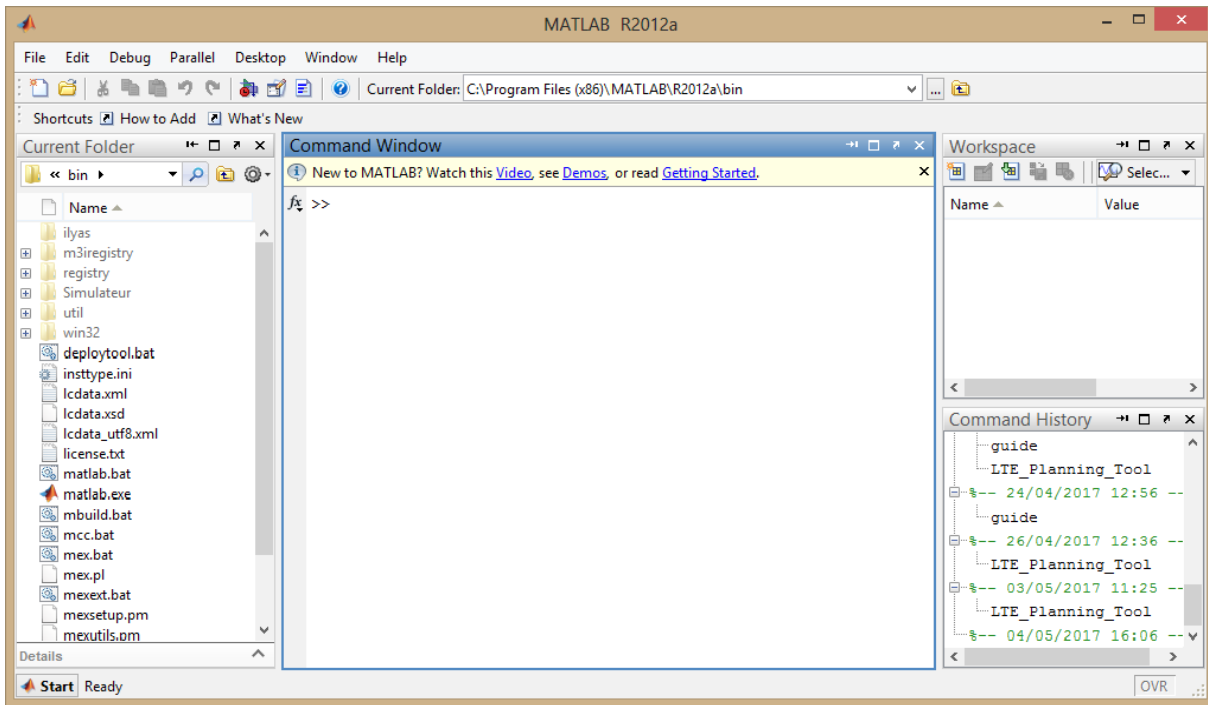


Figure IV.2: Fenêtre principale du Matlab.

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

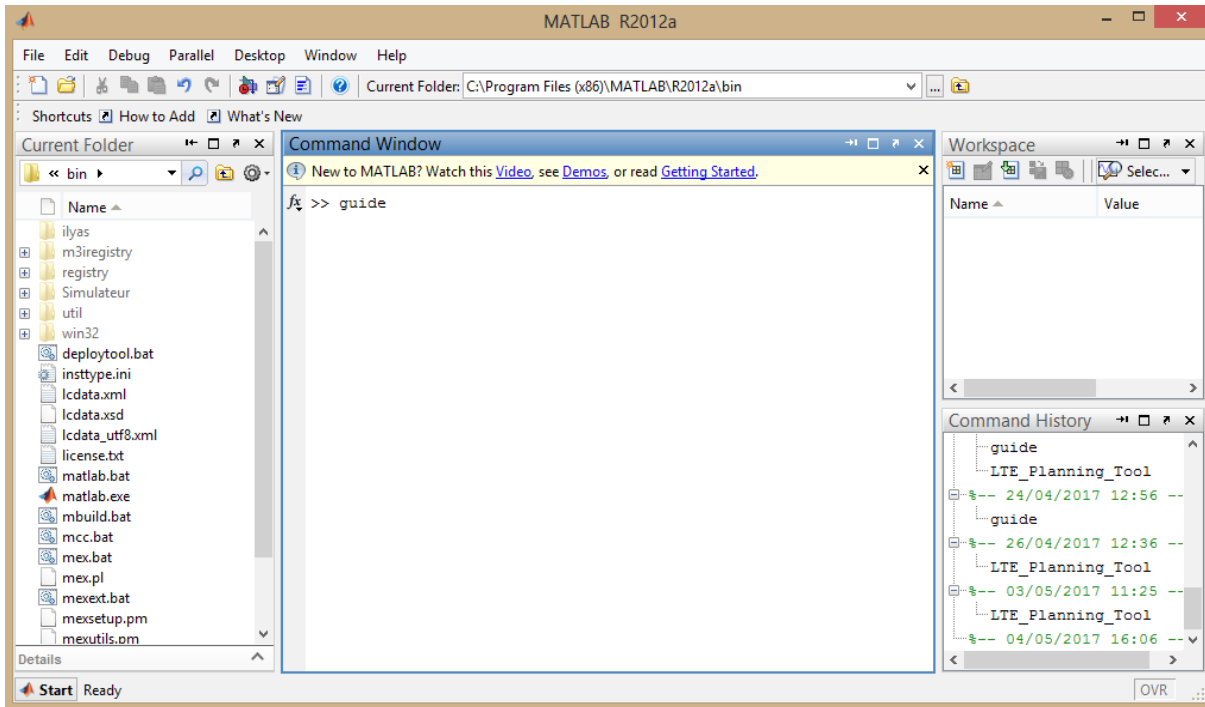


Figure IV.3: *command Window.*

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

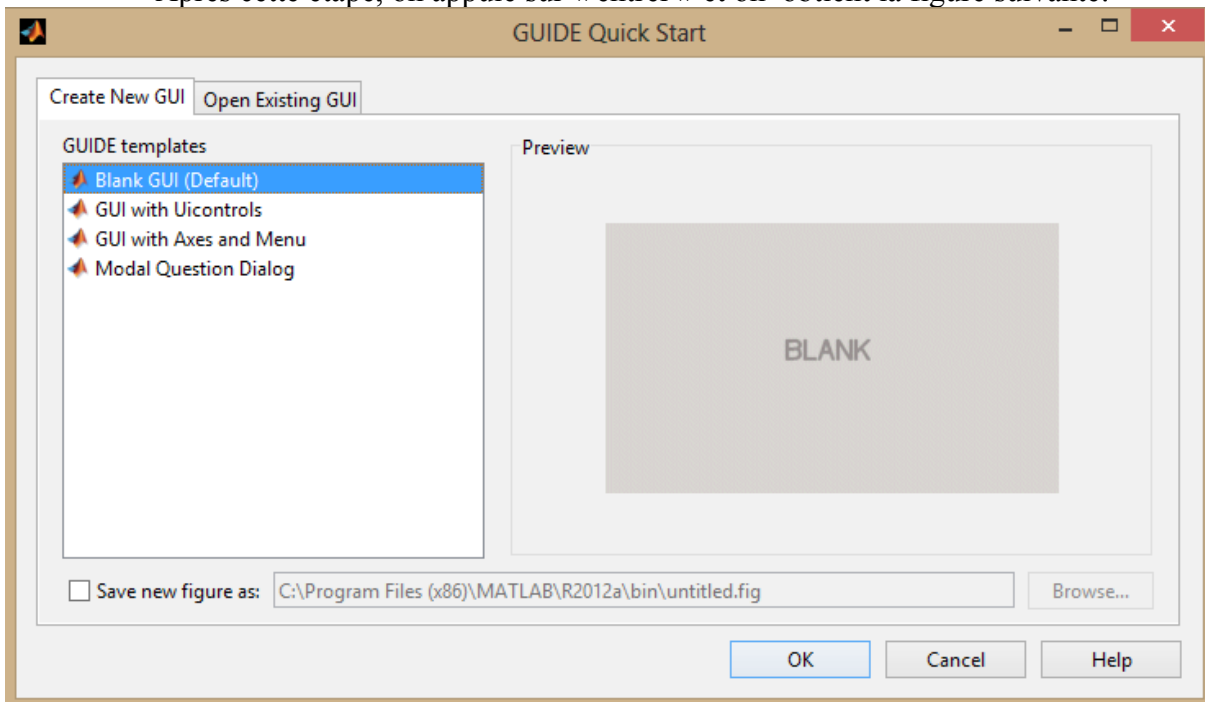


Figure IV.4 : *Fenêtre principale du nouveau GUI.*

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

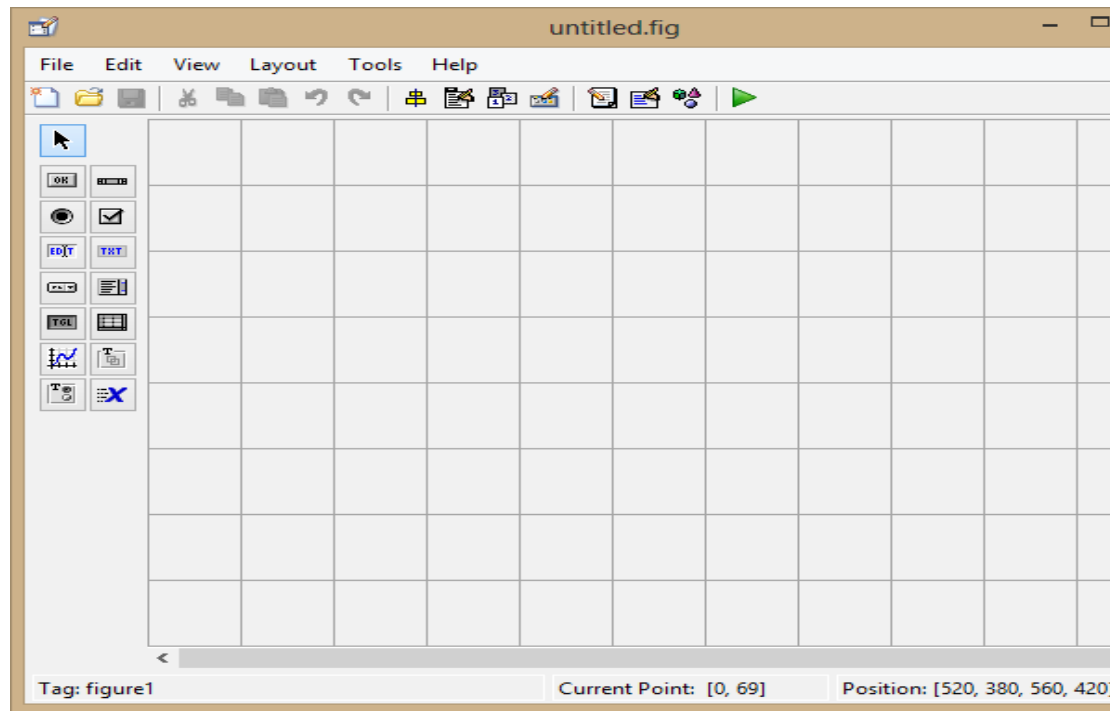


Figure IV.5: Interface GUI Matlab vierge.

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

IV.3 Outil de planification et de dimensionnement LTE

IV.3.1 Interfacé d'accueil

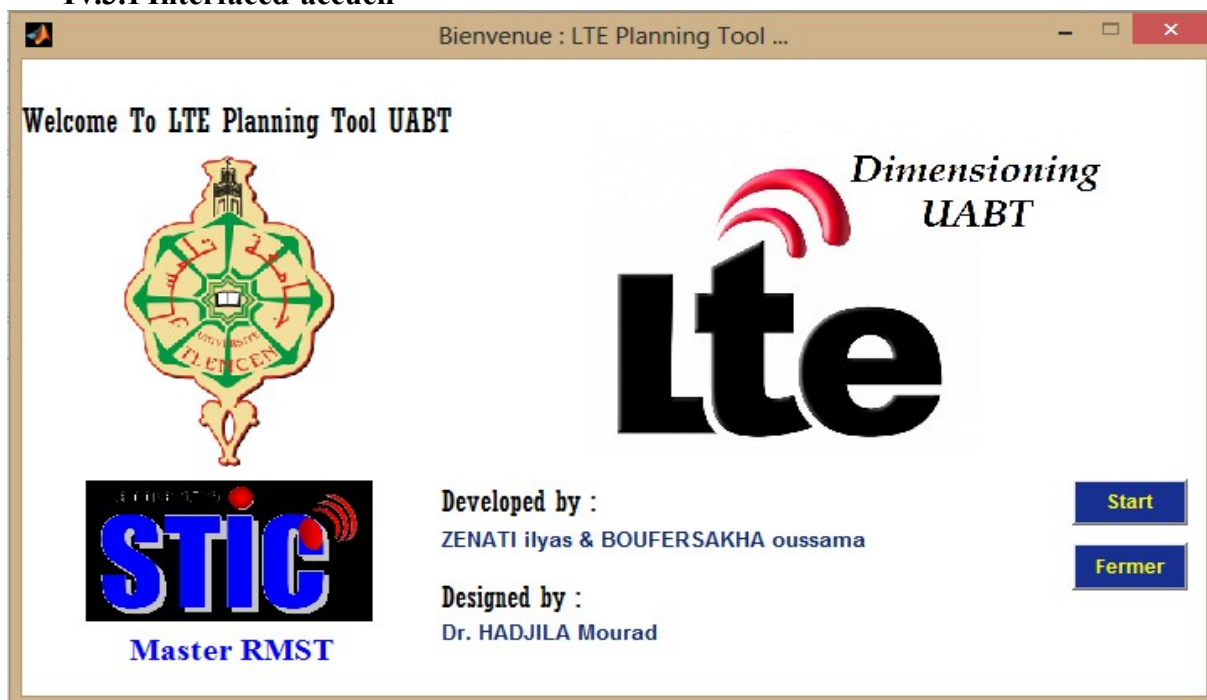


Figure IV.6 : Page d'accueil de l'application.

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 « Radio Parameters»

Dans cette fenêtre, l'utilisateur doit choisir :

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

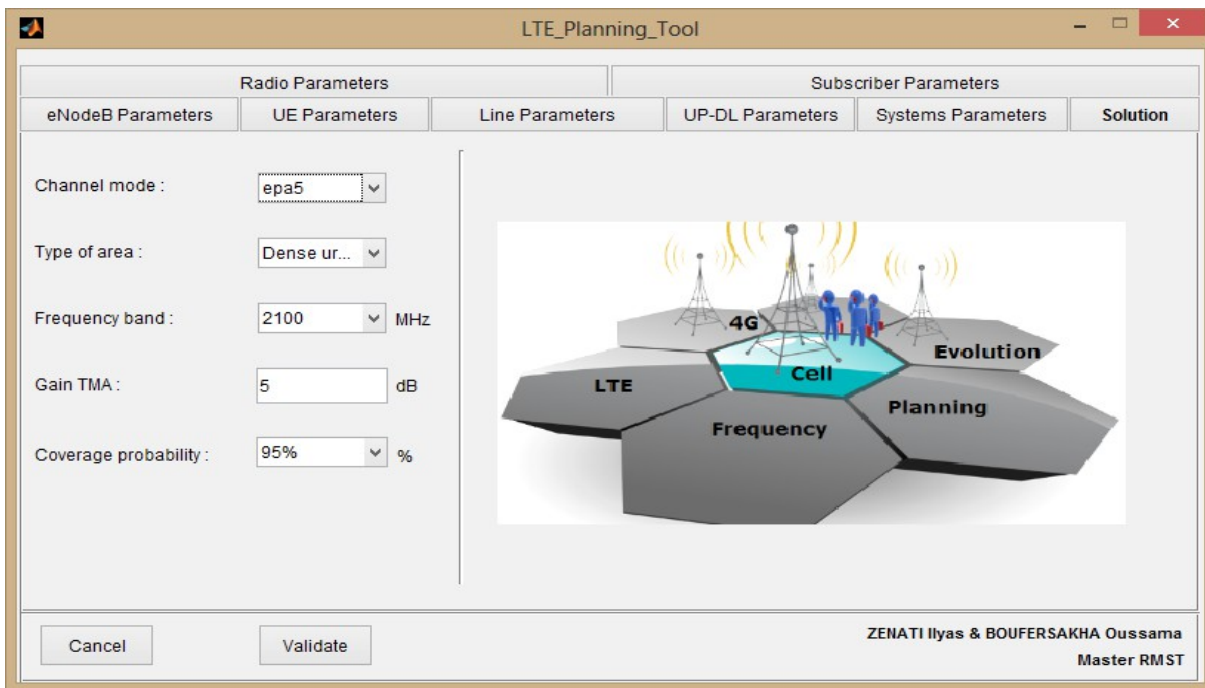


Figure IV.7: Onglet « Radio Parameters ».

IV.3.3 Onglet « Subscriber Parameters»

Cette fenêtre contient les paramètres suivants :

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

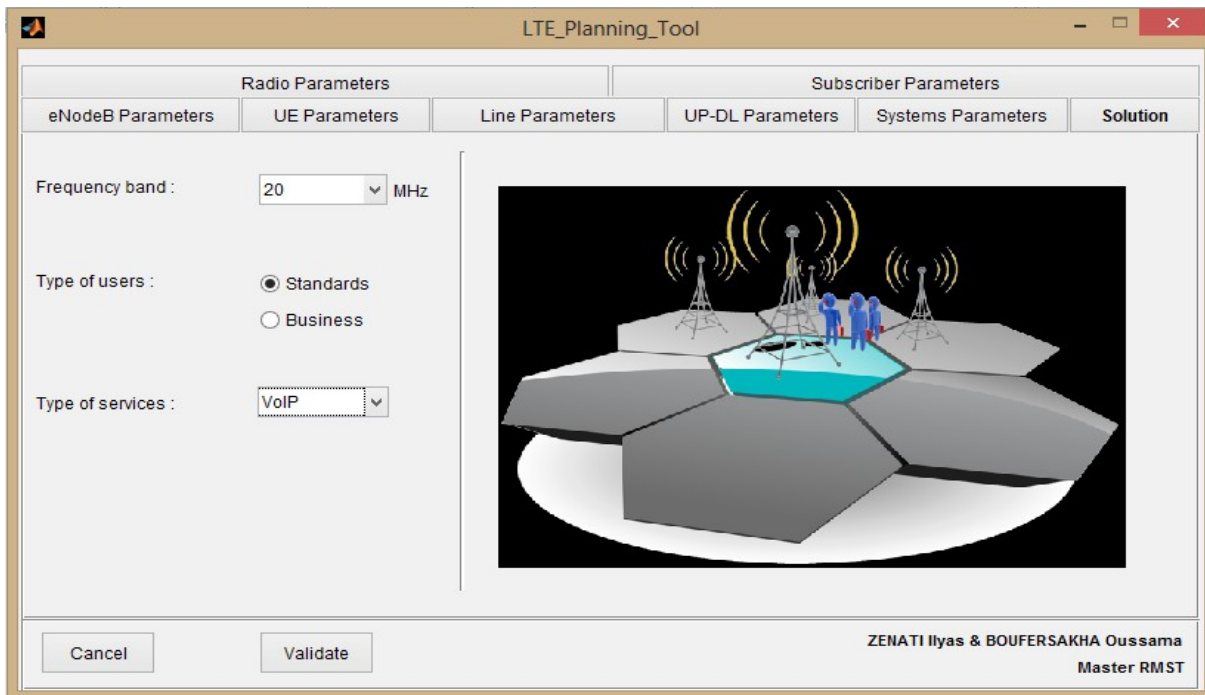


Figure IV.8: Onglet « Subscriber Parameters ».

IV.3.4 Onglet «eNodeB Parameters»

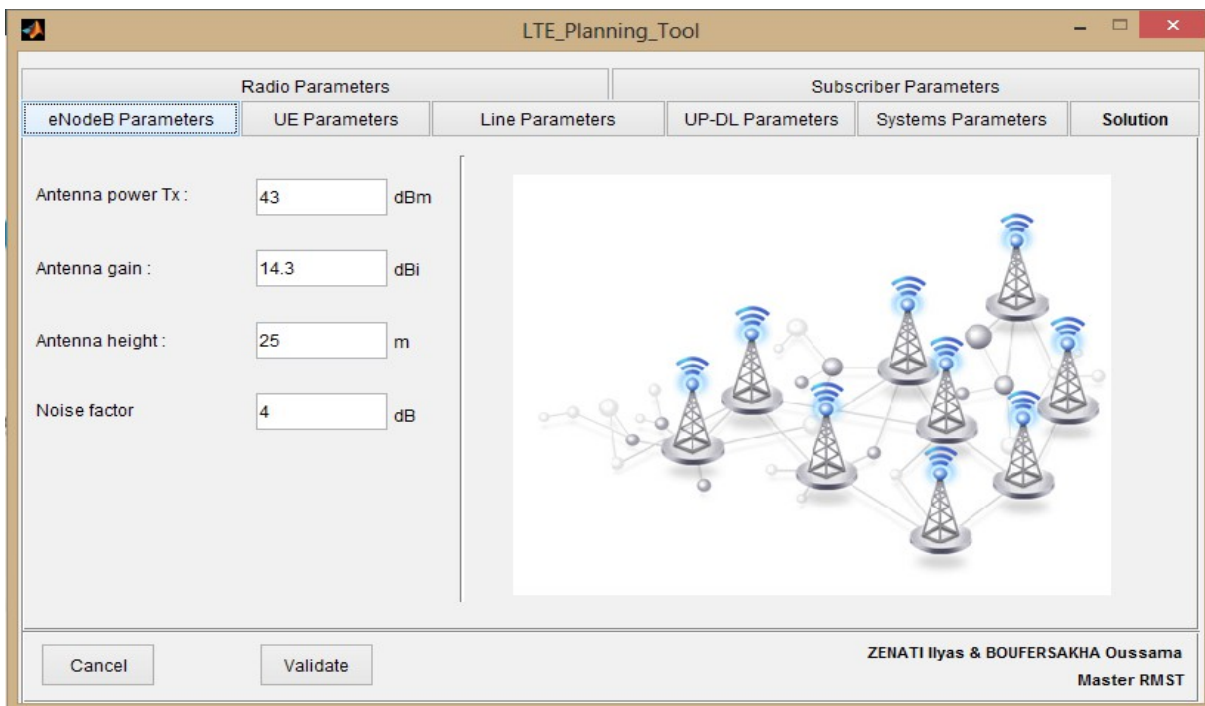


Figure IV.9: Onglet « eNodeB Parameters »

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 « UE Parameters »

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.

The screenshot shows the 'LTE_Planning_Tool' window with the 'UE Parameters' tab selected. The 'Radio Parameters' section contains the following fields:

- Antenna power Tx: 23 dBm
- Antenna gain: 7 dBi
- Antenna height: 1 m
- Noise factor: 2.2 dB

To the right of these fields is a 3D graphic of a smartphone with '4G' on its screen. At the bottom, there are 'Cancel' and 'Validate' buttons. The footer text reads: 'ZENATI Ilyas & BOUFERSAKHA Oussama Master RMST'.

Figure IV.10: Onglet « UE Parameters ».

IV.3.6 Onglet « Line Parameters »

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).

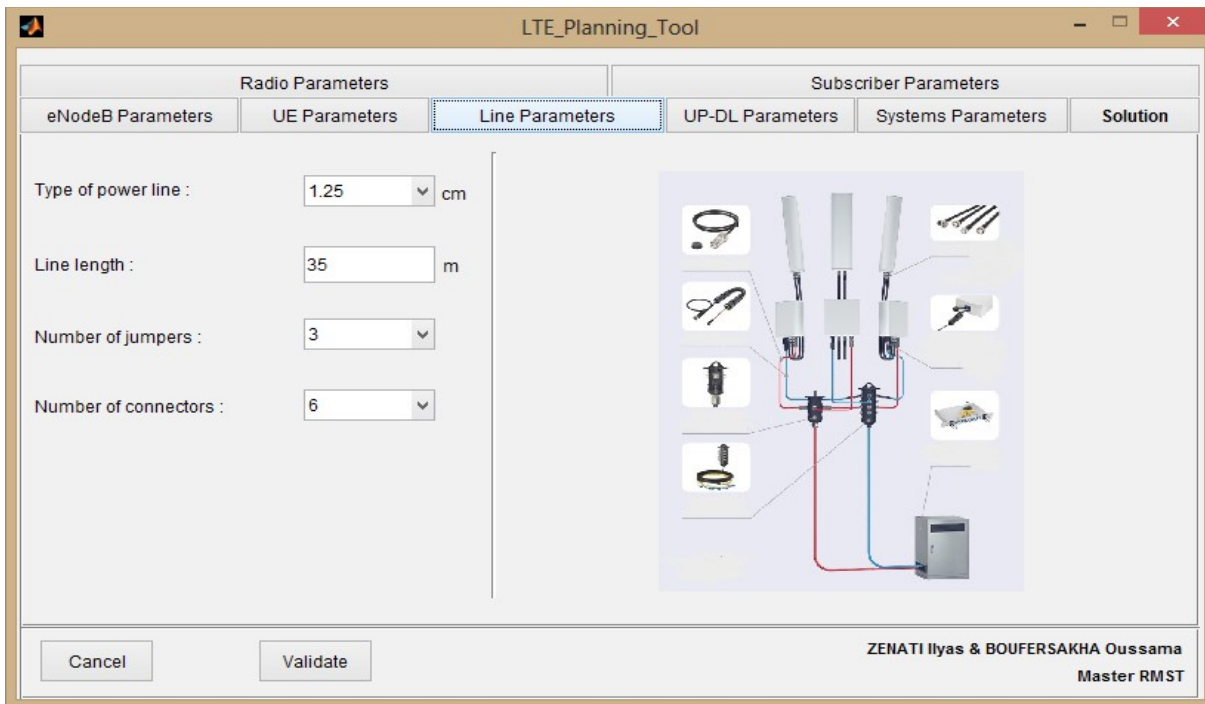


Figure IV.11: Onglet « Line Parameters ».

IV.3.7 Onglet «UL-DL Parameters»

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%).

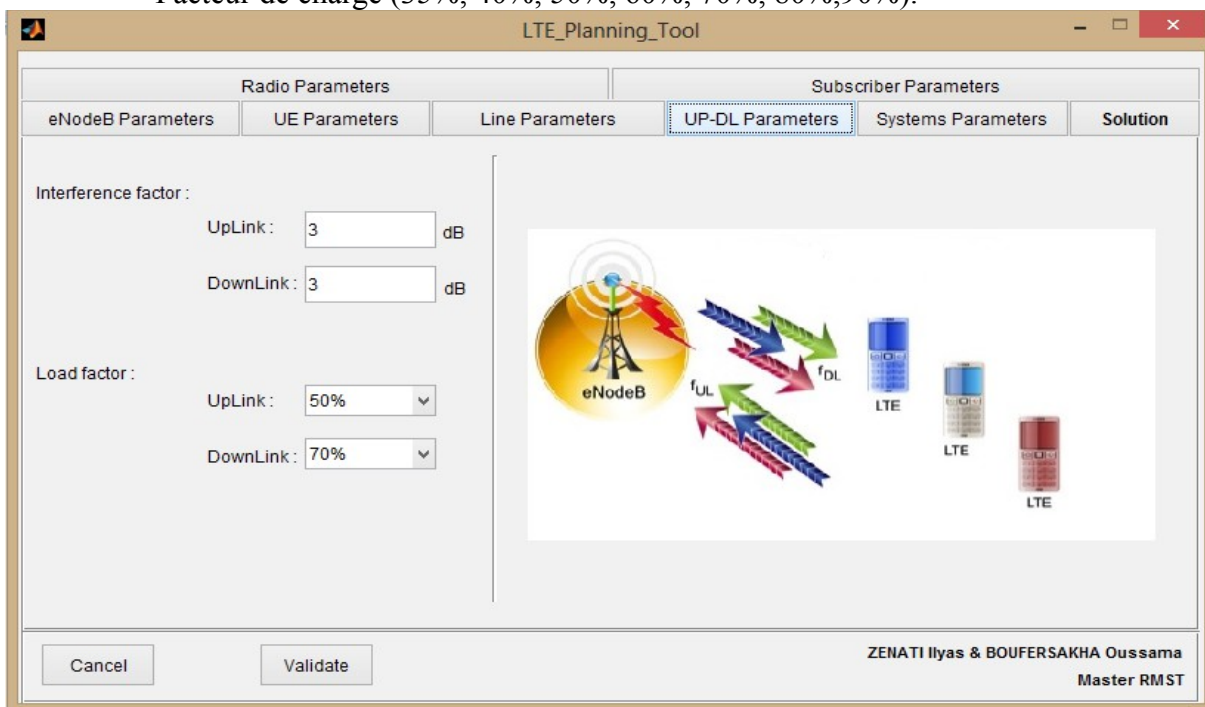


Figure IV.12: Onglet « UL-DL Parameters ».

IV.3.8 Onglet « Systems Parameters»

Cette fenêtre est destinée aux paramètres du système :

- ✓ Nombre des canauxPUCCH.
- ✓ Type d'antenne (SIMO 1X2, TxDiv 2X2, OLSM2X2).
- ✓ Type de site (1secteur, 3secteurs).

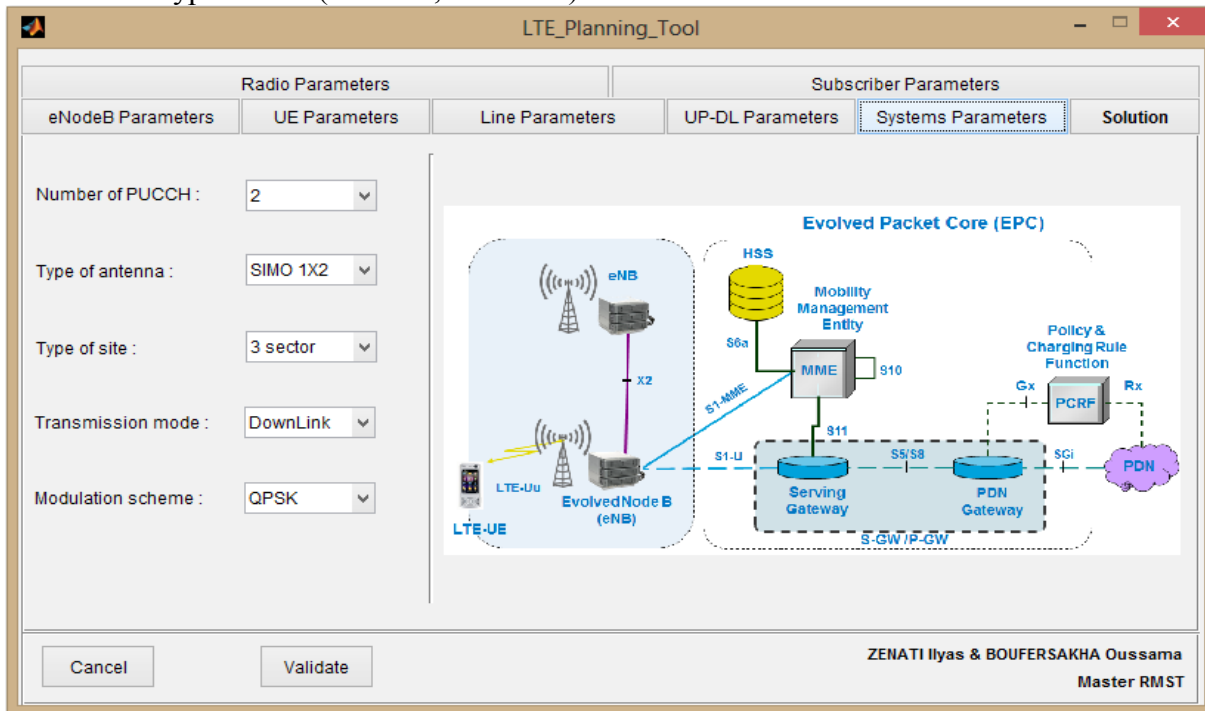


Figure IV.13 :Onglet « Systems Parameters ».

IV.3.9 Onglet « Solution»

Le résultat de dimensionnement est regroupé dans l'onglet « 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 ligned'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 inter sites,
- ✓ nombre de sites par couverture,
- ✓ nombre de sites par capacité,
- ✓ débit binaire total,
- ✓ débit de la cellule et le nombre d'abonnés.

Radio Parameters		Subscriber Parameters	
eNodeB Parameters	UE Parameters	UP-DL Parameters	Systems Parameters
Bit rate required by BR :	540 Kbps	SINR in EDGE cell :	-1.68762 dB
Number of BR per user :	100	Radius of the cell :	0.876493 Km
Maximum signal attenuation LSA :	81.5427 dB	Surface coverage of the site :	3.89498 Km²
Power transmitted by RB EIRP :	-27.9446 dBm	Distance inter-sites :	1.31474 Km
Maximum Allowable Path Loss MAPL :	152.19 dB	Number of site by coverage :	12
Loss of Shadowing :	6.7 dB	Number of site by capacity :	17
Loss of penetration :	20 dB	Total Bit Rate :	11685.1 Kbps
Loss of power line :	3.24 dB	Cell rate :	3895.03 Kbps
Loss of jumpers :	0.45 dB	Number of subscribers :	5820
Loss of connectors :	1.2 dB		
Margin interference :	-1188.01 dB		

Figure IV.14 : Onglet « solution ».

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre application LTE Planning Tools UABT, sa structure globale, ses interfaces et ses fonctionnalités. En fait, cette application offre une interface de saisie bien structurée, pour le dimensionnement de couverture, de capacité et de prévision des coûts en tenant compte des règles de dimensionnement et planification des réseaux d'accès E-UTRAN du réseau LTE.

Bibliographie

- [1] : MESSAOUI.M.M « *Développement d'un outil d'aide à la gestion des capacités des équipements BSS en Map Basic sous le SIG Map Info* », 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] : BENABADJI.S et LALLAM.C « *conception et modélisation d'une antenne micro urbain compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile* », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2012.
- [3] : <http://slideplayer.fr/slide/4253519/> .
- [4] : Cours « *Réseaux d'opérateurs (nG) et services* » de Mr Feham.
- [5] : TONYE.E et EWOUSSAOUA.L, « *planification et ingénierie des réseaux de télécoms* », *Mémoire pro 2 de télécommunication* », Université de Yaounde I, 2011.
- [6] 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.
- [7] nokia siemens networks, « *long term evolution* », institue national des postes et télécommunications, INPT, 2011.
- [8] URDAREANU.A, « *Réseau de 4^{ème} Génération* », Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [9] Greg HARMAN, Avan BARKER, Tim IREDALE, « *LTE Network Performance Improuvement Technical Guideline* », Ericsson Internal Guideline, 2013.
- [10] Zang Liang, Qin Yan, « *LTE Air Interface : Training Manuel* », Huawei Proprietary and confidential, Huawei Technologies Co, 2010.
- [11] Chen Fazhi, « *LTE Protocols and procedures contents* », Huawei proprietary and confidential, Huawei technologies Co, LTE. 2006.
- [12] Xavier Lagrange, « *Réseaux Mobiles 2G & 3G : Caractéristiques d'une interfaces radio* »

Department RSM, ENST Bretagne, 12/2004.

[13] ERICSSON Proprietary and confidential, « LTE Overlay Networks », ERICSSON Design Guideline, Decembre 2011.

[14] Yannick Bouguen, EricHardouin, François-Xavier Wolff, « LTE et les réseaux 4G », édition groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.

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.

His role is to provide a quality of service (QoS) and better real increase in throughput than the terrestrial network.

In this thesis we studied the LTE network in order to size the planning and implementing a computing software that facilitates this task and makes it simple.

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

الملخص:

تعتبر تقنية الـ **LTE** من التقنيات الحديثة في الاتصالات اللاسلكية حيث تضم هذه التكنولوجيا مختلف التقنيات المستعملة لربط المستخدمين إلى شبكة الاتصال وذلك عن طريق الأمواج الهوائية.

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

ولقد تطرقنا في هذه المذكرة إلى دراسة تقنية الـ **T** أي بهدف التخطيط و التحجيم , ولهذا قمنا بتصميم برنامج معلوماتي يجعل هذه التقنية سهلة و بسيطة .

الكلمات المفتاحية: (LTE) . الـ **T** أي , الجيل الرابع , التخطيط , التحجيم , القدرة , الشبكة الخلوية

