

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

*Mémoire de fin d'études*  
En vue de l'obtention  
Du diplôme Master en Télécommunication

Option Réseaux et Télécommunications

## Thème

**Optimisation des paramètres  
d'accessibilité d'un réseau LTE**

Promoteur :

Mr. M.LAHDIR

Co promoteur :

Mr. B.AYOUNI

Présenté par :

M<sup>elle</sup> MECHETI LILA

**Année universitaire : 2017/2018**

# *Remerciement*

Je voudrais remercier mon encadreur Monsieur **Ayouni Boudjema** tout d'abord de m'avoir proposé ce sujet, de m'avoir aidé, encadré tout au long du projet et pour son soutien et ses recommandations judicieuses.

Aussi, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur **Lahdir M**, je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience et sa disponibilité durant ma préparation de ce mémoire.

Je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin dans le bon déroulement du projet.

J'exprime aussi mes reconnaissances à nos enseignants de l'université UMMTO qui ont si bien mené leur noble métier d'enseignement.

Je les remercie non seulement pour le savoir qu'ils nous ont transmis, mais aussi pour la fierté et l'ambition que leurs personnes nous inspirent.

Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce travail.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*Mes grands parents,*

*Mes chers parents,*

*Mes frères remdane et achour ,*

*Massi djebbar,*

*Toute ma famille,*

*Mes ami(e)s,*

# La liste des figures

---

## La liste des figures

<b>Figure I.1.</b> Différents types de cellules .....	4
<b>Figure I.2 :</b> Les équipements et interfaces de base d'un réseau de mobiles .....	5
<b>Figure I.3 :</b> Les sous-systèmes du réseau GSM .....	6
<b>Figure I.4 :</b> Les différentes interfaces d'un réseau GSM .....	9
<b>Figure I.5 :</b> Multiplexage temporel .....	10
<b>Figure I.6 :</b> Architecture du réseau GPRS .....	11
<b>Figure I.7 :</b> Transitions possibles pour un état de phase modulation 8-PSK .....	13
<b>Figure I.8 :</b> L'architecture du réseau UMTS .....	15
<b>Figure I.9 :</b> Architecture du réseau d'accès UTRAN .....	16
<b>Figure I.10 :</b> Principe de l'étalement de spectre .....	18
<b>Figure I.11 :</b> L'arbre des codes OVSF .....	19
<b>Figure I.12 :</b> Utilisation des codes OVSF .....	20
<b>Figure I.13 :</b> Exemple de soft handover .....	21
<b>Figure II.1 :</b> Architecture de LTE .....	25
<b>Figure II.2 :</b> Architecture E-UTRAN .....	27
<b>Figure II.3 :</b> Architecture du réseau cœur EPC .....	29
<b>Figure II.4 :</b> Modulation adaptatif .....	29
<b>Figure II.5 :</b> Modulation QAM .....	30
<b>Figure II.6 :</b> Modulation OFDMA .....	31
<b>Figure II.7 :</b> Comparaison entre l'OFDM et l'OFDMA .....	31
<b>Figure II.8 :</b> Nombre de sous-porteuses pour différentes bandes spectrales .....	32
<b>Figure II.9 :</b> La différence entre l'OFDMA et SC-FDMA .....	33
<b>Figure II.10 :</b> Structure de la trame LTE .....	33
<b>Figure II.11:</b> Duplexage FDD .....	34
<b>Figure II.12 :</b> Duplexage TDD .....	34
<b>Figure II.13 :</b> le type du time Slot Selon la taille du Cyclique préfixe constituant leSymboleOFDM .....	35
<b>Figure II.14 :</b> Bloc de ressources (PRB) et élément ressource (RE) .....	36
<b>Figure II.15 :</b> La technologie MIMO .....	36
<b>Figure II.16 :</b> La pile protocolaire de LTE plan contrôle et plan usager .....	38

## La liste des figures

---

<b>Figure II.17</b> : Plan de contrôle en couche .....	<b>38</b>
<b>Figure II.18</b> : plan usager.....	<b>39</b>
<b>Figure II.19</b> : Architecture protocolaire de l'interface radio .....	<b>40</b>
<b>Figure II.20</b> : Les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrications.....	<b>43</b>
<b>Figure III.1</b> : Procédure d'accès aléatoire sans contention.....	<b>48</b>
<b>Figure III.2</b> :Procédure d'accès aléatoire basée sur la contention .....	<b>49</b>
<b>Figure III.3</b> : La structure du préambule PRACH .....	<b>50</b>
<b>Figure III.4</b> : Incertitude temporelle dans le préambule PRACH.....	<b>50</b>
<b>Figure III.5</b> :La grille des ressources PRACH.....	<b>52</b>
<b>Figure III.6</b> : Les paramètres des préambules RACH .....	<b>54</b>
<b>Figure III.7</b> : le paramètre <prach-ConfigIndex .....	<b>56</b>
<b>Figure III.8</b> : Les formats de préambule PRACH.....	<b>57</b>
<b>Figure III.9</b> : Les paramètres <zeroCorrelationZoneConfig et Highspeedflag .....	<b>58</b>
<b>Figure III.10</b> : Les intervalles de décalage cyclique.....	<b>58</b>
<b>Figure III.11</b> : L'emplacement du préambule PRACH dans le domaine fréquentielle.....	<b>59</b>
<b>Figure III.12</b> : Visualisation des performances par le logiciel Netnumen.....	<b>61</b>
<b>Figure III.13</b> : le rayon maximal.....	<b>62</b>
<b>Figure III.14</b> :Activation de l'événement ANR Intra-RAT. ....	<b>62</b>
<b>Figure III.15</b> :Représentation de RACH succès après l'activation. ....	<b>63</b>
<b>Figure III.16</b> : Représentation de succès RACH et RRC .....	<b>63</b>
<b>Figure III.17</b> : Activation de l'événement ANR Intra –RAT. ....	<b>64</b>
<b>Figure III.18</b> : La probabilité de fausse alarme après l'activation.....	<b>65</b>
<b>Figure III.19</b> : Représentation de Succès és RACH et RRC après l'activation.....	<b>65</b>
<b>Figure III.20</b> :Représentation des performance d'accessibilité de la cellule d'étude avant la résolution du problème.....	<b>66</b>
<b>Figure III.21</b> :L'antenne avec tilt = 3.5 .....	<b>66</b>
<b>Figurez III.22</b> : Représentation des performance d'accessibilité de la cellule d'étude après l'exécution du changement.....	<b>67</b>

## La liste des tableaux

---

### La liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Les schémas de codage.....	<b>12</b>
<b>Tableau I.2</b> : Les différentes valeurs du facteur d'étalement.....	<b>19</b>
<b>Tableau II.1</b> : Nombre de PRB en fonction de la bande disponible.....	<b>36</b>
<b>Tableau III.1</b> : Les formats du préambule PRACH.....	<b>51</b>

## Liste des abréviations

---

**A** **AMPA** (Advanced Mobile Phone system)

**B** **BSS** (Base Station Subsystem)

**BTS** (Base Transceiver Station)

**BSC** (Base Subsystem Controller)

**BER** (Block Error Rate)

**C** **CN** (Core Network)

**CDMA** (Code Division Multiple Access)

**CS** (Code Scheme)

**CQI** (Channel Quality Information)

**CCCH** (Common Control Channel)

**CP** (Cyclic Prefix)

**CV** (Cyclic shift Value)

**D** **DC-HSPA+** (Dual Cell High Speed Packet Access +)

**DL** (Down Link)

**DFT** (Discrete Fourier Transformation)

**DCCH** (Dedicated Control Channel)

**DTCH** (Dedicated Traffic Channel)

**DL-SCH** (Down Link-Shared Channel)

**E** **EDGE** (Enhanced Data for GSM Evolution)

## Liste des abréviations

---

**E-UTRAN** (ENodeB-Universal Terrestrial Radio Access Network)

**EPC** (Evolved Packet Car)

### **F**

**F-TDMA** (Frequency Time Division Multiplex Access)

**FDD** (Frequency Division Duplex)

### **G**

**GSM** (Global System for Mobile)

**GMSC** (Gateway Mobile Switching Centre)

**GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying)

**GPRS** (General Packet Radio Service)

**GGSN** (Gateway GPRS Support Node)

**GERAN** (GSM/EDGE Radio Access Network)

**GSS** (GPRS Sub-System)

**3GPP** (3ed Generation Partnership Project)

**GTP** (GPRS Tunneling Protocol)

**GTP-U** (GPRS Tunneling Protocol-User)

**GTP-C** (GPRS Tunneling Protocol-Control)

**GP** (Guard Periode)

### **H**

**HLR** (Home Location Register)

**HPSA** (High Speed Packet Access)

**HSPA+** (High Speed Packet Access+)

**HARQ** (Hybrid Automatic Repeat Request)

**HSS** (Home Subscriber Service)

## Liste des abréviations

---

### I

**IMEI** (International Mobile Equipment Identity)

**IMSI** (International Mobile Subscriber Identity)

**IP** (Internet Protocol)

**IFFT** (Inverse Fast Fourier Transform)

**IE** (Information element)

### L

**LTE** (Long Term Evolution)

### M

**MT** (Mobile Station)

**MS** (Mobile Station)

**MSC** (Mobile Switching Centre)

**MSK** (Minimum Shift Keying)

**MIMO** (Multiple Input Multiple Output)

**MME** (Mobility Management Entity)

**MCS** (Modulation Coding Schema)

**MISO** (Multiple Input Single Output)

**MAC** (Medium Access Control)

**MBSFN** (Multicast Broadcast for Single Frequency Network)

**MO** (Mobile Originating)

### N

**NSS** (Network Sub-System)

**NAS** (Non Access Stratum)

**Ncs** (Number cyclic shift)

## Liste des abréviations

---

### **O**

**OSS** (Operation Sub-System)

**OMC** (Operation and Maintenance Centre)

**OMC/R** (Operation and Maintenance Centre / Radio)

**OMC/S** (Operation and Maintenance Centre/ System)

**OMC/M** (Operation and Maintenance Centre/ Maintenance)

**OVSF** (Orthogonal Variable Spreading Factor Code)

**OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

**OSI** (Open system Interconnection)

### **P**

**PCU** (Packet Control Unit)

**PSK** (Phase Shift Keying)

**PN** (Pseudo noise)

**PDN-GW** (Packet Data Network-Gat Way)

**PCRF** (Policy and Charging Rules Function)

**PRB** (Physical Resource Block)

**PDCP** (Packet Data Compression Protocol)

**PDU** (Protocol Data Unit)

**PCH** (Paging Channel)

**PDSCH** (Physical Dawnlink Shared Channel)

**PDCCH** (Physical Dawnlink Control Channel)

**PRACH** (Physical Random Access Channel)

**PCCH** (Paging Control Channel)

**PCH** (Physical Channel)

**PSCH** (Primary Synchronization Channel)

**PF** (Paging Frame)

**PO** (Paging Ocassion)

## Liste des abréviations

---

### Q

**QoS** (Quality of Service)

**QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying)

**QAM** (Quadrature Amplitude Modulation)

### R

**RAN** (Radio Access Network)

**RNC** (Radio Network Controller)

**RACH** (Random Access Channel)

**RE** (Resource Element)

**RRC** (Radio Resource Control)

**RLC** (Radio Link Control)

**RNTI** (Radio Network Temporary Identifier)

**RA-RNTI** (Random Access-RNTI)

**RAR** (Random Access Response)

### S

**SIM** (Subscriber Identified Module)

**SGSN** (Serving GPRS Support Node)

**SF** (Spreading Factor)

**SC-FDMA** (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)

**S-GW** (Serving –Get Way)

**SIMO** (Single Input Multiple Output)

**SISO** (Single Input Single Output)

**SDU** (Service Data Unit)

**SCH** (Shared Channel)

**SSCH** (Secondary Synchronization Channel)

**SR** (Scheduling Request)

## Liste des abréviations

---

**SIB2** (System Information Block 2)

### **T**

**TDMA** (Time Division Multiple Access)

**TDD** (Time Division Duplex)

**TD-SCDMA** (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access)

### **U**

**UIM** (User Identity Module)

**UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System)

**UTRAN** (Universal Terrestrial Radio Access Network)

**UE** (User Equipment)

**UL** (UpLink)

### **V**

**VLR** (Visitor Location Registration)

**VoIP** (Voice over Internet Protocol)

### **W**

**W-CDMA** (Wideband Code Division Multiple Access)

# Sommaire

---

Introduction .....	1
--------------------	---

## Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

I.1	Préambule.....	2
I.2	Le concept cellulaire .....	2
I.3	L'architecture d'un réseau mobile .....	4
I.4	La première génération des téléphones mobiles (1G).....	5
I.5	Les réseaux mobiles de deuxième génération (2G) .....	5
I.5.1	Le réseau GSM (Global system for mobile) .....	6
I.5.1.1	Architecture du réseau GSM .....	6
a)	Station mobile(MS).....	6
b)	Le sous-système radio BSS .....	7
c)	Le sous-système réseau NSS .....	7
d)	Le sous-système d'exploitation OSS .....	8
I.5.1.2	Les interfaces du réseau GSM .....	8
I.5.1.3	La modulation utilisée dans le réseau GSM .....	9
I.5.1.4	Le multiplexage temporel TDMA .....	9
I.5.1.5	Handover .....	10
I.5.2	Le réseau GPRS ( generalpacket radio service).....	11
I.5.2.1	L'architecture du réseau GPRS .....	11
a)	SGSN ( serving GPRS support node) .....	12
b)	GGSN (Gateway GPRS support node) .....	12
c)	PCU (packet control unit).....	12
I.5.2.2	Codage dans le réseau GPRS .....	12
I.5.3	L'évolution EDGE .....	12
I.5.3.1	La modulation utilisée dans EDGE .....	13
I.6	Les réseaux mobiles de troisième génération .....	13
I.6.1	Le réseau UMTS (Universel Mobile Télécommunication System) .....	14
I.6.1.1	L'architecture du réseau UMTS .....	14
I.6.1.2	Les interfaces du réseau UMTS.....	16
I.6.1.3	La technologie W-CDMA.....	17
I.6.1.4	L'arbre des codes dans le réseau UMTS .....	18

## Sommaire

---

I.6.1.5	Multiplexage .....	20
I.6.1.6	Soft handover .....	20
I.7	Les réseaux mobiles de quatrième génération (LTE).....	21
I.8	Discussion .....	22

### Chapitre II : Etude générale sur la 4G

II.1	Préambule .....	23
II.2	Le réseau LTE (Long Term Evolution) .....	23
II.3	Le but de la 4G (LTE).....	23
II.4	Les caractéristiques fondamentales de la 4 G .....	24
II.4.1	Débit .....	24
II.4.2	Latence .....	24
II.4.3	L'agilité en fréquence .....	24
II.4.4	Mobilité .....	24
II.5	Architecture du réseau LTE .....	25
II.5.1	User Equipement .....	25
II.5.2	L'accès radio eUTRAN .....	25
II.5.2.1	eNode B .....	26
a)	Interface S1 .....	26
b)	Interface X1.....	26
II.5.3	Le cœur de réseau EPC (Evolved Packet Cor).....	27
II.5.3.1	MME (Mobility Management Entity) .....	28
II.5.3.2	HSS (Home Subscriber Service) .....	28
II.5.3.3	PDN-GW (Packet Data Network-GatWay).....	28
II.5.3.4	S-GW (Serving Gateway) .....	28
II.5.3.5	PCRF (Policy and Charging Rules Function) .....	28
II.6	Les technologies employées dans le réseau 4G .....	29
II.6.1	La modulation .....	29
II.6.2	Les techniques d'accès.....	30
II.6.2.1	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	30
II.6.2.2	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) .....	31

## Sommaire

---

II.6.2.3	SC-FDMA (Single Carrier Frequency Multiple access) .....	32
II.6.2.4	La structure de la trame LTE.....	33
II.6.2.5	Bloc de ressources (PRB) et élément ressource (RE) .....	35
II.6.2.6	La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) .....	36
II.7	Architecture protocolaire.....	37
II.7.1	Plan de contrôle.....	38
II.7.2	Plan usager .....	39
II.7.3	Interface radio.....	39
II.7.3.1	La couche Physique .....	41
II.7.3.2	La couche MAC (Medium Access Contrôle).....	41
II.7.3.3	La couche RRC (Radio Resource Control) .....	41
II.8	Le concept d'un canal.....	42
II.8.1	Les canaux logiques .....	43
II.8.2	Les canaux de transport .....	44
II.8.3	Les canaux physiques .....	44
II.9	Discussion .....	45

### Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

III.1	Préambule .....	46
III.2	L'accessibilité en LTE .....	46
III.2.1	RACH (Random Access Channel).....	46
III.2.2	Procédure d'accès aléatoire en LTE (RACH) .....	47
III.2.3	Les différents types de procédure d'accès aléatoire .....	47
III.2.3.1	Procédure d'accès aléatoire sans contention .....	47
III.2.3.2	Procédure d'accès aléatoire basée sur la contention .....	48
III.2.4	PRACH ( Physical Random Access Channel).....	49
III.2.4.1	Structure temporelle du préambule PRACH.....	50
III.2.4.2	Les formats du préambule PRACH .....	51
III.2.4.3	Structure fréquentielle du préambule PRACH .....	51
III.2.4.4	Les 64 signatures de préambule PRACH .....	53
III.2.5	SIB2 (System Information Block 2) .....	53
III.2.5.1	Les paramètres de RACH et leur signification physique.....	54

# Sommaire

---

a) <preambleInfo .....	54
b) <preamblesGroupAConfig>.....	54
c) <powerRampingParameters> .....	55
d) <ra-SupervisionInfo> .....	55
e) <bcch-Config> .....	55
f) <pcch-Config> .....	56
g) <prach-ConfigInfo> .....	56
<b>III.3 Des cas d'optimisation de l'accessibilité par Mobilis .....</b>	<b>60</b>
<b>III.4 Discussion .....</b>	<b>67</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>68</b>

# **Introduction**

# Introduction

---

## Introduction

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

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

Dans les réseaux terrestre sans fil, tel que le GSM, l'UMTS ou LTE, la qualité de service est un impact significatif sur le système. L'accessibilité au service voulu et le maintien de la communication pour un abonné en déplacement nous permettent de garantir un meilleur service.

Ce travail a pour objectif d'étudier l'accessibilité dans le cadre de réseau mobiles 4G/LTE. Le premier chapitre est un aperçu général sur les différentes normes de téléphonie mobile tel que la 1ère génération (1G) comme l'était, au départ, la téléphonie fixe, le GSM (2G) qui donnaient accès au service voix en mobilité, le GPRS (2,5 G), l'EDGE (2,75 G) et enfin l'UMTS (3G) qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.

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

Dans le troisième chapitre, nous allons faire une étude approfondie sur l'accessibilité et nous optimisons les résultats donné par le logiciel Netwemen afin d'obtenir le meilleur accès au réseau. Ces accès permettrons de satisfait tous les besoins des clients et de minimiser les dépenses de capital et les couts d'exploitation en réduisons le nombre de problèmes, mais en garde toujours un bon accès au réseau.

Nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale et des perspectives ouvertes par ce travail.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les réseaux mobiles**

## I.1 Préambule

Depuis plusieurs années 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 pas encore mis en œuvre) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et 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.

Les réseaux de la 1ère génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunication dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours. Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75. Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la seconde génération de normes permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation d'Internet, tant dit que pour la 3<sup>ème</sup> génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données. En ce qui concerne la nouvelle génération 4G(LTE), déployer jusque-là que par quelque pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans le prochain chapitre.

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

## I.2 Le concept cellulaire

Tous les réseaux mobiles sont basés sur le concept cellulaire. Le principe est de diviser le territoire en petites régions géographiques appelées cellules. Afin d'éviter tout problème d'interférence les cellules voisines doivent utiliser des fréquences ou des codes différents. Chaque cellule dispose de son propre émetteur récepteur, souvent appelé antenne sous le contrôle d'une station de base, autrement dit à chaque cellule est associée une fréquence ou un code.

Graphiquement on représente une cellule par un hexagone, l'avantage de cette forme est qu'elle offre une même distance entre une antenne et ses voisines sans oublier que la juxtaposition de ces formes permet de recouvrir une région sans laisser de vide.

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

---

Il existe des cellules de différentes tailles, chacune d'elles est utilisée dans la zone qui lui convient. Le choix d'une cellule s'établit selon plusieurs critères : [3]

- Le nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.
- La configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles ...).
- Localisation (rurale, urbaine)
- Densité des constructions.

On distingue 3 types de cellules : [3]

- **Les cellules macro :**

-Cellules à rayon de quelques dizaines de kilomètres.

-Les macro-antennes sont placées à des positions élevées

(20, 40, 60m) sur des immeubles, pylônes et les châteaux d'eau.

Les puissances théoriques d'émission des macro-antennes varient de 40-120watt.

- **Les cellules micro :**

Ces antennes renforcent la couverture, elles se trouvent généralement à l'intérieure ou dans des lieux de fort passage comme les galeries commerciales, gares.

- **Les cellules pico :**

Dans ce cas la couverture est moins importante (quelques dizaines de mètres de rayon) et de faible puissance, elle convient pour la propagation à l'intérieure de certains bâtiments comme dans les hôtels, immeuble de bureaux, etc.

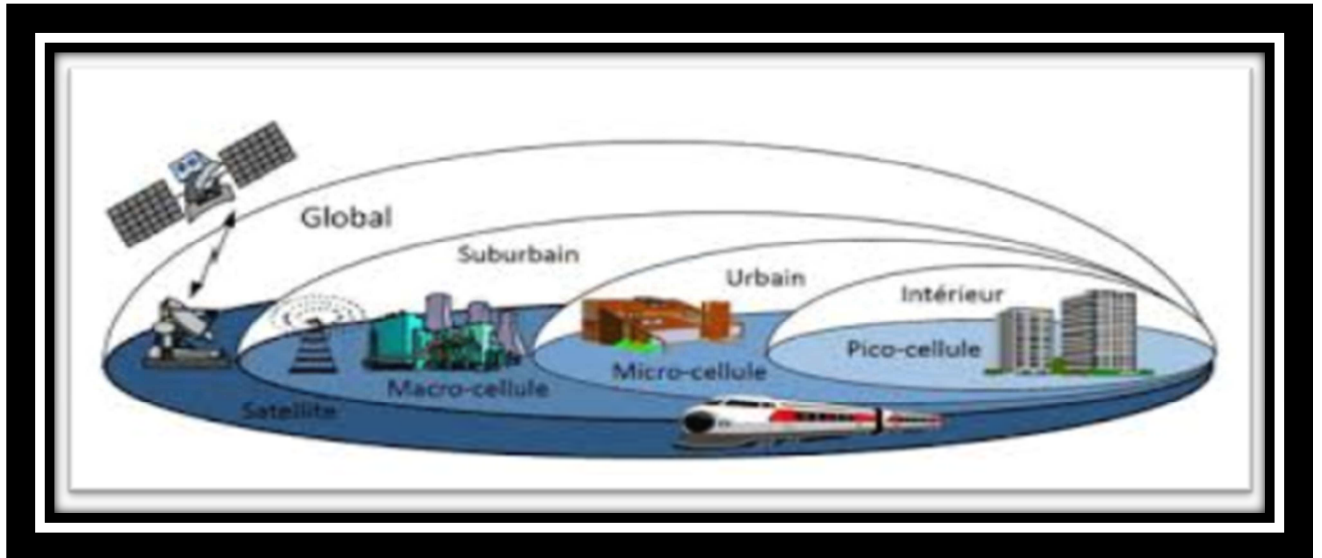


Figure I.1. Différents types de cellules.

### I.3 L'architecture d'un réseau mobile

Les quatre principales interfaces d'un réseau mobile sont :[2]

- La première interface UIM-MT relie la carte UIM (user identity module), et le terminal mobile MT(mobile terminal), par lequel le client communique.
- La deuxième interface qui est MT-RAN ou bien interface air, permet au terminal mobile de communiquer avec l'antenne qui forme l'extrémité du réseau d'accès RAN (Radio access network). Une antenne peut être terrestre ou satellitaire.
- Interface RAN-CN, correspond a la liaison entre l'antenne et le premier commutateur du réseau cœur qui est le CN ( core network).
- La dernière interface qui est CN-CN, se situe entre deux nœuds du réseau cœur. Elle permet de faire transiter les informations d'un sous-système d'accès à un autre.

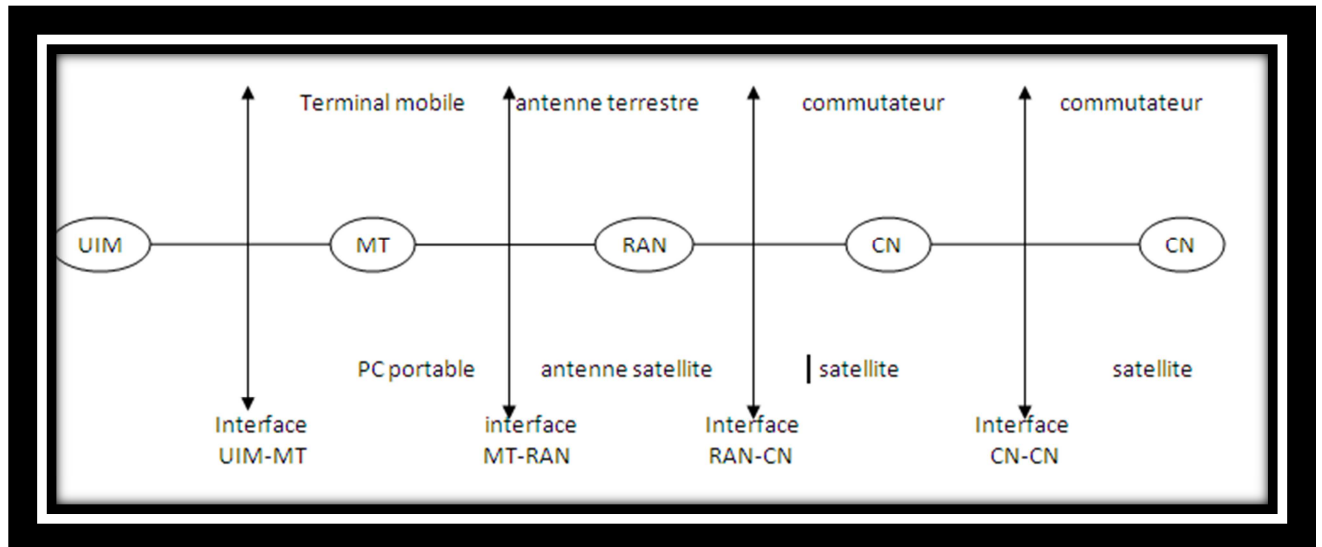


Figure I.2 : Les équipements et interfaces de base d'un réseau de mobiles.

## I.4 La première génération des téléphones mobiles (1G)

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur).

## I.5 les réseaux mobiles de deuxième génération (2G)

La deuxième génération (2G) des systèmes cellulaires repose sur une technologie numérique qui a été développée à la fin des années 1980, ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numériques pour la liaison ainsi pour le signal vocal. Ce système apport une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité à moindre cout pour UE.

La deuxième génération utilise essentiellement les standards suivants :

- Le réseau GSM
- Le réseau GPRS
- L'évolution EDGE

## I.5.1 le réseau GSM (Global system for mobile)

GSM très largement utilisé est la première norme de téléphonie cellulaire qui soit pleinement numérique. C'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles. Avec plus de 400 millions d'utilisateurs à la fin de l'année 2000 dans le monde, soit la moitié du nombre total d'utilisateurs de téléphonie mobile.

Le réseau GSM transporte les informations sans modification en mode circuit ce qui garantit la chronologie des informations échangées. Les données de l'utilisateur et la signalisation du réseau sont transportées dans des canaux de communication différents.

### I.5.1.1 Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM est constitué de trois sous-systèmes et les stations mobiles (MS) : la figure ci-dessous montre les sous-systèmes de ce réseau :[4]

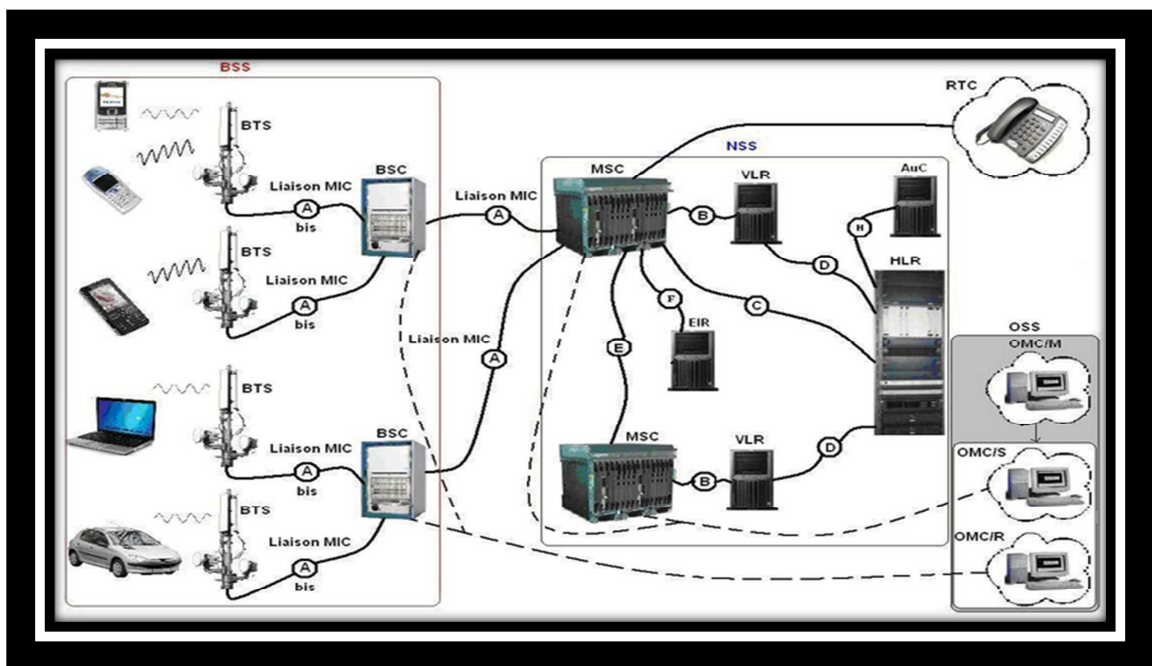


Figure I.3 : Les sous-systèmes du réseau GSM

#### a. Station mobile (MS)

Dans un réseau GSM le terminal de l'utilisateur est appelé MS (station mobile), qui est un élément de base d'un système cellulaire, le MS est l'équipement physique comprend un

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

---

terminal et une carte SIM ( subscriber identifie module)mis à la disposition de l'utilisateur pour établir la parole ou pour changer des messages.

Chaque terminal est identifié par un numéro IMEI (international mobile équipement identity) attribué par le constructeur.

La carte SIM contient le numéro IMSI (international mobile subscriber identity) pour identifier l'utilisateur et permet l'établissement de la communication.

## b. Le sous-système radio BSS

Le sous-système des stations de base (base station subsystem) est la partie radio du réseau de téléphonie mobile GSM, chargée de la connexion entre la station mobile (MS) et la partie communication du réseau GSM vers le MSC.

- **BTS (base transceiver station)** composée d'un élément d'interface avec la station, d'un émetteur/récepteur et d'une antenne. Le domaine de la BTS reste la liaison physique radio.
- **BSC (base subsystemcontroller)** commande jusqu'à une centaine de BTS. L'essentiel des fonctions de contrôle et de surveillance est réalisée par BSC.

## c. Le sous-système réseau NSS

Il assure principalement les fonctions de communication et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCN ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de communication, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

- **MSC (mobile switching center)** : En charge de routage dans le réseau, de l'interconnexion avec les autres réseaux et de la coordination des appels.
- **VLR (visitor location registration)** : Base de données temporaire contenant les informations sur tous utilisateurs (MS) géré par le MSC.
- **HLR (home location register)** : base de données centrale comportant les informations relatives à tout abonné autorisé à utiliser ce réseau mobile.
- **GMSC (gateway MSC)** : passerelles d'accès vers autre réseaux mobile ou fixes.

## d. Le sous-système d'exploitation OSS

Il assure la gestion et la supervision du réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM.

**OMC (operation and maintenance centre)** : Il est chargé de mettre en place et de veiller au bon fonctionnement des différents éléments du réseau, et on distingue :

- **OMC/R (radio)** : est relié à toutes les entités du BSS à travers les BSC.
- **OMC/S (system)** : est relié au sous-système NSS à travers les MSC.
- **OMC/M (maintenance)** : contrôle OMC/R et OMC/S.

## I.5.1.2 Les interfaces du réseau GSM

Les interfaces sont des composantes importantes du réseau car elles assurent le dialogue entre les équipements et permettent leur interfonctionnement.

Le réseau GSM comporte essentiellement trois interfaces :

- **Interface Um**

C'est l'interface entre le MS et BSS. On la nomme couramment (interface radio) ou bien (interface air), et c'est la plus importante du réseau.

- **Interface Abis**

C'est l'interface entre les deux composants du sous-système BSS : la BTS et le BSC.

- **Interface A**

Elle est définie entre les deux sous-systèmes BSS et le NSS.

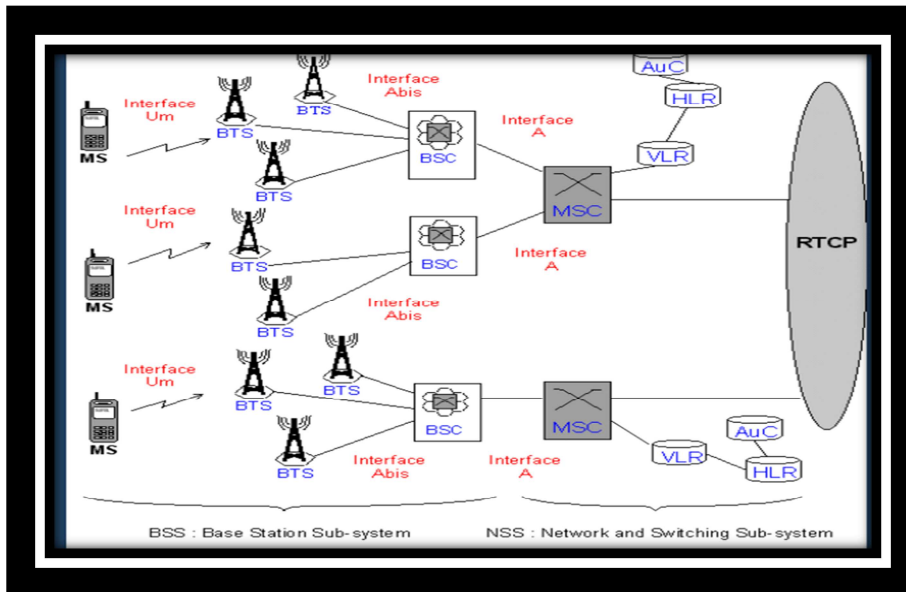


Figure I.4 : Les différentes interfaces d'un réseau GSM

### I.5.1.3 La modulation utilisée dans le réseau GSM [1]

La modulation MSK (Minimum Shift Keying) est une modulation par saut de fréquence à phase continue. La continuité de phase permet de limiter l'occupation spectrale du signal modulé. A chaque élément binaire est associée une fréquence  $f_i$  :  $f_i = f_0 \pm 1/4T$  où  $f_0$  est la fréquence centrale du signal modulé et  $T$  le rythme de l'élément binaire.

Cette dernière présente la particularité d'utiliser des fréquences  $f_i$  et  $f_0$  orthogonales, ce qui permet d'obtenir de meilleures performances lors de la démodulation. Pour obtenir des fréquences orthogonales, il faut que l'écart  $(f_i - f_0)$  soit un multiple de  $1/2T$ . L'indice de modulation est le produit  $2 \cdot (f_i - f_0) \cdot T$ . pour la modulation MSK, l'indice de modulation est égale à 0.5.

La modulation GMSK (GaussianMSK) est une modulation MSK à laquelle il a été rajouté sur la suite d'éléments binaire un filtre gaussien. Ce filtre passe bas est caractérisé par une bande passante  $B$ , où  $B$  étant la fréquence de coupure à 3 dB. On caractérise ce filtre par le produit  $BT$ . Pour le réseau GSM, le produit  $BT$  est égal à 0.3.

### I.5.1.4 Le multiplexage temporel TDMA

En GSM, l'accès radio s'appuie sur la F-TDMA. Sur plusieurs bandes de fréquences se trouve une trame TDMA. Pour augmenter la diversité fréquentielle, il est possible de mettre en

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

œuvre le saut de fréquence. Dans ce cas, chaque trame TDMA est transmise à une fréquence différente de la précédente, le jeu de fréquences utilisé étant connu à la fois de l'émetteur et du récepteur, et les trames TDMA se partagent les bandes de fréquences disponibles. Les voies montantes (du mobile vers la station de base) et descendantes (de la station de base vers le mobile) sont séparées en fréquences, c'est ce qu'on appelle l'écart duplex.

L'accès TDMA est assuré par la découpe temporelle d'un canal de 200 kHz en huit intervalles de temps élémentaires appelés slots, numérotés de 0 à 7. La période d'un slot est de 577  $\mu$ s et celle de la trame de 4.615 ms. Le débit binaire sur cette trame est environ 270 Kbit/s grâce à une modulation non linéaire, la GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Les voies montantes et descendantes utilisent une structure TDMA identique mais avec un décalage temporel de trois slots. Cela évite qu'un mobile reçoive et transmette en même temps, ce qui serait techniquement réalisable, mais au prix de terminaux plus onéreux.

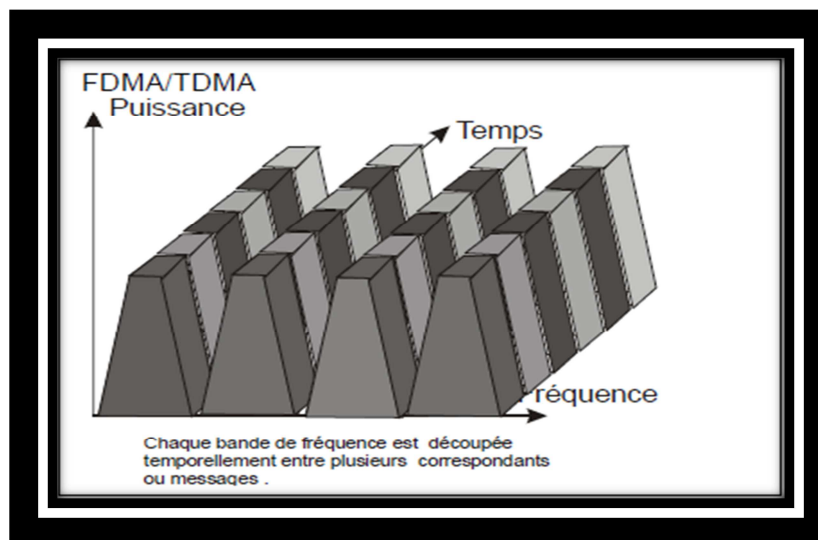


Figure I.5 : Multiplexage temporel

## I.5.1.5 Handover

Le handover ou transfert intercellulaire est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires (GSM, CDMA, UMTS ou LTE par exemple). Le handover désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile (dénommés station mobile MS en GSM) change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données. Ce mécanisme peut être complété par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours.[5]

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

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

## I.5.2 Le réseau GPRS ( GeneralPacketRadio Service)

Le réseau GPRS vient d'ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant, ainsi son but est de conserver l'ensemble des modules de l'architecture GSM en utilisant le mode de transmission par « paquets », cette méthode est plus adaptée à la transmission des données. En effet, les ressources ne sont allouées que lorsque les données sont échangées, contrairement au mode « circuit » en GSM où un circuit est établi et les ressources associées pour toute la durée de la communication.

### I.5.2.1 L'architecture du réseau GPRS

La figure ci-dessous présente l'architecture du réseau GPRS : [6]

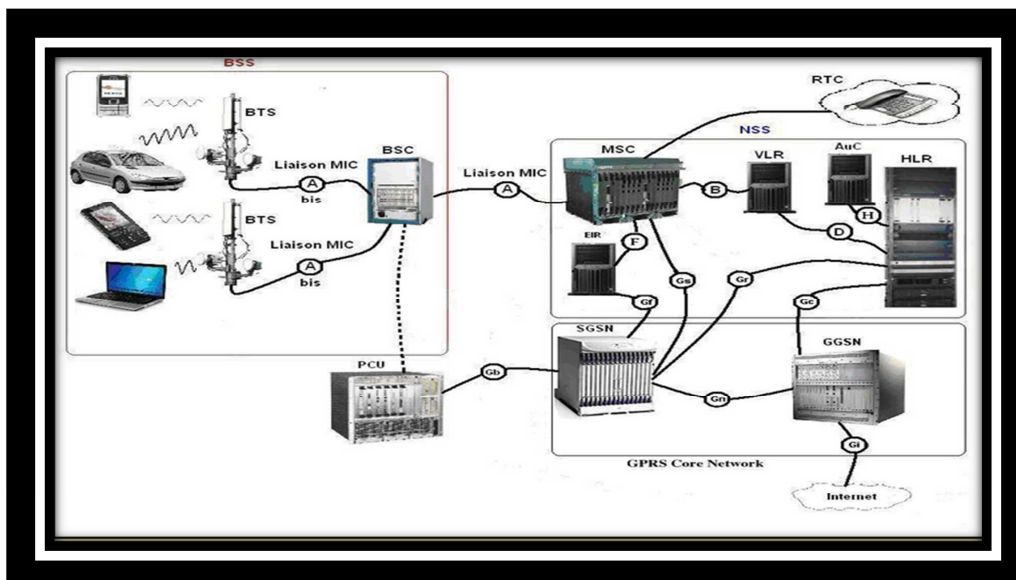


Figure I.6 : Architecture du réseau GPRS

## Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

- a) **SGSN ( Serving GPRS Support Node )** : routeur permettant de gérer les coordonnées des terminaux de la zone et de réaliser l'interface de transit des paquets avec la passerelle GGSN.
- b) **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** : passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le GGSN est notamment chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion.
- c) **PCU (PacketControl Unit)** : est un composant introduit dans le BSS pour assurer l'attribution des ressources radioélectrique au mobile.

### I.5.2.2 Codage dans le réseau GPRS

Le standard GPRS définit quatre schémas de codage de canal, nommés CS-1, CS-2, CS-3 et CS-4. Chaque schéma définit le niveau de protection des paquets contre les interférences, afin d'être en mesure de dégrader le signal selon la distance des terminaux mobiles avec les stations de bases. [6]

Plus la protection est grande plus le débit est faible.

Schéma de codage	débit	Débit utilisable	protection
CS-1	9.05 Kbits/s	6.8 Kbits/s	Normal (signalisation)
CS-2	13.4 Kbits/s	10.4 Kbits/s	Légèrement inférieure
CS-3	15.6 Kbits/s	11.7 Kbits/s	Réduite
CS-4	21.4 Kbits/s	16.0 Kbits/s	Aucune correction d'erreur

**Tableau I.1 : Les schémas de codage**

Les seuls schémas de codage implantés et utilisés sont CS-1 et CS-2. On ne dépassera pas donc 13.4 Kbits/s par intervalle de temps.

En effet, l'efficacité des différents codages est inversement proportionnelle à leur résistance aux erreurs, les codages CS-3 et CS-4 permettant d'obtenir d'excellents débits utilisables car ils nécessitent des conditions de communication excellentes entre terminal et les stations de base, ce qui est rarement le cas.

### I.5.3 L'évolution EDGE

Le service GPRS permet de considérer le réseau GSM comme un réseau à transmission de données par paquets, compatible avec les réseaux IP et X.25. Les débits instantanés maximaux peuvent théoriquement atteindre 171.2 Kbits/s au niveau radio. Pour augmenter encore les débits offerts, une nouvelle modulation est spécifiée au sein du projet

## Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

Enhanced Data for GSM Evolution, EDGE. En utilisant une modulation 8PSK, il est donc possible de multiplier les débits par trois par rapport au GPRS (qui utilise la même modulation GMSK à deux états que le GSM).

La combinaison de l'EDGE et du GPRS, appelée GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), est une proposition " d'accès " au réseau UMTS (Universal Mobile Terrestrial System). La combinaison d'EDGE avec les services circuits classiques du GSM, permet de définir des circuits de données à des débits allant jusqu'à 43.2kbits/s, tout en utilisant un seul canal physique. Combiné au GPRS c'est-à-dire à la fourniture de services de données en mode paquet. EDGE permet là encore d'augmenter sensiblement les débits offerts.[7]

### I.5.3.1 La modulation utilisée dans EDGE

La modulation utilisée dans les réseaux EDGE est de type 8-PSK. La porteuse radioélectrique transmise à 8 états de phase, chaque état de phase un symbole représentant un triple du signal binaire à émettre. Le débit des symboles en 8-PSK à la même valeur que le débit binaire en GMSK, soit 270.833 kilo symboles environ par seconde. Le débit binaire du signal 8-PSK est donc égal à 812.5Kbits/s. [8]

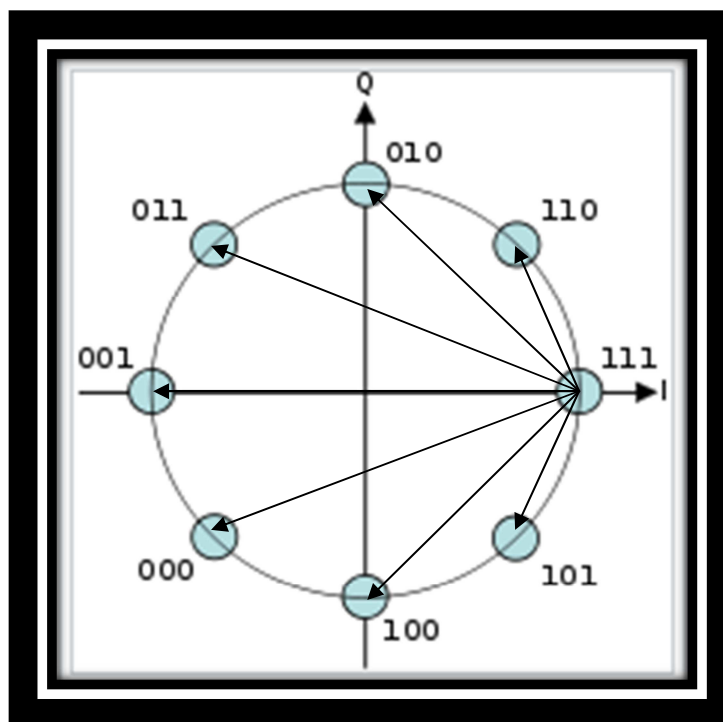


Figure I.7 : Transitions possibles pour un état de phase modulation 8-PSK

## I.6 Les réseaux mobiles de troisième génération

La troisième génération des réseaux mobiles nommé (3G), regroupe deux familles de technologie ayant connu un succès commercial : UMTS (Universal Mobile Télécommunication System), celle-ci étant utilisée dans un très grand nombre de pays, et CDMA2000, qui existe notamment au États-Unis. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par des codes (CDMA). Ces technologies permettent des débits beaucoup plus rapide que ceux de la génération précédents, elle permet aussi des usages multimédia tel que la transmission de vidéos, la TV mobile et la visiophonie du l'accès à internet haut débit.

En quelques années, des extensions ont été mises au point afin d'améliorer les débits proposés. On observe notamment trois sous technologie de 3G : [9]

- **Le HSPA (High Speed Packet Access)** parfois appelé génération 3.5G, qui se caractérise par une évolution de l'UMTS pour un débit maximum théorique de 14.4 Kbits/s et pratique d'environ 3.6 Mbits/s
- **HSPA+ (High Speed Packet Access +)** parfois appelé 3.75G, qui se caractérise par un débit maximum théorique de 21 Mbits/s et pratique de 5Mbits/s.
- **DC-HSPA+ (Dual Cell High Speed Packet Access+)** également nommé génération 3.75G, qui se caractérise par un débit maximum théorique de 42 Kbits/s et pratique de 10 Mbits/s.

Dans ce qui suit, nous nous concentrons sur l'UMTS, car c'est cette famille de technologie qui va donner naissance au LTE.

### I.6.1 Le réseau UMTS (Universal Mobile Télécommunication System)

L'UMTS est un réseau mobile de troisième génération capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur en termes de services à valeur ajoutée, tels que l'accès internet à haut vitesse, le téléchargement des fichiers (audio et vidéo).

L'UMTS se base principalement sur la technique d'accès multiple large bande WCDMA. Les systèmes universel UMTS à été choisi dans le but de faire une distinction avec les



# Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

revanche, de nombreuses fonctionnalités du NSS et de GSS proviennent des réseaux GSM et GPRS. Le réseau d'accès radio est constitué de deux éléments suivants :

- 1) **RNC (Radio Network Controller)** : il assure des fonctions semblables à celles du BSC (Base Station Controller) des réseaux GSM et GPRS. Il gère les ressources radioélectriques de la zone dont il a le contrôle.
- 2) **Node B** : Il effectue des fonctions semblables à celles de la BTS (Base Transceiver Station) des réseaux GSM et GPRS. Il assure l'interface radioélectrique (Uu) avec le mobile et se raccorde au RNC sur l'interface (Iub).

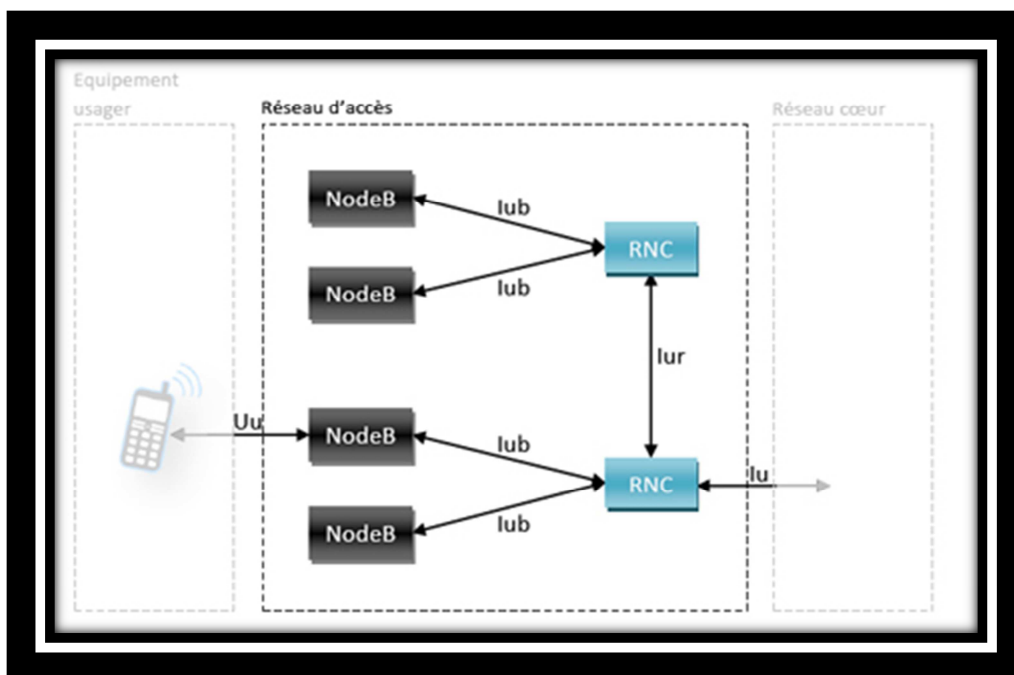


Figure I.9 : Architecture du réseau d'accès UTRAN

## I.6.1.2 Les interfaces du réseau UMTS

Dans le réseau UMTS elles existent plusieurs interfaces qui assurent le fonctionnement entre les différents éléments du réseau d'accès UTRAN et les sous-systèmes du cœur de réseau UMTS.

- **L'interface Iu**

L'interface Iu relie d'un part le RNC et d'autre part le MSC pour le mode circuit (Iu-cs) et le SGSN pour le mode paquet (Iu-ps).

- **L'interface lub**

L'interface lub est entre un Node B et le RNC. Elle présente un plan de contrôle de communication.

- **L'interface lur**

L'interface lur support la mobilité inter-RNC et le soft handover entre Node B connectés à différents RNCs.

- **L'interface Uu**

L'interface Uu est une interface air (radio) qui relie le mobile à l'antenne qui est la Node B.

### **I.6.1.3 La technologie W-CDMA**

L'interface radio de l'UMTS se base sur le W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Cependant, le W-CDMA se base sur une technique plus ancienne qui est le CDMA (Code Division Multiple Access). Afin de comprendre les concepts du W-CDMA, il est important de comprendre la technique du CDMA. [12]

#### **CDMA**

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est utilisé dans de nombreux systèmes de communication. Il permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même onde porteuse. Les transmissions sont numérisées, dites à étalement de spectre. L'étalement du spectre rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquence. Le signal est ainsi transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire.

#### **W-CDMA**

Le W-CDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe (Direct Sequence). Pour cela, chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (OU exclusif) par un code pseudo aléatoire PN (Pseudo random Noise code) propre à cet utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour cet utilisateur, et constitue la clé de codage. Cette dernière est conservée si le symbole de

## Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

donnée est égal à 1, sinon elle est inversée. La longueur  $L$  du code est appelée facteur d'étalement SF (Spreading Factor). Si chacun des symboles a une durée  $T_b$ , on a 1 chip toutes les  $T_b/N$  secondes. Le nouveau signal modulé a un débit  $N$  fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences  $N$  fois plus étendue.

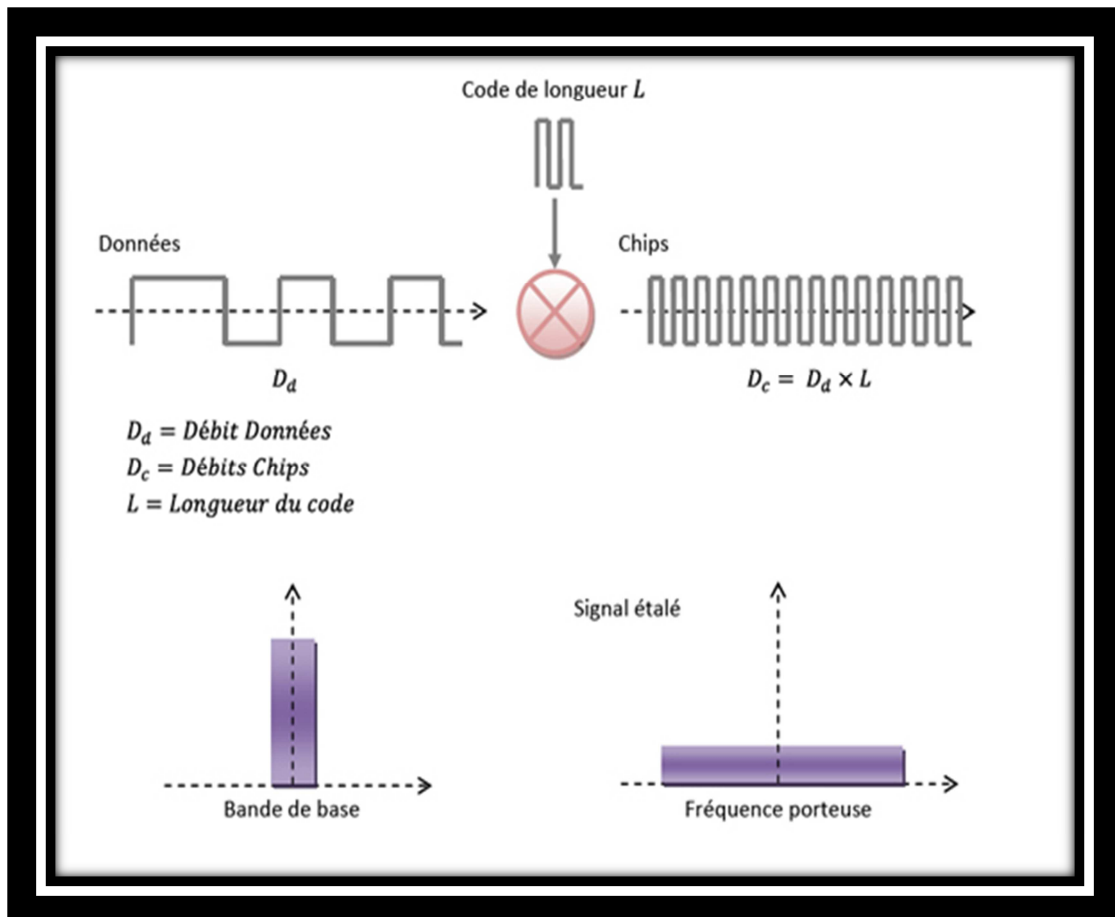
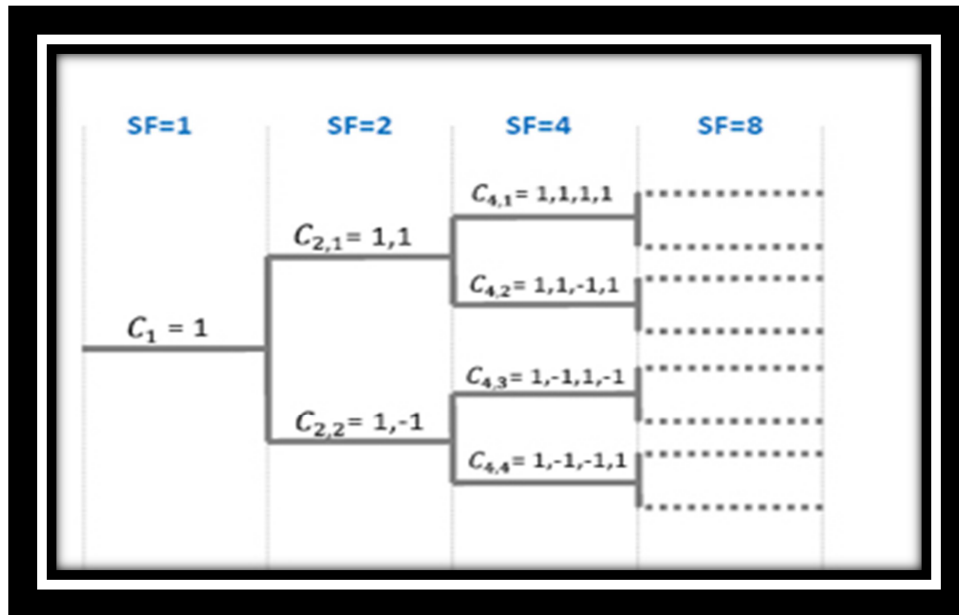


Figure I.10 : Principe de l'étalement de spectre

### I.6.1.4 L'arbre des codes dans le réseau UMTS

Chaque utilisateur possède un code, il est donc nécessaire de n'avoir aucune interférence entre ceux-ci. Pour cela, nous utilisons des codes orthogonaux dits codes OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor Code) afin de modifier le facteur d'étalement et de conserver l'orthogonalité des différents codes d'étalement. Ces codes sont définis par un arbre OVVSF où chaque nœud possède 2 fils. Les codes des 2 fils sont issus du code de leur père commun, c'est-à-dire que leur code est composé par le code du père et de son complémentaire. [13]



**Figure I .11 : L'arbre des codes OVFS**

L'arbre ci-dessus, nous montre la relation entre le facteur d'étalement et le nombre de codes disponibles pour un étalement donné. Il est important de savoir que le facteur d'étalement SF détermine la longueur du code. Le nombre de bits dans les trames des canaux dédiés pour le transfert des données se trouve par l'intermédiaire de la relation suivante :

$$SF=256/2^k$$

avec  $0 \leq k \leq 6$

Comme k est compris entre 0 et 6, les valeurs du facteur d'étalement SF peut être égal à 7 valeurs.

	0	1	2	3	4	5	6
SF	256	128	64	32	16	8	4

**Tableau I.2 : Les différentes valeurs du facteur d'étalement**

Dans un tel arbre, il n'est possible d'utiliser tous les codes OVFS simultanément. Comme nous l'avons vu, le code de chaque nœud est déterminé en fonction du code du nœud père. Cela implique donc que pour une branche, les codes ont une relation entre eux, ce qui empêche l'utilisation d'autres codes lorsque l'un d'entre eux est utilisé.

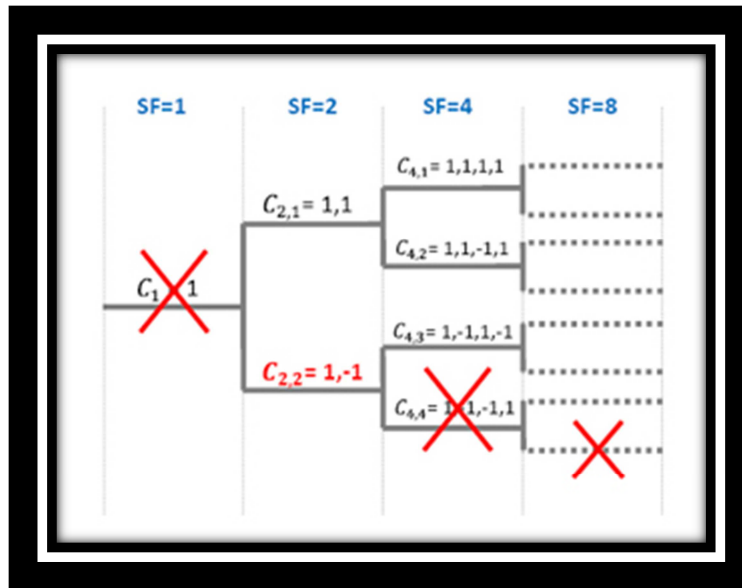


Figure I.12 : Utilisation des codes OVSF

La figure ci-dessus nous indique que le code est utilisé, ce qui empêche tous les autres codes de la même branche d'être utilisés. Cette règle impose une contrainte forte sur les disponibilités des canaux pour le haut-débit, ce qui implique que le nombre d'utilisateurs simultanés en téléchargement de données est limité.

## I.6.1.5 Multiplexage

Le W-CDMA propose deux types de multiplexage : le FDD (Frequency Division Duplex) et le TDD (Time Division Duplex).

- **Le multiplexage de type FDD** utilise une bande passante de 5 Mhz pour le débit descendant, et une bande passante de 5 Mhz pour le débit montant. Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires.
- **Le multiplexage de type TDD** n'utilise qu'une seule bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) utilisables aussi bien pour le débit montant que pour le débit descendant. Elle comprend donc une composante TDMA (Time Division Multiple Access) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits de services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

## I.6.1.6 Soft handover

Le soft handover a lieu lorsque le canal de la cellule source est maintenu pendant un certain laps de temps pendant que la liaison avec la cellule cible est engagée. Dans ce cas, la connexion avec la cellule cible est établie avant la rupture du lien avec la cellule source. Ce type de handover est utilisé dans les réseaux 3G UMTS grâce au code de brouillage (le « C » de W-CDMA) qui permet d'identifier et de recevoir simultanément depuis plusieurs cellules radio. [5]

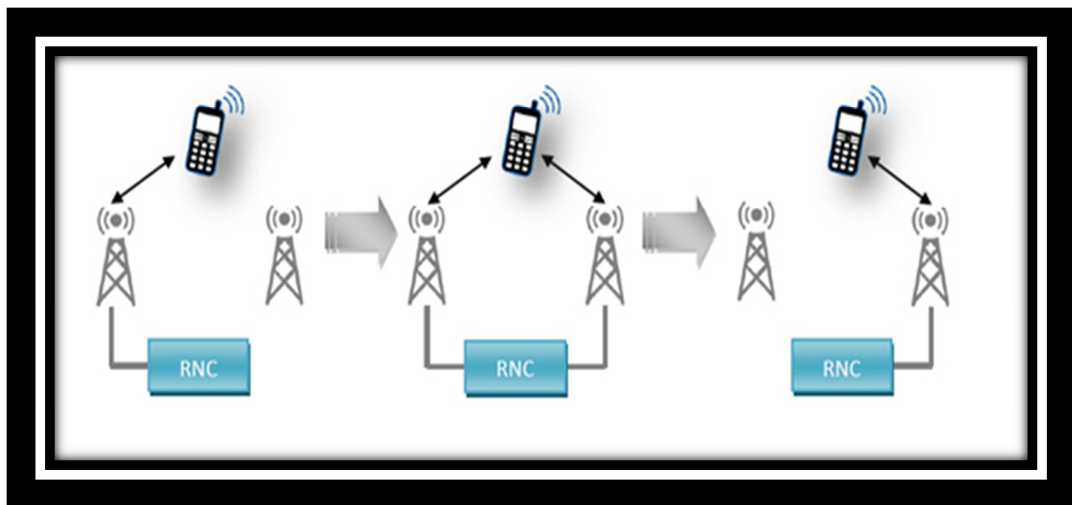


Figure I.13 : Exemple de soft handover

## I.7 Les réseaux mobiles de quatrième génération (LTE)

La norme LTE (Long Term Evolution), permet le « très haut débit mobile », c'est-à-dire des transmissions de données à des débits théoriques supérieurs à 100 Mbit/s. en pratique les débits sont de l'ordre de quelques dizaines de Mbit/s selon le nombre d'utilisateurs, puisque la bande passante est partagée entre les terminaux actifs des utilisateurs présents dans une même cellule radio.

Une des particularités de la 4G est d'avoir un « cœur de réseau » basé sur IP et de ne plus offrir de mode commuté (établissement d'un circuit pour transmettre un appel « voix »), ce qui signifie que les communications téléphoniques utilisent la voix sur IP (en mode paquet VoIP « Voice Over IP »).

Avec la 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. Ca facilite aussi le développement d'applications

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

---

multimédias. Cette technologie permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.[14]

## **I.8 Discussions**

Durant ce chapitre, nous avons présenté l'évolution des réseaux de téléphonie mobiles de la 1ère génération jusqu'à la 3ème génération, en décrivant les différentes techniques et les différents modules utilisés.

Le haut débit et le temps de latence minimal ont nécessité l'apparition d'une nouvelle norme de réseaux mobile qui est la 4G LTE, ce qui fera l'objet de notre prochain chapitre.

# **Chapitre II**

## **Description de la 4G/LTE**

### II.1 Préambule

La 4G permet d'avoir des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latences plus courts. Dans ce chapitre, on va détailler sur le réseau LTE avec son évolution, ses caractéristiques, son architecture ainsi que les technologies qui y sont intégrées comme l'OFDMA, MIMO, et le HARQ...

### II.2 Le réseau LTE (Long Term Evolution)

LTE (Long Term Evolution) est une évolution des normes de téléphonies mobiles GSM/EDGE, CDMA2000, TD-SCDMA et UMTS. La norme LTE définie par l'organisme de standardisation 3GPP (3rd génération partnership Project).

La 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 Multiple Access) pour le sens montant, et la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output) pour l'émission-réception. Les largeurs de la bande de cette norme peuvent s'étendre de 1.25 à 20 Mhz en liaison montante comme en liaison descendant ce qui permet à un operateur d'adapter cette technologie aux bandes de fréquence qu'il possède. [14]

### II.3 Le but de la 4G (LTE)

Le but de LTE consiste à une amélioration de l'efficacité spectrale qui permet le transfert des données haut débit.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de la 4G LTE sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Souplesse d'utilisation des bandes de fréquences existantes et nouvelles.
- Architecture simplifié, interfaces ouvertes.
- Minimiser le cout de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.

### II.4 Les caractéristiques fondamentales de la 4 G [15]

#### II.4.1 Débit

L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz.

#### II.4.2 Latence

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système. On distingue deux types de latences qui sont :

- La latence du plan de contrôle, représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service.
- La latence du plan usager, représente le délai de transmission d'un paquet au sein du réseau une fois la connexion établie. La LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

#### II.4.3 L'agilité en fréquence :

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz.

#### II.4.4 Mobilité :

Assuré à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le Handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.

### II.5 Architecture du réseau LTE

Comme tous les réseaux pour mobiles, celui de la 4G LTE se compose de trois parties comme le montre la figure II.1 : [16]

- User Equipement.
- Un réseau d'accès l'EUTRAN.
- Un réseau cœur réseau tout IP.

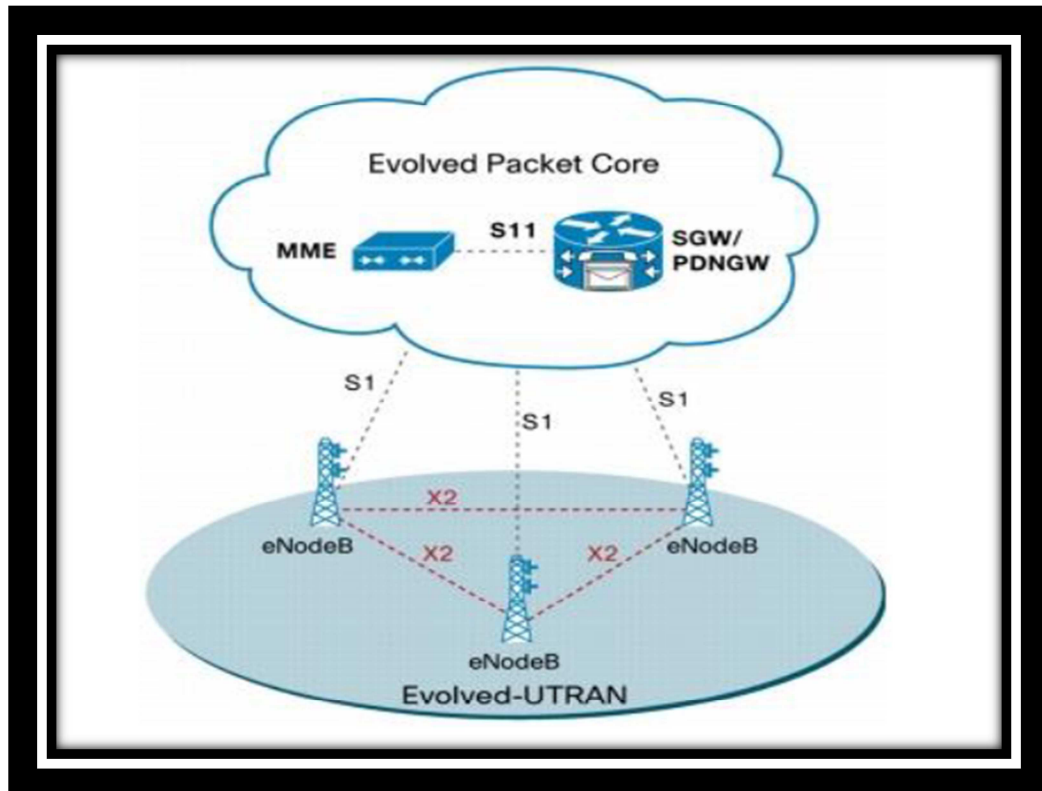


Figure II.1 : Architecture de LTE.

#### II.5.1 User Equipement

Il s'agit de l'équipement terminal (laptop, Smartphone, tablette...), doivent être compatible au réseau 4G, qui permet un débit théorique de 100 Mbits/s. pour en bénéficier, l'équipement (UE) doit donc offrir un débit de cette capacité.

#### II.5.2 L'accès radio eUTRAN

Il ne contient que des eNodeB qui assurent l'échange radio avec l'E-UTRAN. Les fonctions de contrôle du contrôleur BSC en 2G ou RNC en 3G ont été intégrés dans l'eNodeB

ce qui leur permet notamment de communiquer directement entre station de base par leur biais de l'interface X2.

### II.5.2.1 eNode B

L'eNode B est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN de la 3G au sont présentes les entités NodeB et RNC, l'architecture E-UTRAN ne présent que des eNode B. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNode B et les entités du réseau cœur MME/Serving GW.

Les eNode B offre deux qualités au réseau :

- **La sécurité** : Si un relais perd son lien avec le cœur de réseau, il peut toujours utiliser l'un des liens restant.
- **Le partage de ressources équitables** : Si le lien principal est saturé, la station peut en utilisé un autre pour continuer à servir ses utilisateurs dans un temps raisonnable.

**a. Interface S1** : c'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires :

- **S1-U (S1 usager)** : entre l'eNodeB et SGW.
- **S1-C (S1 contrôle)** : entre l'eNodeB et MME.

**b. Interface X1** :c'est une interface logique, elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeB d'échanger des informations de signalisation durant le handover ou la signalisation sans faire intervenir le réseau cœur.

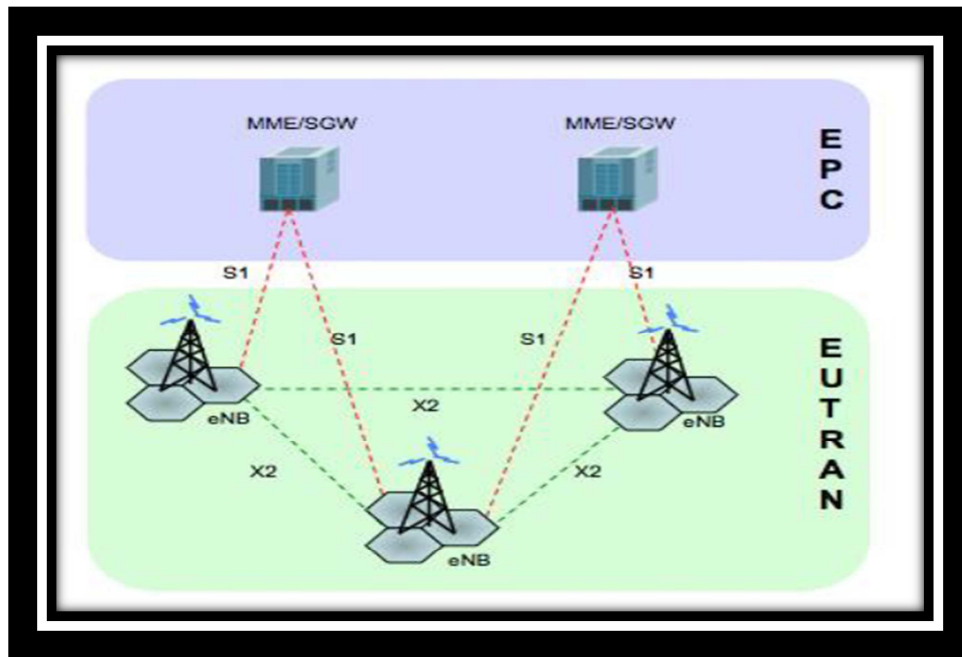


Figure II.2 : Architecture E-UTRAN.

### II.5.3 Le cœur de réseau EPC (Evolved Packet Core)

L'EPC utilise des technologies « full IP », il n'est donc « qu'un gros tuyau IP ». C'est un réseau « plat », dans lequel tous les équipements IP communiquent directement entre eux sans avoir besoin d'effectuer des allers et retours avec les équipements de niveau supérieur. D'où un gain très sensible de temps de traversée du réseau (latence), ce qui explique le confort de l'affichage des flux temps réel sur les terminaux.

L'EPC comporte cinq blocs fonctionnels suivants :

#### II.5.3.1 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.

### **II.5.3.2 HSS (Home Subscriber Service)**

HSS est une Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations des abonnés voisins, et porte l'appel de control 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.

### **II.5.3.3 PDN-GW (Packet Data Network-GatWay)**

PDN-GW ou bien Packet Gateway (PGW) est un équipement d'un réseau 4G qui participe à l'acheminement des données. Il constitue une porte d'entrée unique entre le réseau IP de l'opérateur et Internet. Il achemine donc les données internet vers le terminal et réciproquement les données du terminal vers Internet. Il assure également quelques fonctions de sécurité. Toutefois, il est connecté aux terminaux mobiles via un ENode B et via un SGW qui constitue en quelque sorte une passerelle régionale.

### **II.5.3.4 S-GW (Serving Gateway)**

S-GW est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur, Serving Gateway (SGW) 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.

### **II.5.3.5 PCRF (Policy and Charging Rules Function)**

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

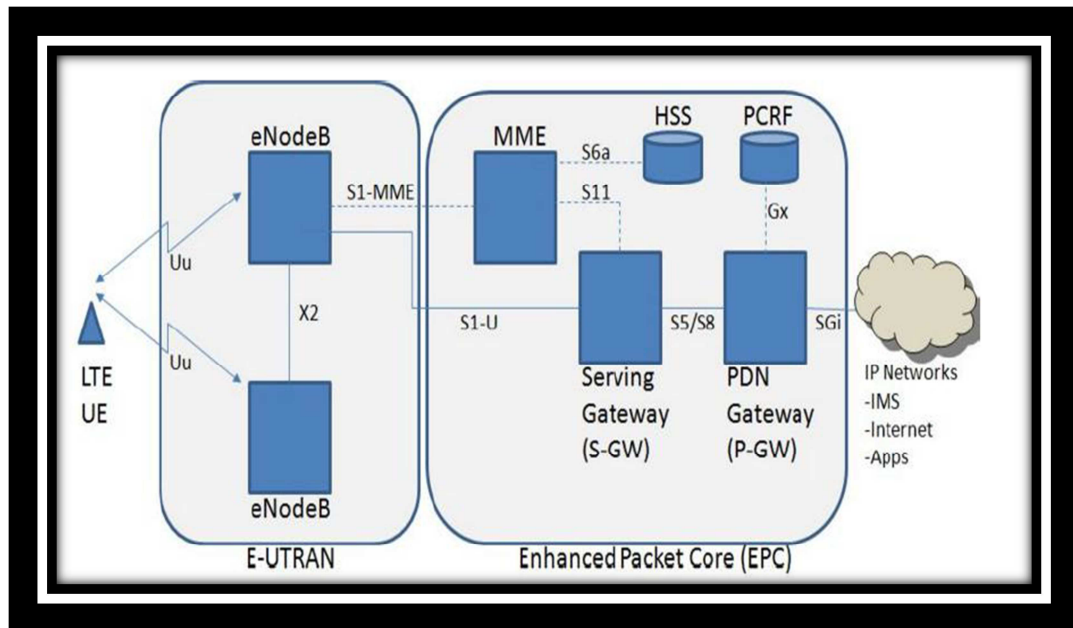


Figure II.3 : Architecture du réseau cœur EPC.

## II.6 Les technologies employées dans le réseau 4G

### II.6.1 La modulation

La modulation utilisée dans le LTE est une modulation adaptative qui varie en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 4QAM, 16-QAM et 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). [17]

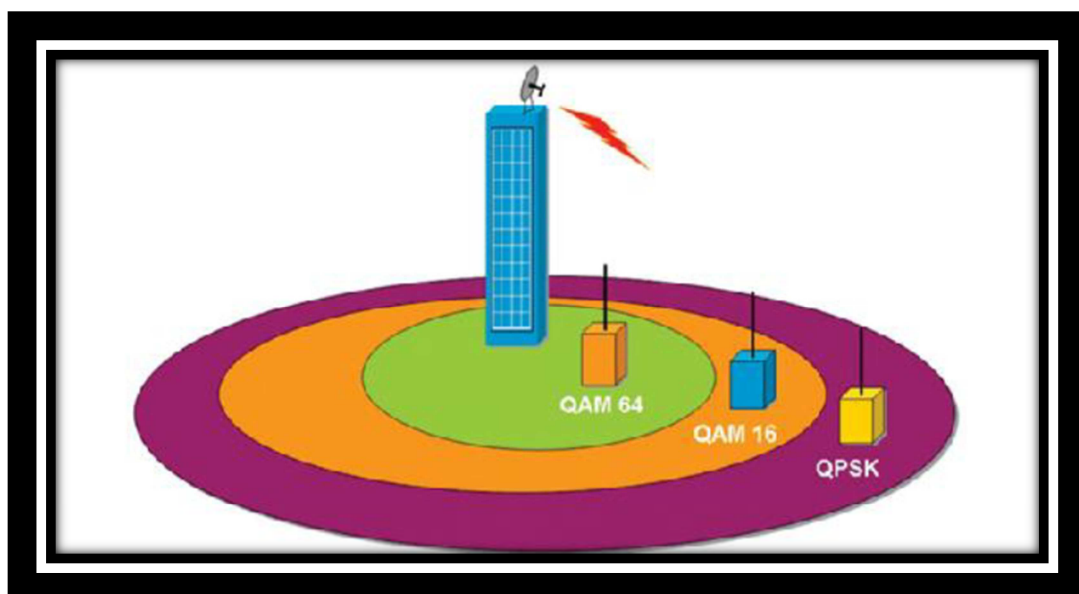


Figure II.4 : Modulation adaptatif.

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

Pour les transmissions DownLink en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Information) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Schema), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil. Le type de modulation pris en charge par LTE est: QPSK, 16QAM, 64QAM (Figure II.5).

Les modulations (64QAM-16QAM) offrent des débits plus élevés et une haute efficacité spectrale. [17]

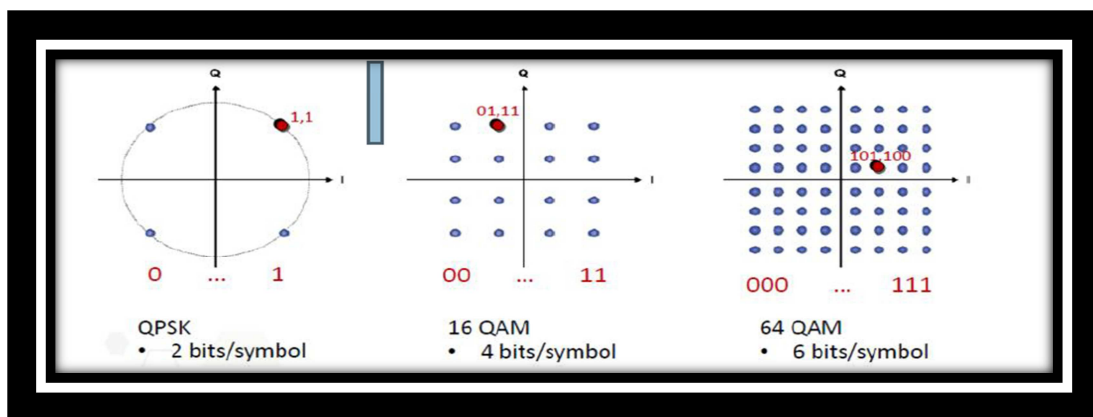


Figure II.5 : Modulation QAM.

### II.6.2 Les techniques d'accès

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

#### II.6.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Le multiplexage OFDM est une technique qui consiste à subdiviser la bande de transmission en N sous canaux, conduisant à une augmentation de la durée symboles. C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide qui permet de diviser le flux de données à transmettre en N sous flux de données parallèles, qui seront transmis sur des sous bandes orthogonales différentes. Cette technique permet d'offrir une grande efficacité au niveau de l'utilisation du spectre et de la puissance grâce à l'utilisation de N sous-porteuse orthogonales et très proche l'une de l'autre. [17]

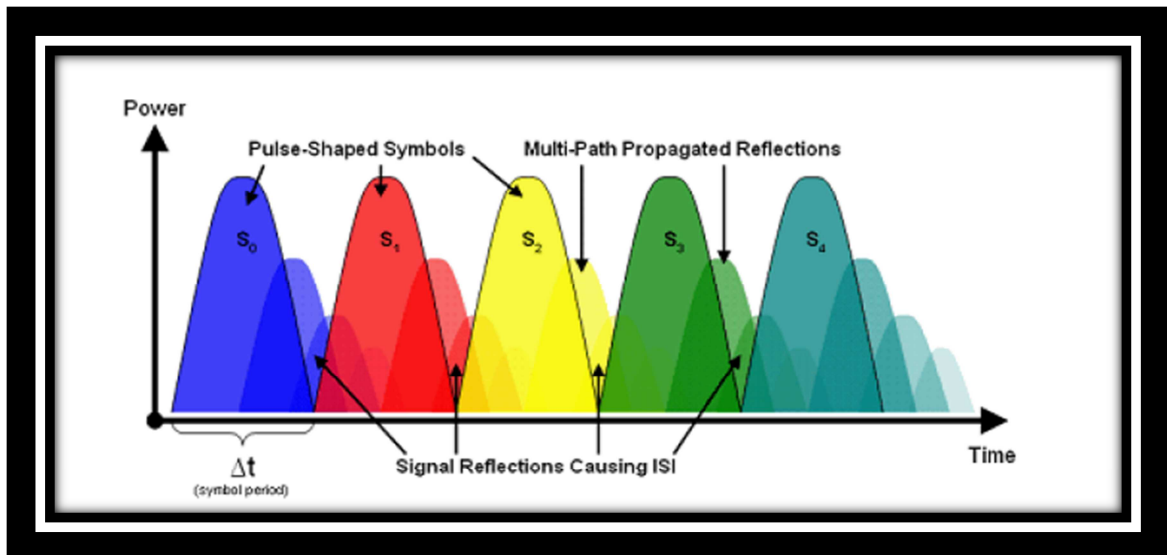


Figure II.6 : Modulation OFDMA.

### II.6.2.2 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)

OFDMA est une technique qui dérive de l'OFDM en utilisant le même principe de division de la bande passante en plusieurs sous-porteuses.

La différence entre l'OFDM et l'OFDMA c'est que la première servira un usager dans un intervalle de temps, par contre OFDMA peut servir plusieurs usagers dans un même intervalle de temps, comme il est montré dans la figure II.7. [17]

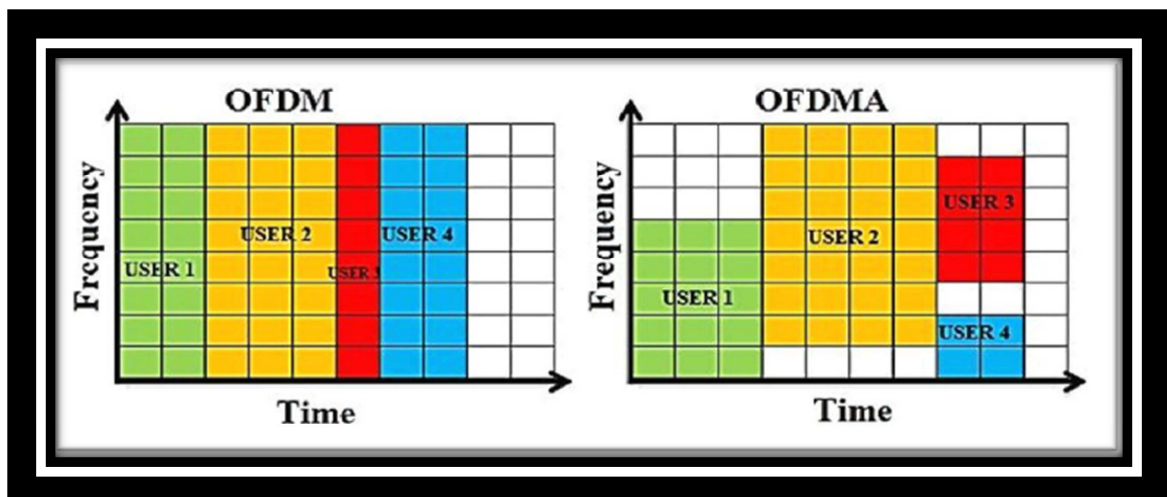


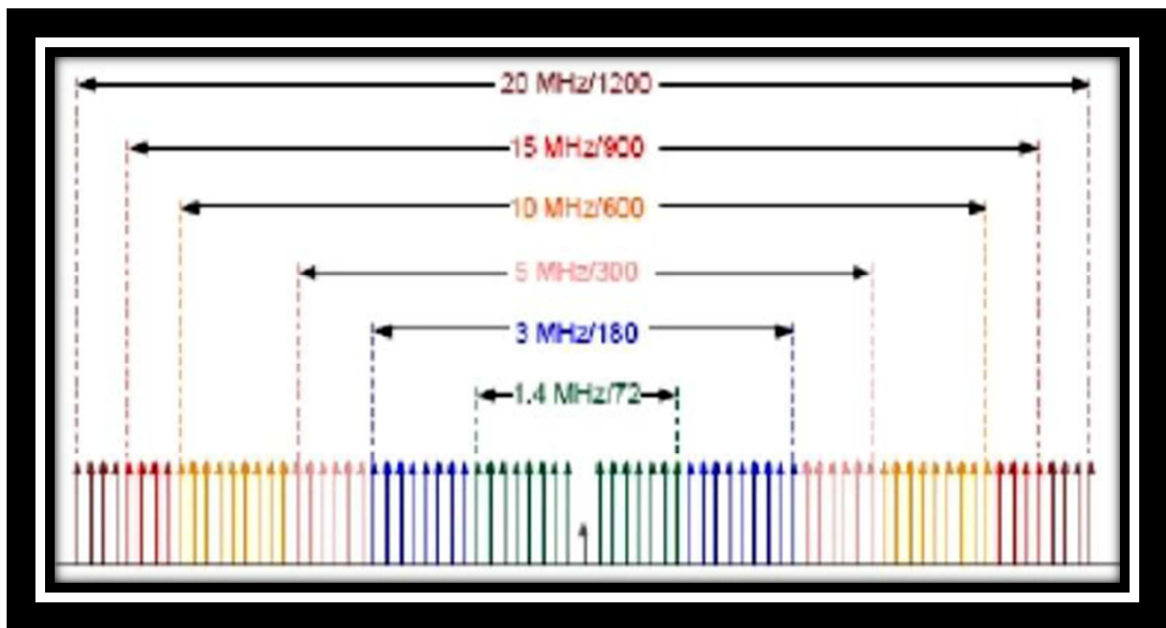
Figure II.7 : Comparaison entre l'OFDM et l'OFDMA.

LTE utilise la technique OFDMA en voie descendante car elle nécessite une alimentation importante de l'amplificateur. Ceci ne pose pas problème pour une station de base fixe, mais cela n'est pas adapté à un émetteur alimenté par une batterie (cas d'un terminal mobile). Pour

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

cela, LTE utilise en voie montante SC-FDMA qui est très similaire à OFDMA, mais plus efficace en consommation d'énergie.

Cette technique d'accès est largement demandée dans les réseaux sans fils à large bande car elle résout le problème de sélectivité en fréquence du canal, en le découpant en sous canaux de largeur inférieure à la bande de cohérence. Ainsi, l'information est transmise via plusieurs sous porteuses orthogonales. Ces sous-porteuses sont générées grâce à l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), et leur nombre total qui dépend de la bande spectrale voir la figure ci-dessous.



**Figure II.8 : Nombre de sous-porteuses pour différentes bandes spectrales.**

L'espacement entre sous porteuses en LTE est fixé à 15 KHz.

### II.6.2.3 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Multiple access)

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs.

Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « DFT » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel. [17]

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

Les points en communs entre l'OFDMA et le SCFDMA

- Une transmission de données en blocs.
- Un multiplexage des données en fréquence dans le cas où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- Une complexité globalement équivalente.

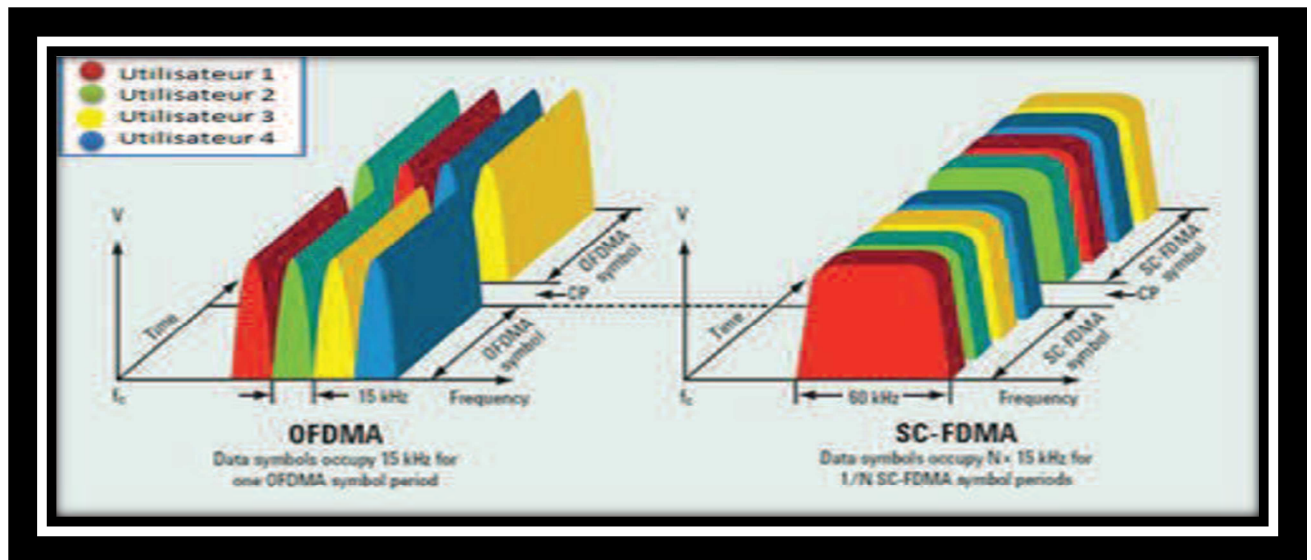


Figure II.9 : La différence entre l'OFDMA et SC-FDMA

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse. [17]

### II.6.2.4 La structure de la trame LTE

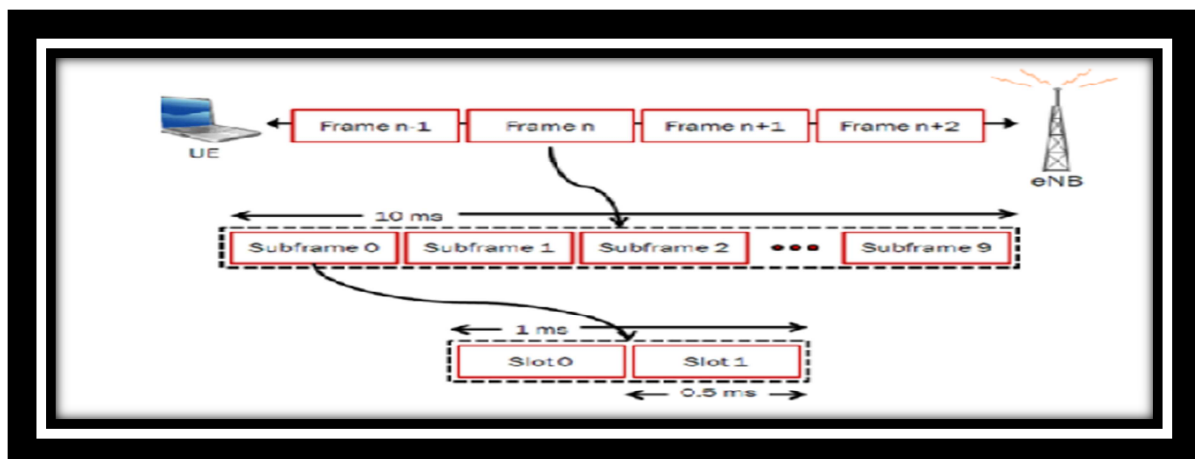


Figure II.10 : Structure de la trame LTE

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

Les trames LTE sont de 10 ms. Ils sont divisés en 10 sous-trames, chaque sous-trame de longueur 1,0 ms. Chaque sous-cadre est divisée en deux slots, chacun de 0,5 ms.

Un duplexage est nécessaire afin d'attribuer les slots d'émissions et de réception.

Il existe deux principaux modes de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE :

- **FDD (Frequency Division Duplex)** : les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde.

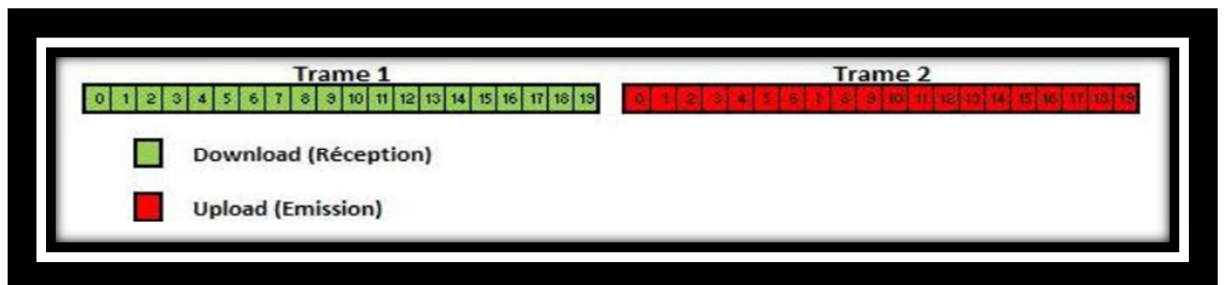


Figure II.11: Duplexage FDD

- **TDD (Time Division Duplex)**: les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage s'effectuant dans le domaine temporel, comme illustré sur la figure suivante. Certains intervalles de temps de transmission sont réservés à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire aux changements de direction de transmission, notamment pour laisser aux équipements le temps de basculer d'émission à réception. En LTE, l'intervalle de temps élémentaire pouvant être dédié à l'un des sens de transmission est appelé la sous-trame.

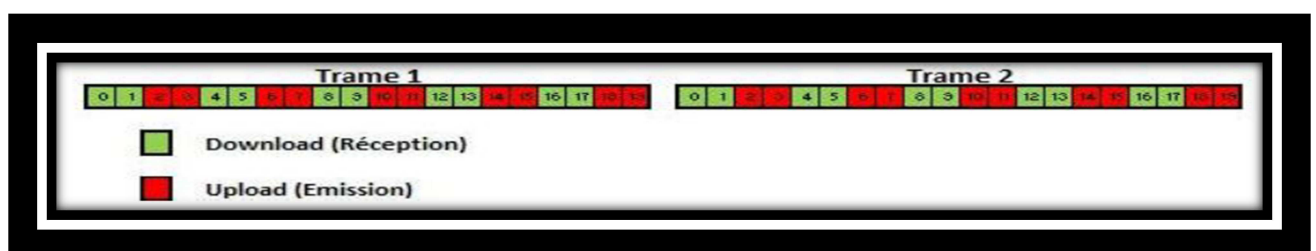
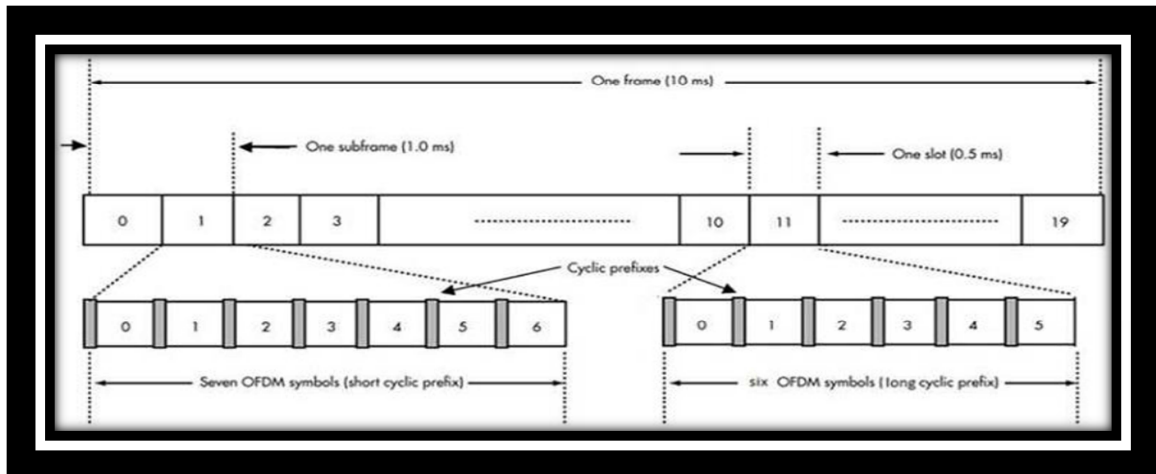


Figure II.12 : Duplexage TDD.

La structure d'un time Slot en LTE peut prendre deux formes selon la taille (short ou long) du cyclique préfixe constituant le symbole OFDM qui est la somme d'un ensemble de sinusoides 'Subcarrier' orthogonales entre elles, portant chacune une information (symbole MQAM). La Structure de la trame détaillée avec la représentation des deux types de time slot présent dans la figure ci-dessous :

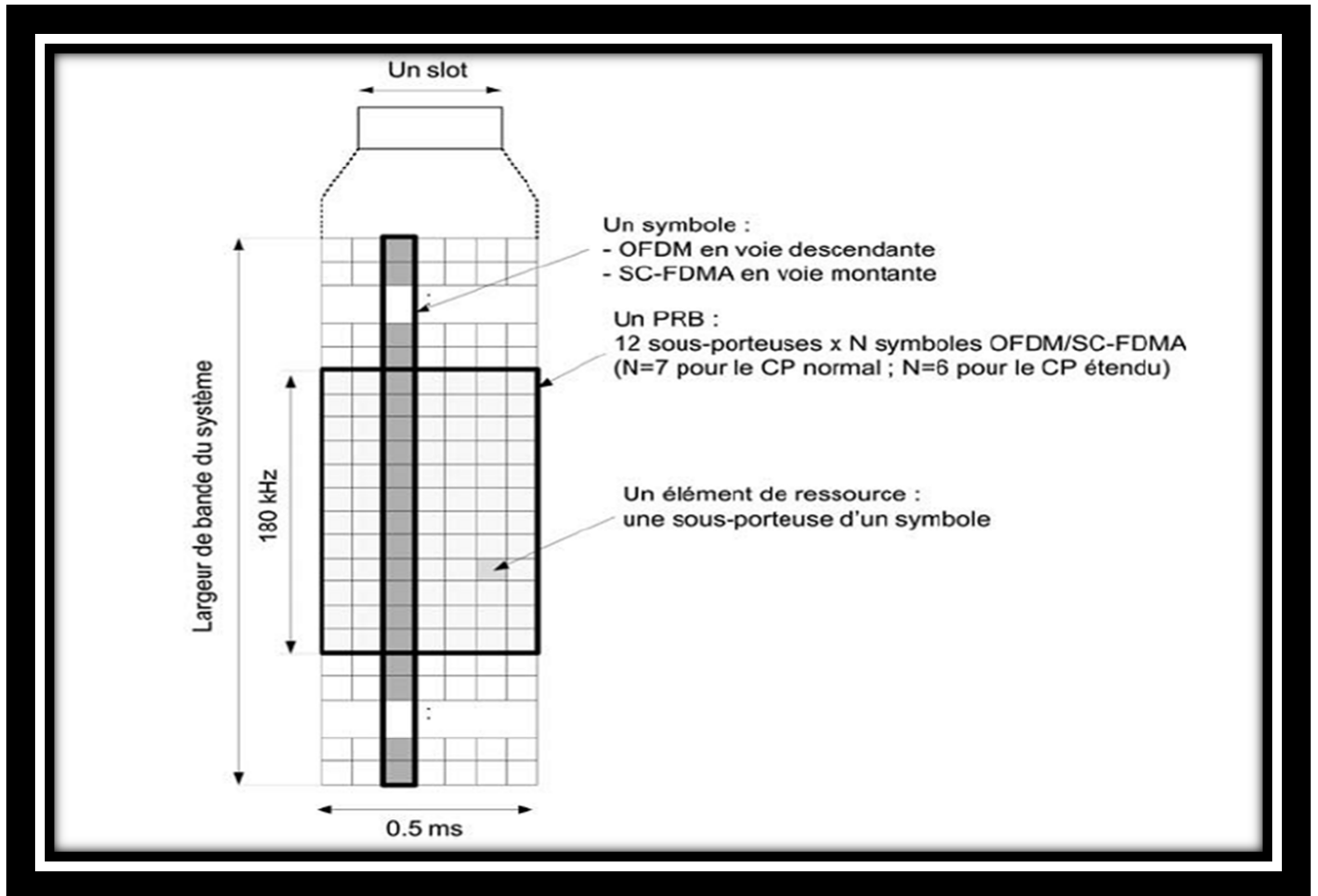


**Figure II.13 : le type du time Slot Selon la taille du Cyclique préfixe constituant le Symbole OFDM**

### II.6.2.5 Bloc de ressources (PRB) et élément ressource (RE)

Bloc de ressources, ou bloc de ressources physiques (Physical Resource Block : PRB), est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE. Un PRB est une grille de petits éléments appelés éléments ressources (Resource Element RE).

Comme c'est indiqué dans la figure ci-dessous, un PRB est constitué en domaine fréquentiel de 12 sous-porteuses, chacune de largeur 15 KHz, en tout 180 KHz, et d'un Time Slot dans le domaine temporel, autrement dit 6 ou 7 symboles selon la taille de PC. Un élément ressource (RE) est formé par une seule sous-porteuse et un seul symbole dans le domaine temporel, d'où il ne peut contenir qu'un seul symbole de modulation (QPSK, 16QAM, 64QAM). Ainsi, un PRB est constitué de 72 éléments ressources dans le cas d'un CP normal, et 84 éléments ressources pour le cas CP étendu. [18]



**Figure II.14 : Bloc de ressources (PRB) et élément ressource (RE).**

On montre dans le tableau ci-dessous le nombre total de PRB qui dépend de la largeur de bande de fréquence, cette bande disponible pour la transmission, elle est inférieure à la largeur de bande du canal, afin de laisser des bandes de garde de part et d'autre pour limiter l'interférence de canal adjacent. [18]

Bande (MHZ)	Nombre de PRB
1.4	6
3.0	15
5.0	30
10.0	50
15.0	75
20.0	100

**Tableau II.1 : Nombre de PRB en fonction de la bande disponible.**

### II.6.2.6 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

C'est une technique qui a pour but l'augmentation du débit et des portées du réseau mobile. Elle consiste à avoir plusieurs antennes cotés émetteur et de même coté récepteur. Si

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

un tel système comporte une seule antenne à l'émission et plusieurs à la réception on l'appelle SIMO et si c'est le cas contraire c'est-à-dire plusieurs à l'émission et une à la réception c'est un système MISO. Et pour le cas d'une antenne à l'émission et à la réception on l'appelle SISO.

Les MIMO (Multiple Input Multiple Output), se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes du côté de l'émetteur et du côté du récepteur (figure 9). La mise en place d'une telle structure permet à LTE d'atteindre des hauts débits et une grande capacité. [17]

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

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

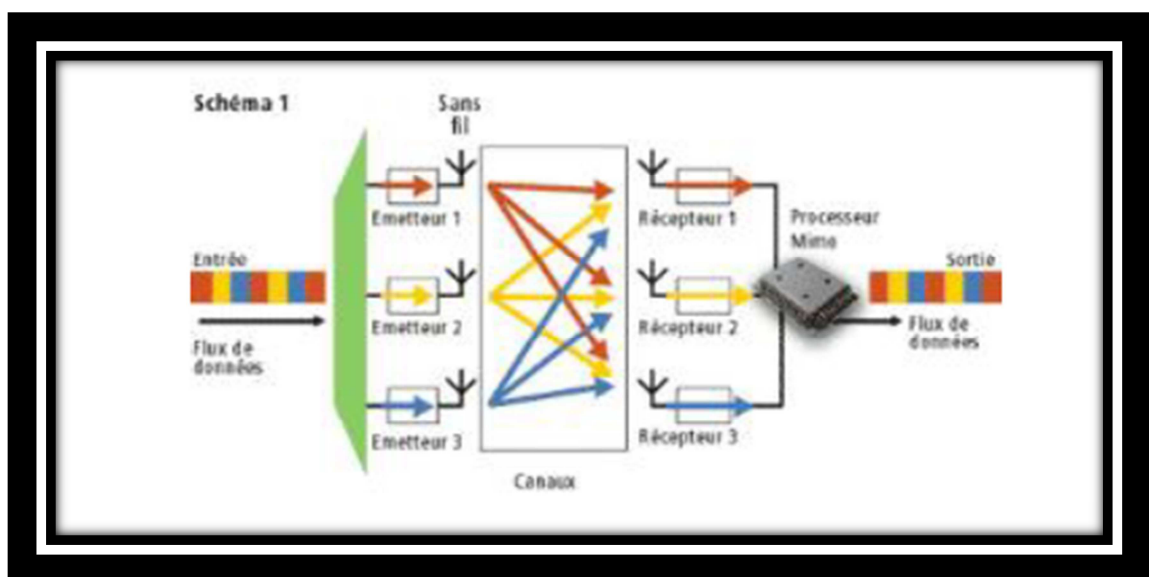


Figure II.15 : La technologie MIMO.

### II.7 Architecture protocolaire

Comme le modèle d'interface d'UMTS, le modèle de LTE se compose d'un ensemble de couches verticales et horizontales. Les couches horizontales sont basées sur le modèle OSI. Les couches verticales divisent l'interface entre le plan de contrôle et le plan utilisateur. La division verticale correspond à la façon de séparer les flux de données. Les données du plan

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

de contrôle sont transmises avec des contraintes de sécurité, de fiabilité plus importantes. Celles du plan utilisateur sont transmises par des protocoles plus simples.[16]

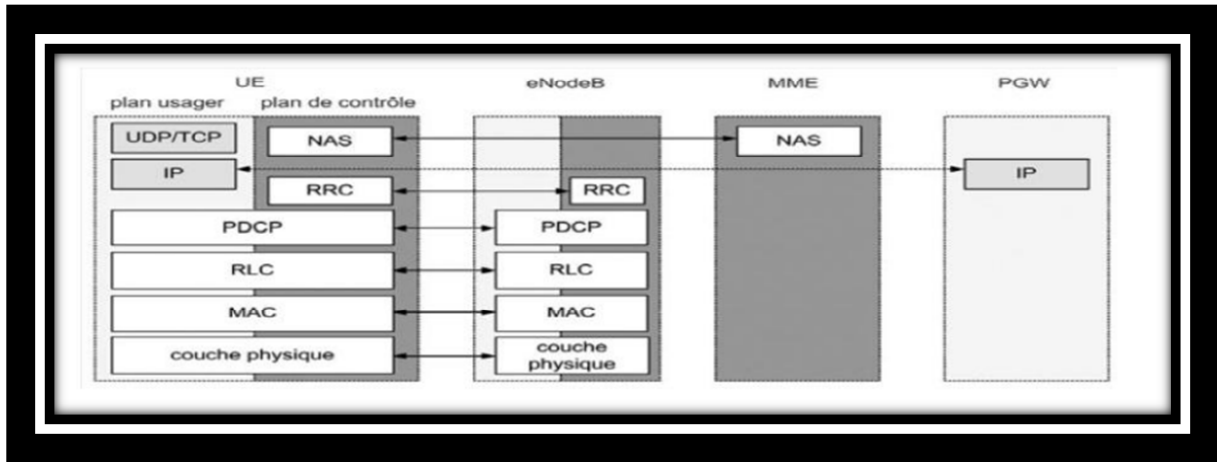


Figure II.16 : La pile protocolaire de LTE plan contrôle et plan usager.

### II.7.1 Plan de contrôle

Le plan de contrôle transmet des messages de signalisation telles que la signalisation de gestion de ressource radio, de gestion de mobilité, des services NAS (Non Access Stratum), des autres procédures entre mobile et réseau cœur.

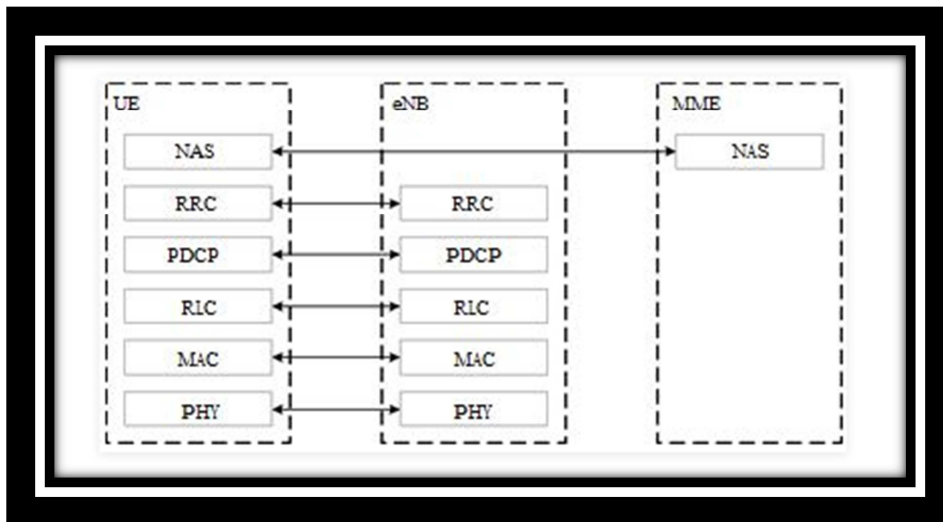


Figure II.17 : Plan de contrôle en couche.

La pile protocolaire à l'interface radio est presque la même que celle du plan utilisateur. Mais les paquets du plan contrôle sont transmis avec la priorité supérieure et une protection radio supérieure grâce à la couche MAC qui transmet des canaux logiques vers les canaux de transport correspondants. [16]

### II.7.2 Plan usager

Le plan usager regroupe l'ensemble des données d'utilisateur et des signaux au niveau application. La figure II.18 présente l'architecture protocolaire du plan utilisateur. La couche d'application n'est présente qu'à l'UE et qu'au serveur d'application basé sur le protocole IP. Les données du plan utilisateur sont transparentes pour le cœur de réseaux.

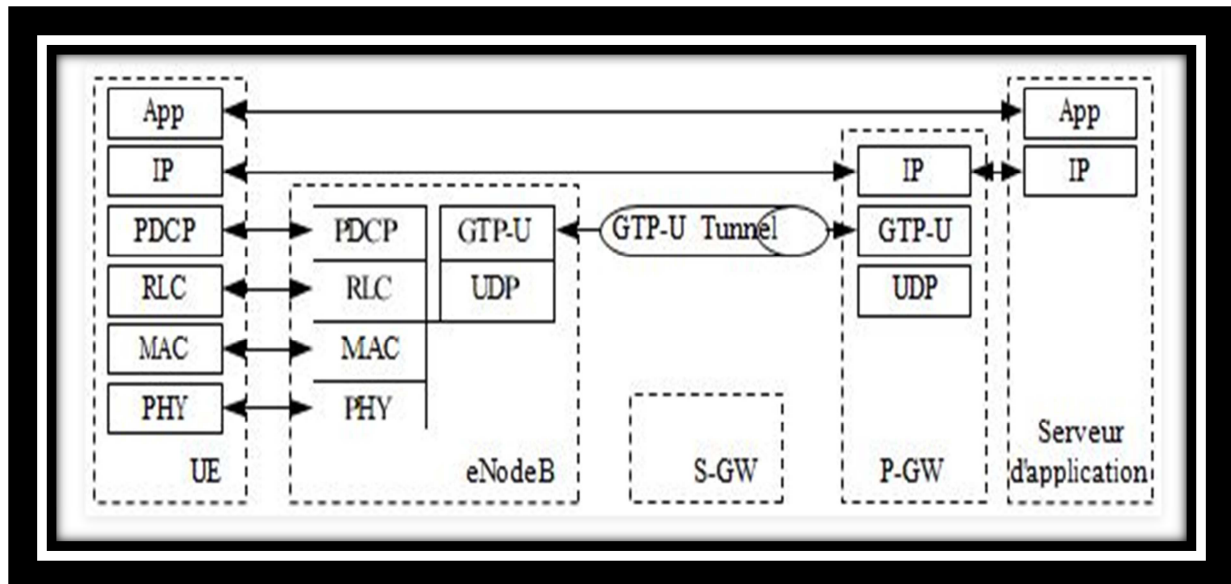
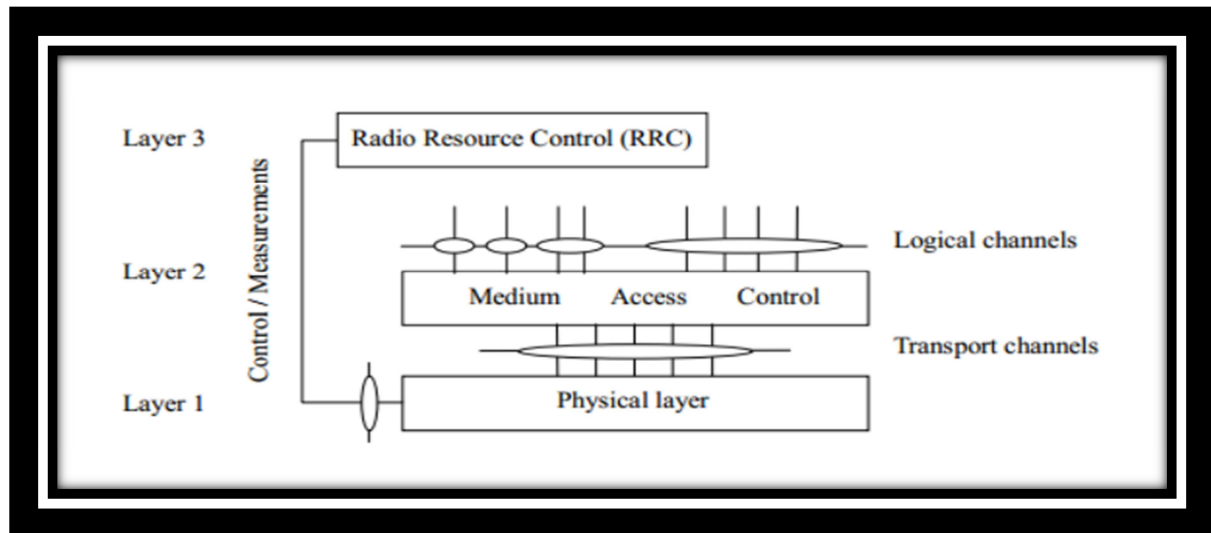


Figure II.18 : plan usager.

Les données sont transmises par un tunnel GTP-U. GTP-U est une partie du protocole GTP, l'autre partie est GTP-C liée au plan contrôle. Autre la fonction d'établir une connexion de bout en bout entre le mobile et le serveur d'application, le protocole GTP s'occupe d'acheminer les paquets vers l'eNodeB correspondant pendant un déplacement de l'utilisateur. [16]

### II.7.3 Interface radio

Cette interface fournit des connexions entre le UE et l'eNodeB elle se compose de trois couches : RRC, MAC et la couche Physique. [19]



**Figure II.19 : Architecture protocolaire de l'interface radio.**

### II.7.3.1 La couche Physique

Cette couche assure de la transmission des données via le canal radio, en résistant aux différentes perturbations causées par l'environnement. Elle permet d'offrir la fonction de transport aux données issues de la couche MAC. Parmi ses fonctionnalités nous citons: [19]

- Le codage de canal, qui protège les bits d'information contre les erreurs de transmission, en introduisant de la redondance dans la séquence de bits transmis.
- La modulation permettant d'associer les bits à des symboles de modulation (4QAM, 16QAM, 64QAM), (la modulation, qui associe les bits à transmettre à des symboles de modulation capables d'imprimer une onde électromagnétique).
- Le traitement spatial (MIMO) permettant de transmettre les données sur plusieurs antennes (les traitements spatiaux (dits MIMO), qui précèdent les symboles de modulation afin de les transmettre sur plusieurs antennes).
- La modulation multi porteuse, permettant d'associer un signal qui va être transmis sur chaque antenne à la modulation OFDMA (voie descendante) et SC-FDMA (voie montante).

En outre, la couche physique assure des fonctions n'impliquant pas de transmission de données, mais nécessaires à son fonctionnement, ainsi qu'à certaines fonctions de la couche MAC :

## Chapitre II : Description de la 4G/LTE

---

- Les mesures radio, pour estimer le canal de transmission, la qualité du signal de la cellule servante, ou encore les niveaux de puissance reçus d'une autre cellule, ou d'un autre système radio.
- La synchronisation, afin d'acquérir et de maintenir la synchronisation en temps et fréquence avec la porteuse de l'émetteur.
- La détection de cellule, afin de détecter la présence de cellules et de s'y connecter, à l'allumage de l'UE ou pour préparer un Handovers.
- La signalisation d'informations de contrôle entre eNodeB et UE.

### II.7.3.2 La couche MAC (Medium Access Contrôle)

La couche MAC permet l'accès et l'adaptation au support de transmission grâce aux fonctions suivantes :

- le mécanisme d'accès aléatoire sur la voie montante.
- la correction d'erreurs par retransmission HARQ lors de la réception d'un acquittement HARQ négatif.
- les allocations dynamique et semi-statique de ressources radio (scheduling).
- le maintien de la synchronisation sur le lien montant.
- la priorisation des flux sur le lien montant.

### II.7.3.3 La couche RRC (Radio Resource Control)

Cette couche RRC, permet de réaliser la fonction de contrôle de l'interface radio. RRC est connectée à la couche MAC et PHY afin de les configurer via des points d'accès de contrôle. C'est la spécificité de cette couche, véritable chef d'orchestre de l'interface radio.

- L'Envoie des messages paging pour localiser un UE.
- La gestion des connexions RRC tel que l'établissement, la reconfiguration et le relâchement.
- Le contrôle de mobilité en mode veille (sélection et resélection de cellule) ;
- La transmission de signalisation de la couche supérieure NAS.
- La diffusion des informations du système et le transfère de contexte vers un autre eNodeB.

### II.8. Le concept d'un canal

Le système LTE, de manière similaire à l'UMTS, utilise le concept de *canal* afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. Ces canaux sont des composantes de l'architecture du système et sont donc à distinguer du canal de transmission (qui capture les effets de la propagation radio) et du canal fréquentiel (ou porteuse) déjà rencontrés.

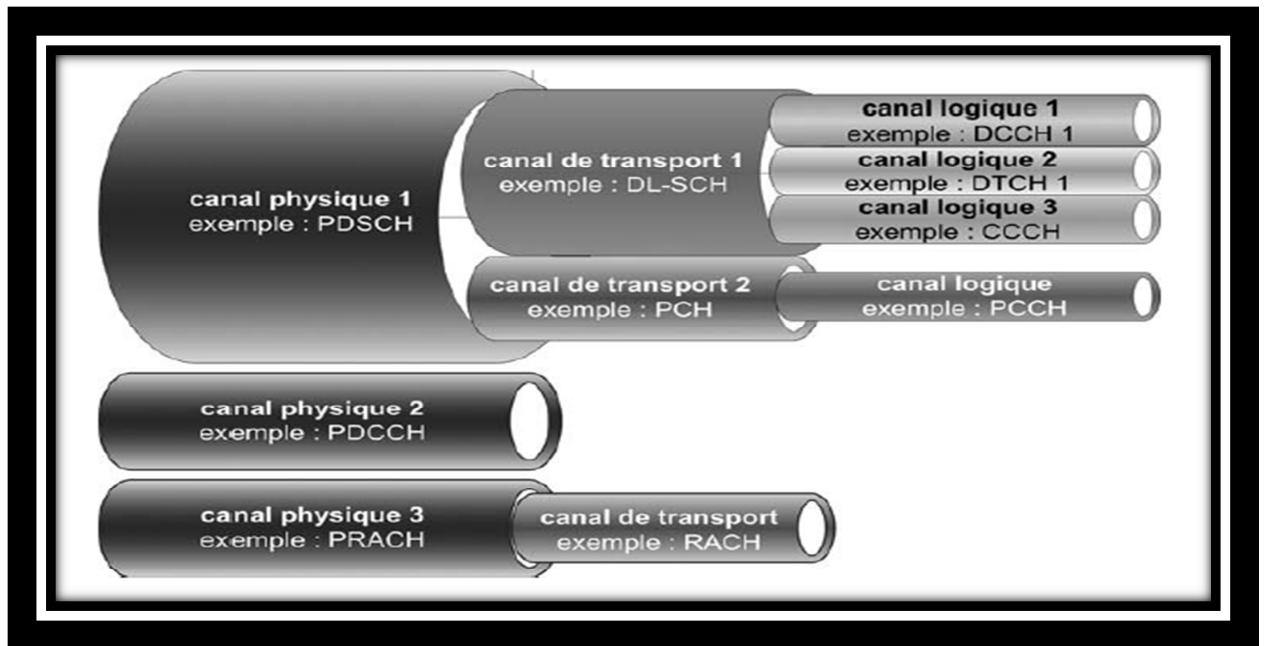
Les canaux de l'interface radio sont des points d'accès aux services proposés par une couche  $N$  : ils permettent à la couche  $N+1$  de délivrer à cette couche  $N$  des données qui devront être traitées (et éventuellement marquées) selon les spécificités du canal.

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

- **Les canaux logiques** : qui opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager).
- **Les canaux de transport** : qui opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio (par exemple la méthode d'accès aux ressources radio).
- **Les canaux physiques** : qui sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame).

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

Ceci est illustré par la figure suivante, sur laquelle trois canaux physiques sont représentés (PDSCH et PDCCH pour le sens descendant, PRACH pour le sens montant).



**Figure II.20 : Les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrications**

Nous décrivons ci-après l'ensemble des canaux utilisés par l'interface radio du LTE, pour chacune de ces trois catégories : [19]

### II.8.1 Les canaux logiques

Un canal logique est caractérisé par le type d'information qu'il transporte, et non pas par comment ces données vont être véhiculées. Il existe 2 types de canaux logiques qui permettent de scinder véhiculé les informations de 2 grands types distincts, les informations dit du plan de contrôle et les informations dit du plan usage.

Les informations du plan de contrôle sont toutes les informations échangées par réseau d'accès (interne, vers le mobile ou vers le cœur de réseau) permettant son fonctionnement propre (authentifier un mobile, établir un appel etc...). Les informations du plan usager sont toutes les informations échangées par l'utilisateur via le réseau d'accès.

Les canaux logiques fournis par la couche MAC sont :

- **PCCH (Paging Control CHannel)** : c'est un canal logique de contrôle qui permet de diffuser des notifications d'appel. Lorsque que quelqu'un cherche à joindre un mobile, un message de paging par le cœur de réseau vers le réseau d'accès. Toutes les cellules

de la zone à laquelle le mobile est supposé appartenir vont alors diffuser l'information qu'on cherche à le joindre. Ce type d'information transite donc par ce canal logique.

- **CCCH (Common Control CHannel)** : c'est un canal logique de contrôle qui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile n'existe pas. Toute la messagerie du début d'un scénario d'appel passe par ce canal.
- **DCCH (Dedicated Control CHannel)** : c'est un canal logique de contrôle qui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile existe. Par exemple, les reconfigurations d'une connexion ou un handover se font en utilisant ce canal.
- **DTCH (Dedicated Traffic CHannel)** : c'est un canal logique du plan usager qui permet de véhiculer toutes les informations usager. Par exemple, si vous êtes en train de regarder une vidéo, c'est par ce canal que les informations vont transiter.

### II.8.2 Les canaux de transport

Un canal de transport se distingue d'un autre par la manière dont les données vont être transportées sur la couche physique :

- **DL-SCH (DownLink Shared CHannel)** : Pour la transmission de données dédiées (contrôle ou usager) ou d'informations cellules non basiques (comme la liste des cellules voisines) en downlink. Ce canal va donc porter des canaux logiques DCCH, DTCH, CCCH ou BCCH.
- **PCH (Paging CHannel)** : pour diffuser les informations de paging sur la cellule et donc porte le canal logique PCCH.
- **RACH (Random Access CHannel)** : Ce canal sert uniquement à gérer l'accès initial du mobile ou lors d'un handover sur une cellule.

### II.8.3 Les canaux physiques

Les canaux physiques fournissent le moyen de transmettre par radio les données des canaux de transport. Une SDU reçue de la couche MAC via un canal de transport donné est appelée un bloc de transport. Un canal physique correspond à un ensemble d'éléments de ressource temps-fréquence (un élément de ressource est une sous-porteuse d'un symbole OFDM) dans la sous-trame. De plus, il est associé à des caractéristiques physiques

particulières, comme une séquence d'embrouillage, des schémas de codage et modulation, des schémas MIMO (en voie descendante uniquement). [19]

- **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)** : sert à la transmission des canaux de transport DL-SCH & PCH.
- **PDCCH (Physical Downlink Control Channel)** : sert à la transmission d'information de contrôle, schéma de modulation, codage, allocation des ressources pour le DL-SCH et le PCH en downlink, allocation de ressources HARQ pour le UL-SCH en uplink, etc..
- **PRACH (Physical Random Access Channel)** : sert à la transmission de canal de transport RACH.

### II.9 Discussions

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales composantes et techniques utilisées dans LTE. Ces derniers ont les mêmes objectifs avec les technologies précédente, mais ils se différencient au niveau du débit offert et la qualité de service. Dans le chapitre suivant, nous allons intéresser plus particulièrement à la partie accessibilité du réseau LTE.

**Chapitre III**  
**Optimisation des**  
**paramètres d'accessibilité**  
**d'un réseau LTE.**

# Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

---

## III.1 Préambule

Dans ce chapitre nous allons étudier d'une manière approfondie l'un des paramètres de base d'un réseau LTE, il s'agit de l'accessibilité, nous allons présenter le processus de l'accessibilité le RACH ( Randon Access Channel) et le canal physique PRACH. Enfin, nous allons présenter les cas réel d'optimisation.

## III.2 L'accessibilité en LTE

### III.2.1 RACH (Random Access Channel)

**Canal d'accès aléatoire** , également appelé **canal de diffusion** , est un canal utilisé par les terminaux sans fil pour accéder au réseau mobile ( TDMA / FDMA et CDMA) pour l'établissement d'appels et la transmission de données par rafales. Lorsqu'un mobile ou un autre appareil souhaite faire appel à un MO (Mobile Originating), il programme le RACH. RACH est un canal de la couche de transport ; le canal de la couche physique correspondant est PRACH. Il n'y a pas de canal logique qui mappe dans l'entrée du canal de transport RACH ; il provient directement de la couche MAC. Le RACH consiste a un certain nombre de paramètres dans la couche MAC qui contrôlent comment et quand le canal physique PRACH est généré. [20]

**RACH** est le premier message entre le UE et l'eNodeB. Il existe dans toute les technologies mais il port un nom défirent comme :

- **CDMA** c'est Access probe.
- **GSM** c'est Channel Request.
- **WCDMA** et **LTE** c'est RACH.

Il a des fonctions très importantes surtout en LTE et WCDMA, l'objectif principal de ce processus est d'atteindre la synchronisation entre UE et l'eNodeB et la demande de la connexion RRC.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

---

### III.2.2 Procédure d'accès aléatoire en LTE (RACH)

Lorsqu'un UE transmet un préambule PRACH, il transmet avec un motif spécifique et ce motif spécifique est appelé "signature". Dans chaque cellule LTE, 64 signatures de préambule au total sont disponibles et l'UE sélectionne de manière aléatoire l'une de ces signatures. [20]

La procédure RACH est déclenchée lorsqu'un UE est placée sur une cellule et que l'une des conditions ci-dessous se produit :

- UE nécessite une synchronisation UL avec eNB pour l'envoi de données UL.
- eNB reçoit les données DL mais constate que la synchronisation UL avec UE est perdue (ordre PDCCH).
- L'UE n'a aucune autorisation pour transmettre des données UL et trouve que les ressources PUCCH ne sont pas configurées.

### III.2.3 Les différents types de procédure d'accès aléatoire

Il y a une telle possibilité que plusieurs UE envoient PRACH avec des signatures identiques. Cela signifie que le même préambule de PRACH à partir de l'UE multiple atteint l'eNodeB au même moment. Ce type de collision PRACH est appelé "**Contention**" et le processus RACH qui autorise ce type de "Contention" est appelé Processus RACH. Dans ce type de processus RACH basé sur la contention, Network effectuera un processus supplémentaire à une étape ultérieure pour résoudre ces conflits et ce processus est appelé "**Résolution de conflit**". [21]

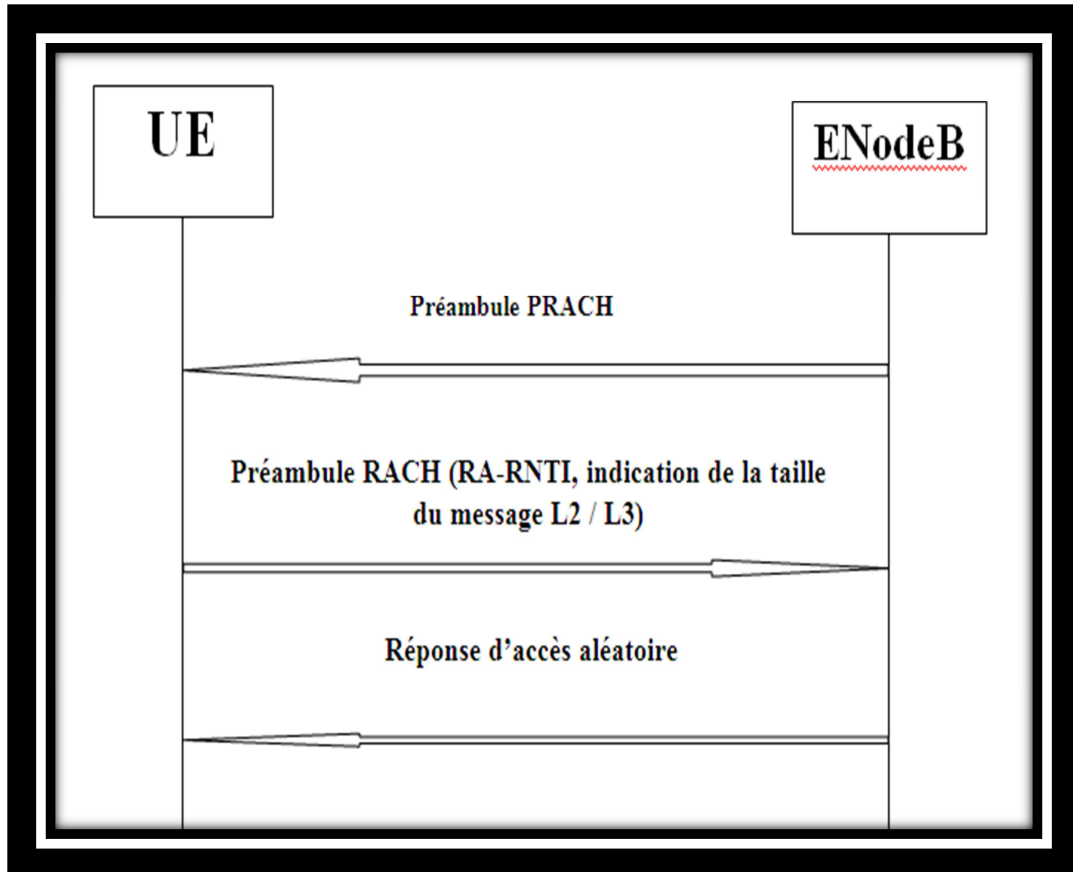
Les principaux types de procédure d'accès aléatoire sont les suivants :

#### III.2.3.1 Procédure d'accès aléatoire sans contention

Dans ce cas, le réseau informe chacun des UE de la date exacte et de la signature de préambule à utiliser. Bien entendu, dans ce cas, le réseau allouera ces signatures de préambule afin qu'elles ne se heurtent pas. Ce type de processus RACH est appelé « **procédure RACH**

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

**sans contention** ». Pour lancer le processus RACH "sans conflit", l'UE doit être en mode connecté avant le processus RACH, comme dans le cas du transfert. [21]



**Figure III.1 : Procédure d'accès aléatoire sans contention.**

### III.2.3.2 Procédure d'accès aléatoire basée sur la contention

Supposons maintenant qu'un conflit est survenu à l'**étape 1**. Par exemple, deux UE ont envoyé PRACH. Dans ce cas, les deux équipements d'utilisateur recevront la même allocation T\_C-RNTI et la même allocation de ressources à l'**étape 2**. En conséquence, les deux UE enverraient un message L2 / L3 via la même allocation de ressources (c'est-à-dire avec le même emplacement temps / fréquence) à l'**étape 3** les deux signaux agissent comme une interférence l'un de l'autre et l'eNodeB décode aucun d'eux. Dans ce cas, aucun UE n'a de réponse (HARQ ACK) l'NodeB et tous pensent que le processus RACH a échoué et reviennent à l'étape 1. L'autre possibilité serait que l'eNodeB puisse décoder avec succès le message d'un seul UE et ne parvienne pas à décoder l'autre UE. Dans ce cas, l'UE avec le

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

décodage L2 / L3 réussi du côté eNodeB et obtiendra le HARQ ACK du réseau. Ce processus HARQ ACK pour l'étape 3 est appelé processus de "**résolution de conflit**". [21]

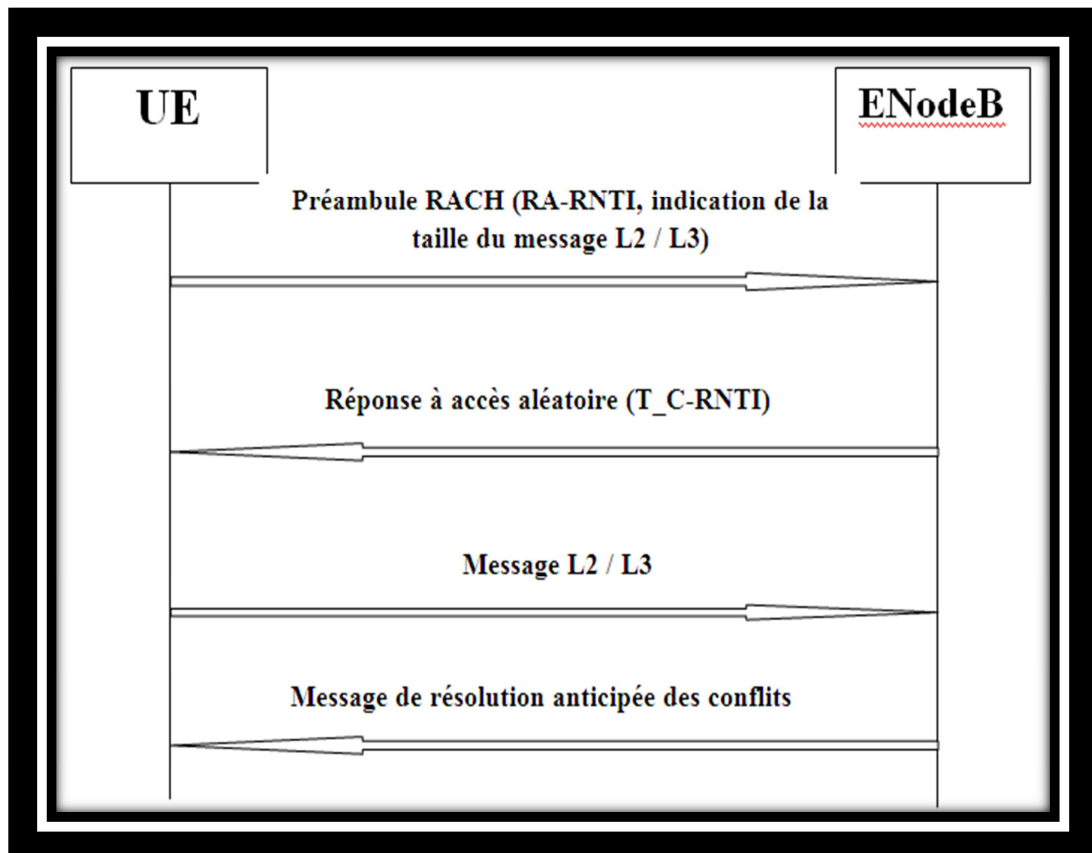


Figure III.2 : Procédure d'accès aléatoire basée sur la contention.

### III.2.4 PRACH ( Physical Random Access Channel)

La transmission PRACH (le préambule PRACH) est un signal basé sur OFDM, il est généré en utilisant une structure différente de celle des autres transmissions sur la liaison montante; Plus particulièrement, il utilise un espacement de sous-porteuse plus étroit et n'est donc pas orthogonal aux PUSCH, PUCCH. Par conséquent, ces canaux subiront des interférences avec le PRACH. Cependant, l'espacement des sous-porteuses utilisé par le PRACH est un sous-multiple entier de l'espacement utilisé pour les autres canaux (PUSCH, PUCCH) n'interfèrent pas sur le PRACH. [22]

# Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

## III.2.4.1 Structure temporelle du préambule PRACH

Le préambule PRACH est constitué d'un préfixe cyclique (CP), une partie utile qui est la séquence aléatoire et en fin un temps de garde (GP) qui est simplement une partie inutilisée du temps à la fin de chaque sous-trame occupée par le PRACH.[22]

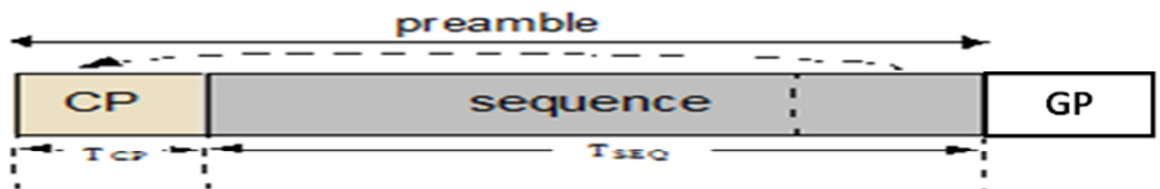


Figure III.3 : La structure du préambule PRACH.

Ce temps de garde permet une incertitude temporelle qui est due à la distance entre UE et eNodeB.

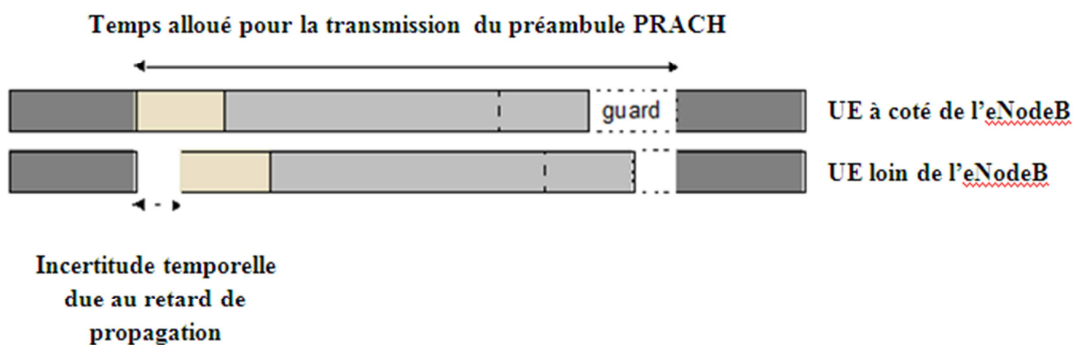


Figure III.4 : Incertitude temporelle dans le préambule PRACH.

Par conséquent, la durée de temps de garde détermine le rayon de la cellule, car tout le délai de propagation dépassant le temps de garde entraînerait du chevauchement de la sous-trame suivante par le préambule d'accès aléatoire à la réception (eNodeB).

L'utilisation d'une transmission OFDM avec un préfixe cyclique permet à un récepteur efficace basé sur le domaine fréquentiel dans l'eNodeB d'effectuer une détection PRACH.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

### III.2.4.2 Les formats du préambule PRACH

Il existe cinq formats de préambule PRACH, les formats 0 jusqu'à 3 définis dans le duplexage FDD (LTE) et le 4 défini dans le duplexage TDD. Ils ont des longueurs différentes de préfixe cyclique, de séquence et de temps de garde comme indiqués dans le tableau ci-dessous. [22]

Format des préambules	La longueur de CP	La longueur de la séquence	La longueur de GP	La longueur totale	Nombre de sous-trame	Le rayon de la cellule
0	0.10 ms	0.8 ms	0.10 ms	1 ms	1	15 Km
1	0.68 ms	0.8 ms	0.52 ms	2 ms	2	78 Km
2	0.2 ms	1.6 ms	0.2 ms	2 ms	2	30 Km
3	0.68 ms	1.6 ms	0.72 ms	3 ms	3	108 Km
4	0.015 ms	0.133 ms	0.852 ms	1 ms	1	--

**Tableau III.1 : Les formats du préambule PRACH.**

A chaque fois qu'on a une longueur de la séquence plus grande aiderait à décoder le PRACH dans les conditions bruyantes, car il fournit une fenêtre de corrélation plus longue pour détecter le PRACH.

La longueur de préfixe cyclique des formats 1 et 3 est beaucoup plus longue que celle des formats 0 et 2. Un CP plus long vous offrira une meilleure tolérance dans l'environnement des évanouissements, même dans un environnement très dégradé.

### III.2.4.3 Structure fréquentielle du préambule PRACH

PRACH est une sorte de séquence Zadoff Chu générée par l'équation suivante. Sachez que cette séquence est allouée donne le domaine de fréquence avec La longueur du préambule égale a 6 RB, soit 1,08 Mhz.

$$x_u(n) = e^{-j \frac{\pi n(n+1)}{N_{zc}}}$$

$$\text{Avec } 0 \leq n \leq N_{zc}-1$$

# Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

Avec  $u$  est l'index de séquence de racine physique.

$N_{zc}$  indique le nombre de données dans la séquence Zadoff Chu. Ce nombre est fixé à 839 dans le format de préambules 0, 1, 2, 3 et 139 dans le format de préambule 4.

Il y a 64 signatures disponibles pour chaque cellule, et l'UE doit générer les 64 signatures pour la cellule sur laquelle il veut camper.

Vous pouvez facilement générer 64 signatures différents simplement en déplaçant de manière cyclique une séquence existante, mais il existe une condition pour cela. Toutes les séquences de préambule devraient être orthogonales les unes par rapport aux autres. Sinon, divers préambules provenant de plusieurs UE dans la même cellule peuvent s'interférer. Nous devons donc décaler la séquence générée par une valeur spécifiquement conçue et cette valeur est appelée  $C_v$  (valeur de décalage cyclique) pour déterminer le  $C_v$  est l'un des processus les plus compliqués de la génération de préambule PRACH, car il intervient en cascade de nombreux paramètres différents. [22]

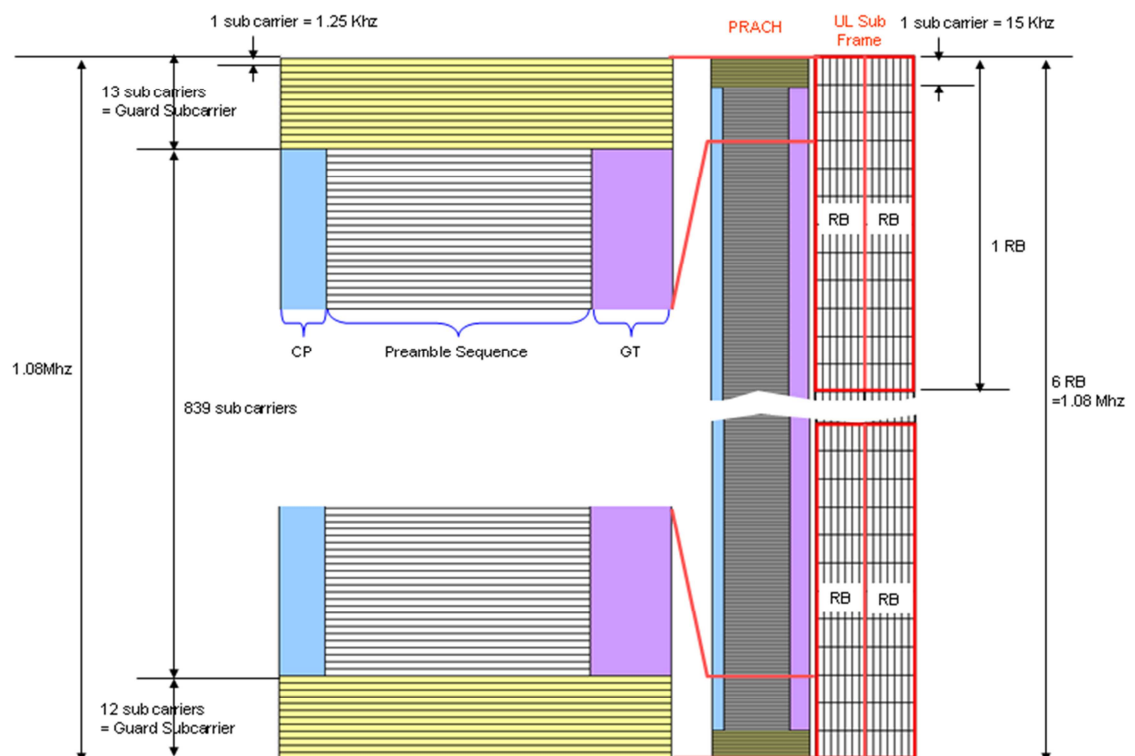


Figure III.5 : La grille des ressources PRACH.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

---

### III.2.4.4 Les 64 signatures de préambule PRACH

Le nombre maximal des séquences PRACH qu'un UE peut utiliser dans une cellule est de 64. Tout d'abord en génère une séquence Zadoff chu (839 échantillons) en utilisant le paramètre « **rootsequenceindex** » appelons cette séquence « **séquence de base** ». Après en génère les 64 signatures différentes en effectuant un décalage cyclique à partir de la séquence de base, l'intervalle de décalage cyclique est déterminé par Ncs (intervalle cyclic shift). Les Ncs sont déterminé par les deux paramètres « **zerocorrelationzoneconfig** » et « **highspeedflag** ».

### III.2.5 SIB2 (System Information Block 2)

Une fois le processus de synchronisation de cellule initial terminé, l'UE lit le bloc d'informations principal qui contient des informations importantes concernant la bande passante de la cellule de liaison descendante, la configuration PHICH et le numéro de trame du système. L'UE peut alors lire le bloc d'informations système 1 et le bloc d'informations système 2 pour obtenir des informations utiles relatives à l'accès aux cellules, à la planification SIB et à la configuration des ressources radio. Le bloc d'informations de système 2 transporte des informations de configuration de ressource radio qui sont communes à tous les UE. [23]

Les informations SIB2 peuvent être divisées en sous catégories suivantes :

- Paramètres associés au canal d'accès aléatoire (RACH).
- Configurations de pagination en mode veille.
- Configurations du canal de contrôle physique de liaison montante (PUCCH) et du canal partagé (PUSCH) .
- Contrôle de la puissance de la liaison montante et configurations du signal de référence sonore.
- Fréquence porteuse / bande passante.
- Informations sur l'interdiction de cellule.

# Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

## III.2.5.1 Les paramètres de RACH et leur signification physique [23]

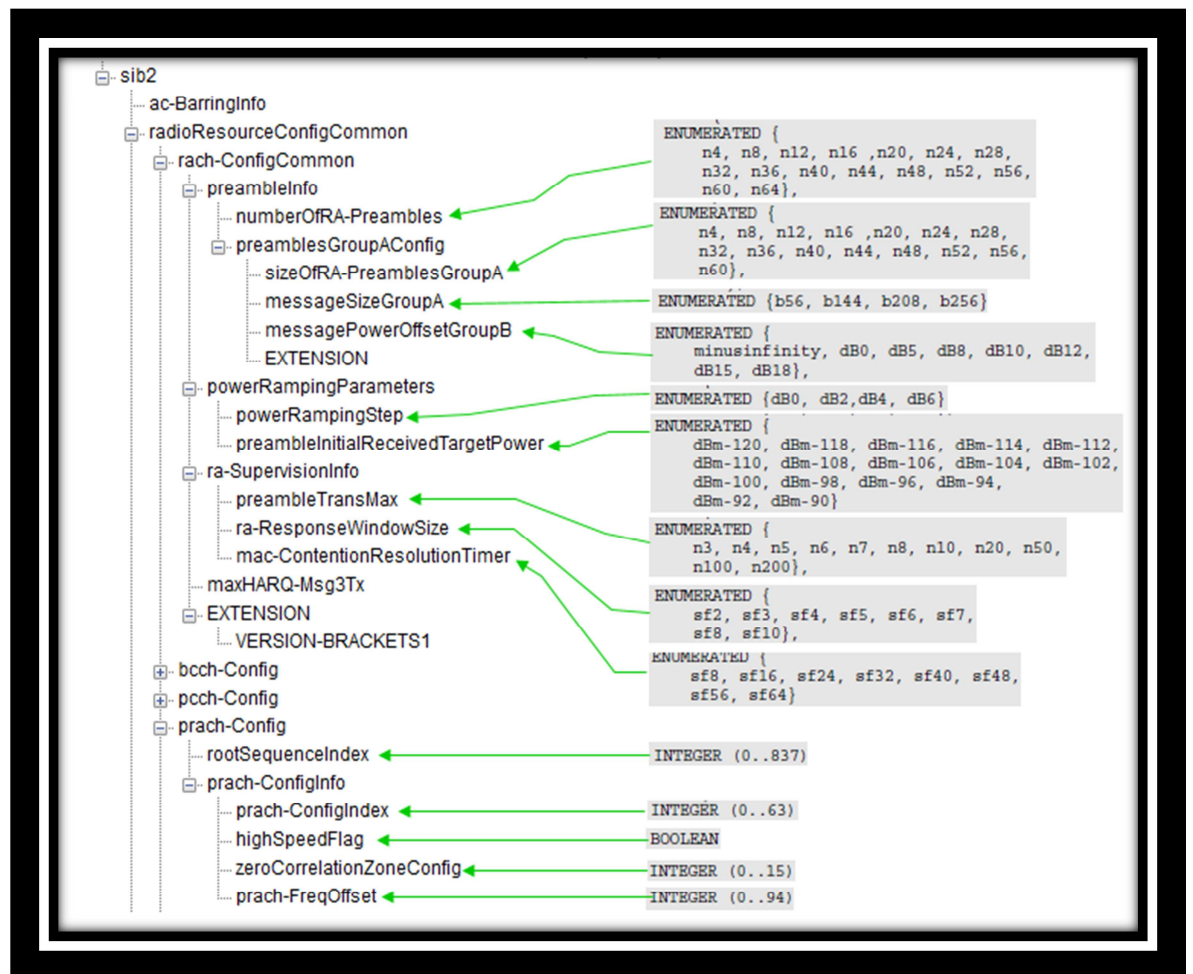


Figure III.6 : Les paramètres des préambles RACH.

### a) <preambleInfo>

- ❖ **numberOfRA-Preambles**: Nombre total de préambules d'accès aléatoire disponibles pour un accès aléatoire basé sur un conflit. Comme il y a au maximum 64 séquences de préambules disponibles, d'autres pourraient être réservées par eNB pour un accès aléatoire non basé sur un conflit. La plage de ce paramètre est de 4 à 64.

### b) <preamblesGroupAConfig>

- ❖ **sizeOfRA-PreamblesGroupA**: Nombre total de séquences de préambules à accès aléatoire disponibles dans le groupe A. Les préambules sont divisés en groupes A et B.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

---

Les préambules du groupe A sont destinés à l'envoi de petits paquets et les préambules du groupe B à des paquets volumineux. La plage de ce paramètre est de 4 à 60.

- ❖ **messageSizeGroupA:** seuil de la taille de message pour sélectionner le groupe de préambule A en termes de bits (56, 144, 208 ou 256 bits).
- ❖ **messagePowerOffsetGroupB:** Décalage de puissance pour la sélection du préambule Groupe B (0, 5, 8, 10, 12, 15 ou 18 dB).

### c) <powerRampingParameters>

- ❖ **powerRampingStep:** taille de pas de rampe avec des valeurs possibles de 0, 2, 4 ou 6 dB.
- ❖ **preambleInitialReceivedTargetPower:** la puissance initiale du préambule PRACH reçue avec des valeurs comprises entre -120 dBm et -90 dBm avec une taille de pas de 2 dBm.

### d) <ra-SupervisionInfo>

- ❖ **preambleTransMax:** Nombre maximal de transmissions de préambules. Les valeurs possibles sont 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 20, 50, 100, 200.
- ❖ **ra-ResponseWindowSize :** Durée de la fenêtre de réponse RA. La taille de la fenêtre de réponse RAR est en unité de sous-trames (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 10 sous-trames).
- ❖ **maxHARQ-Msg3Tx:** Nombre maximal de retransmissions HARQ pour le message 3 du processus RACH (accès aléatoire basé sur la contention) avec des valeurs possibles de 1 à 8.

### e) <bcch-Config>

- ❖ **modificationPeriodCoeff:** la valeur (2, 4, 6,8) de ce paramètre est multipliée par le cycle DRX par défaut (par exemple 320 ms, 640 ms) pour générer la période de modification BCCH. C'est la période pendant laquelle le changement de SI (System Information) est répété aux UE de sorte que le changement de SI est acquis par l'UE. Période de modification BCCH = modificationPériodeCoeff x mode veille cycle DRX.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

### f) <pcch-Config>

- ❖ **defaultPagingCycle:** Le cycle DRX par défaut en mode veille dans l'unité des trames radio (rf64 signifie 640ms).
- ❖ **nB :** ayant des valeurs [ 4T, 2T, T, T / 2, T / 4, T / 8, T / 16, T / 32] est utilisé pour calculer paging frames(PF) et paging occasions(PO).  
**Paging frames (PF):** Un PF est la trame radio dans laquelle l'UE recherche le message de radiomessagerie. Une trame de radiomessagerie peut contenir une ou plusieurs occasions de radiomessagerie.  
**Paging Occasion (PO)** : Il s'agit d'une sous-trame où il peut y avoir un message de pagination pour l'UE. Dans un cycle DRX, il n'y a qu'une seule occasion de pagination pour chaque UE.

### g) <prach-ConfigInfo>

- ❖ **prach-ConfigIndex :** Ce paramètre détermine quel type de format de préambule doit être utilisé et à quelle trame système et sous-trame UE peut transmettre le préambule PRACH.

```
sib2
radioResourceConfigCommon
rach-ConfigCommon
préambuleInfo
numberOfRA-Preambles: n52 (12)
powerRampingParameters
powerRampingStep: dB2 (1)
préambuleInitialReceivedTargetPower: dBm-104 (8)
ra-SupervisionInfo
préambuleTransMax: n6 (3)
ra-ResponseWindowSize: sf10 (7)
mac-ContentionResolutionTimer: sf48 (5)
maxHARQ-Msg3Tx: 4
...
prach-config
    rootSequenceIndex: 22
prach-ConfigInfo
    prach-configIndex: 3
    ..0. .... highSpeedFlag: Faux
    zeroCorrelationZoneConfig: 5
prach-FreqOffset: 4
...
```

Figure III.7 : le paramètre <prach-ConfigIndex>.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

La signification de **prach-ConfigIndex** est définie par le tableau suivant.

PRACH Configuration Index	Preamble Format	System frame number	Subframe number	PRACH Configuration Index	Preamble Format	System frame number	Subframe number
0	0	Even	1	32	2	Even	1
1	0	Even	4	33	2	Even	4
2	0	Even	7	34	2	Even	7
3	0	Any	1	35	2	Any	1
4	0	Any	4	36	2	Any	4
5	0	Any	7	37	2	Any	7
6	0	Any	1, 6	38	2	Any	1, 6
7	0	Any	2, 7	39	2	Any	2, 7
8	0	Any	3, 8	40	2	Any	3, 8
9	0	Any	1, 4, 7	41	2	Any	1, 4, 7
10	0	Any	2, 5, 8	42	2	Any	2, 5, 8
11	0	Any	3, 6, 9	43	2	Any	3, 6, 9
12	0	Any	0, 2, 4, 6, 8	44	2	Any	0, 2, 4, 6, 8
13	0	Any	1, 3, 5, 7, 9	45	2	Any	1, 3, 5, 7, 9
14	0	Any	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	46	N/A	N/A	N/A
15	0	Even	9	47	2	Even	9
16	1	Even	1	48	3	Even	1
17	1	Even	4	49	3	Even	4
18	1	Even	7	50	3	Even	7
19	1	Any	1	51	3	Any	1
20	1	Any	4	52	3	Any	4
21	1	Any	7	53	3	Any	7
22	1	Any	1, 6	54	3	Any	1, 6
23	1	Any	2, 7	55	3	Any	2, 7
24	1	Any	3, 8	56	3	Any	3, 8
25	1	Any	1, 4, 7	57	3	Any	1, 4, 7
26	1	Any	2, 5, 8	58	3	Any	2, 5, 8
27	1	Any	3, 6, 9	59	3	Any	3, 6, 9
28	1	Any	0, 2, 4, 6, 8	60	N/A	N/A	N/A
29	1	Any	1, 3, 5, 7, 9	61	N/A	N/A	N/A
30	N/A	N/A	N/A	62	N/A	N/A	N/A
31	1	Even	9	63	3	Even	9

Figure III.8 : Les formats de préambule PRACH.

Si l'équipement utilisateur utilise "PRACH Configuration Index 0", il doit transmettre le RACH uniquement au numéro EVEN SFN (System Frame Number). Cela signifie que l'UE est autorisé à transmettre RACH uniquement à la sous-trame numéro 1 de chaque SFN pair.

❖ **zeroCorrelationZoneConfig** et **Highspeedflag** : Permettent de spécifier les intervalles de décalage cyclique pour générer 64 séquences PRACH à partir d'une seule séquence de base. Ces IE (éléments d'information) sont spécifiés dans SIB2 comme dans l'exemple ci-dessous.

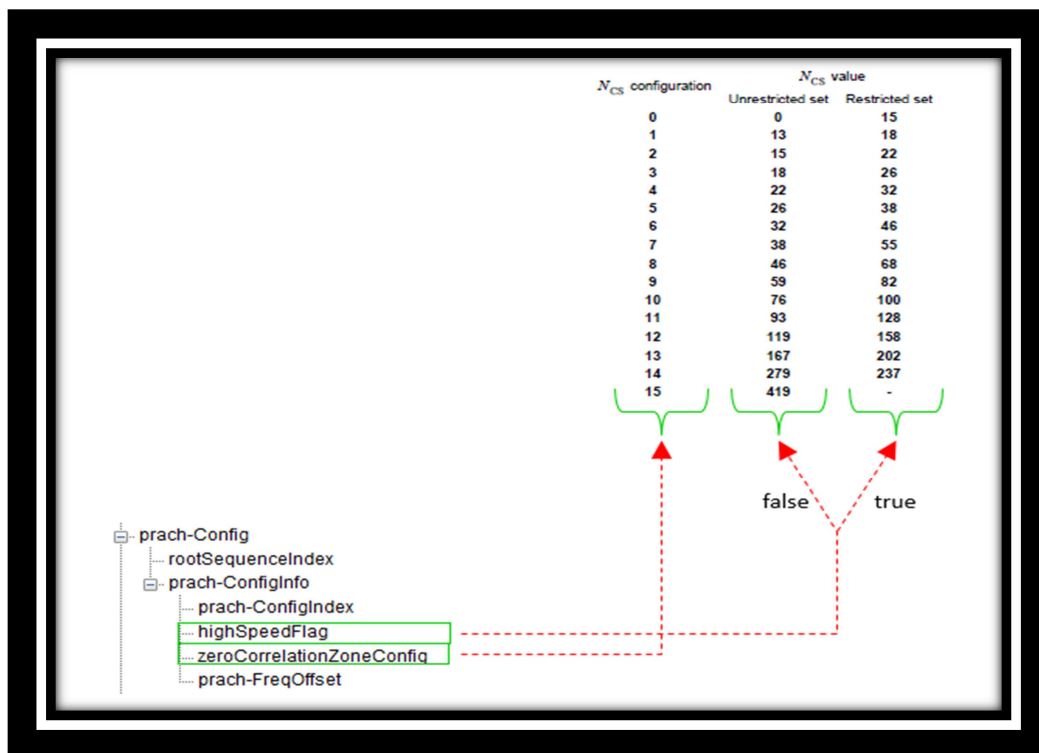
## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

```

sib2
radioResourceConfigCommon
rach-ConfigCommon
préambuleInfo
numberOfRA-Preambles: n52 (12)
powerRampingParameters
powerRampingStep: dB2 (1)
préambuleInitialReceivedTargetPower: dBm-104 (8)
ra-SupervisionInfo
préambuleTransMax: n6 (3)
ra-ResponseWindowSize: sf10 (7)
mac-ContentionResolutionTimer: sf48 (5)
maxHARQ-Msg3Tx: 4
...
prach-config
rootSequenceIndex: 22
prach-ConfigInfo
prach-configIndex: 3
..0. .... highSpeedFlag : Faux
                zeroCorrelationZoneConfig : 5
prach-FreqOffset: 4
...
    
```

**Figure III.9 : Les paramètres <zeroCorrelationZoneConfig et Highspeedflag>**

Si vous appliquez les valeurs dans l'exemple ci-dessus, vous obtiendrez la valeur  $N_{CS}$  qui est 26.



**Figure III.10 : Les intervalles de décalage cyclique.**

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

Avec **highSpeedFlag: TRUE** correspond à un ensemble restreint et **FALSE** est un ensemble sans restriction.

- ❖ **prach-FreqOffset** : Est le paramètre qui détermine l'emplacement du préambule PRACH dans le domaine fréquentielle. Cet emplacement dans le domaine des fréquences est calculé dans l'unité de l'indice PRB par l'équation suivante. Comme vous le voyez, l'équation est différente selon le format du préambule.

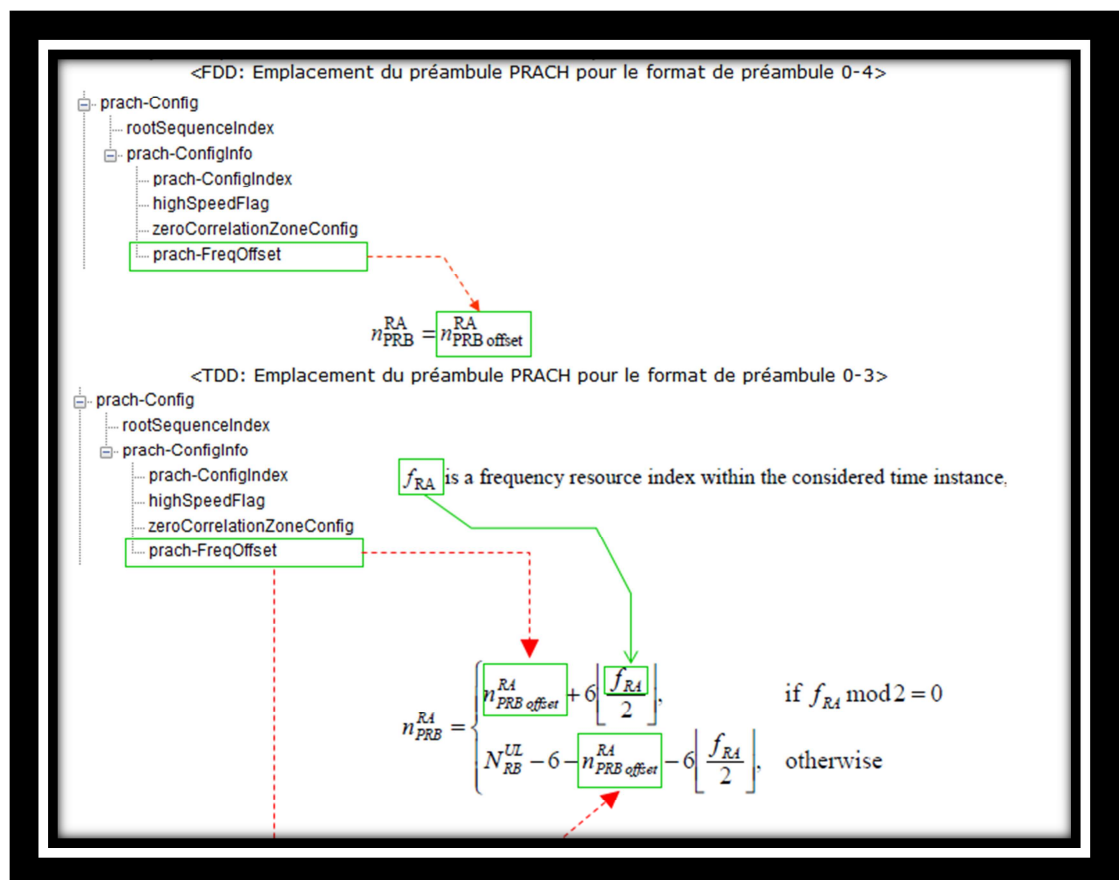


Figure III.11 : L'emplacement du préambule PRACH dans le domaine fréquentielle.

- **Type 1 : FDD emplacement de préambule PRACH pour le format 4.**  
La position  $n_{PRB}^{RA}$  du canal physique PRACH est déterminée à partir de décalage

$$n_{PRB\ offset}^{RA}$$

$$n_{PRB}^{RA} = n_{PRB\ offset}^{RA}$$

- **Type 2 : TDD emplacement de préambule PRACH pour les formats 0, 1,2 et 3.**

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

La position  $n_{PRB}^{RA}$  du canal physique dépend de ces deux fonctions :

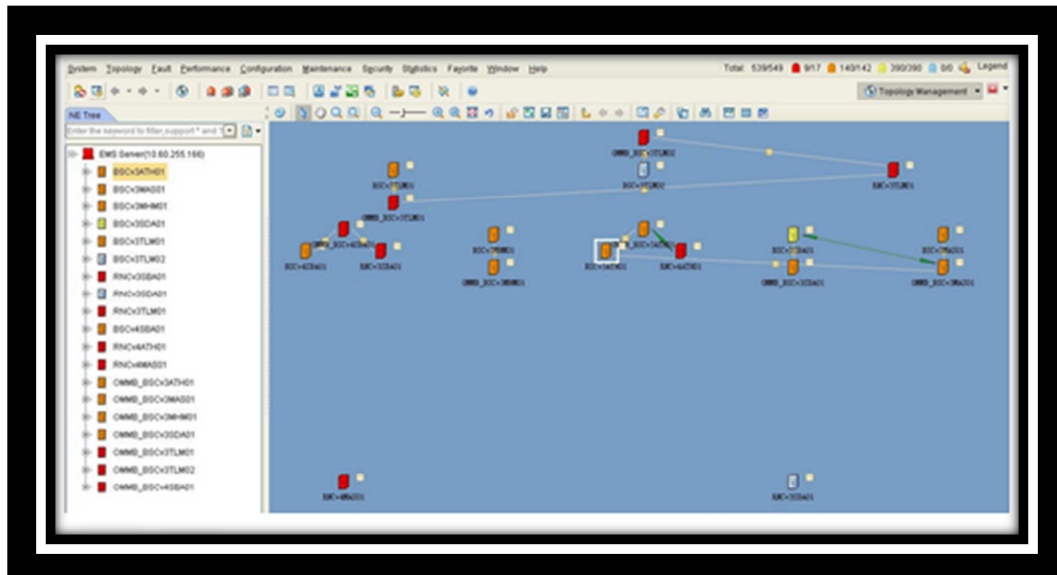
$$n_{PRB}^{RA} = n_{PRB\ offset}^{RA} + 6 \lfloor f_{RA}/2 \rfloor, \text{ avec } f_{RA} \bmod 2 = 0$$
$$n_{PRB}^{RA} = n_{RB}^{UL} - 6 - n_{PRB\ offset}^{RA} - \lfloor f_{RA}/2 \rfloor, \text{ dans le cas contraire}$$

Avec :  $f_{RA}$  correspond à un indice de ressource fréquentielle dont la valeur dépend de l'indice de configuration du canal physique PRACH.

$n_{RB}^{UL}$  Correspond à la bande passante du canal radioélectrique pour le sens montante exprimée en nombre de bloc de ressource RB.

### III.3 Des cas d'optimisation de l'accessibilité par Mobilis.

Ce cas est optimisé par la partie ZTE de Mobilis, on à utilisé le logiciel Netnumen afin de visualiser les performances de réseau et optimiser ses problèmes. Et pour ce faire on accède aux deux fenêtres ci-dessus :



## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

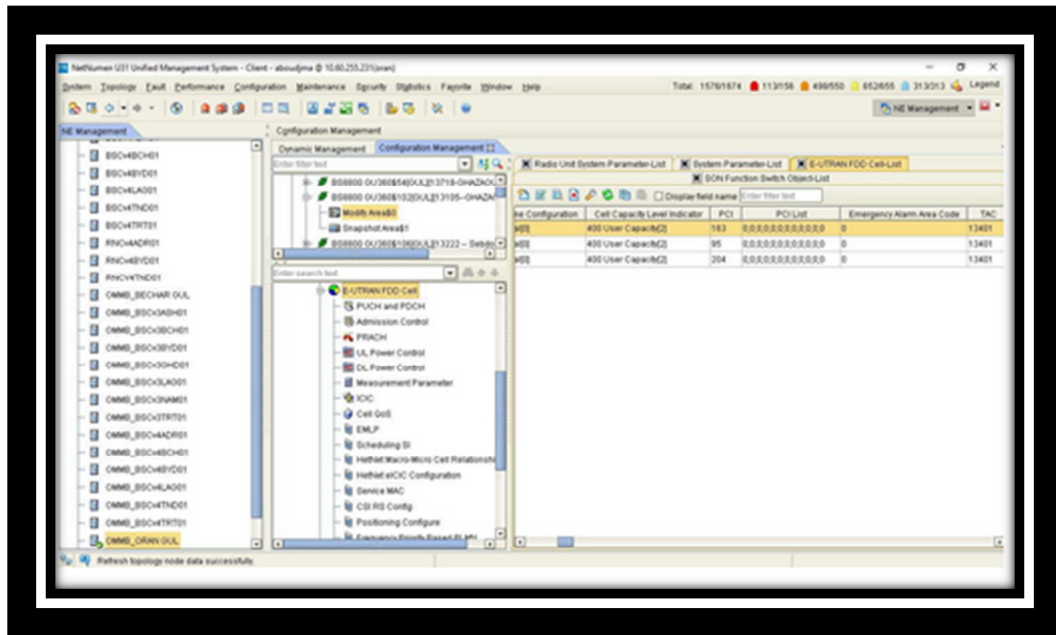


Figure III.12 : Visualisation des performances par le logiciel Netnumen.

Pour détecter le problème, on consulte les performances de la cellule (Accessibility, Mobility, retainability et Integrity(les ressources), cela en consultant d'abord la disponibilité de la cellule (time man), (Success Rate), RRC et après les paramètres dans « cetrax » avec la commande « get » suivie par le paramètre à visualiser.

### Cas 1 : Réduire l'accès des utilisateurs Selon le rayon de la cellule. [24]

Le rayon maximal auquel peut accéder un UE est déterminé par la couverture du réseau et les Ncs. Comme les Ncs ne peuvent être que des valeurs discrètes, le rayon maximal auquel UE peut accéder est supérieur ou égal au rayon de la cellule configuré. Par exemple, rayon configuré = 10 km, l'indice Ncs sera 11, rayon maximum = 12,25 km.

L'eNodeB limite l'accès aléatoire à l'UE en fonction du rayon de la cellule comme suit:

1. Après avoir reçu un préambule d'accès aléatoire d'un UE, l'eNodeB calcule la distance entre l'UE et la RRU en fonction de TA (timing advance ) du préambule.
2. Si la distance est supérieure au rayon de la cellule, l'eNodeB n'envoie pas de message de réponse à accès aléatoire à l'UE, interdisant à l'UE d'accéder à la cellule.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.



Figure III.13: le rayon maximal.

L'eNodeB mesure le TA d'un préambule après avoir détecté le préambule.

### Action : [25]

Nous activons ForbidAcByRadiusSwitch sur les cellules suivantes

31785/31608/31256/30704/31501/30505/31649/31761 après nous Surveillerons les cellules:

```
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Tafrroui_Doar_31501}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Tafrroui_Doar_31501}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Tafrroui_Doar_31501}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-SIDI_EL_BACH_31649}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-SIDI_EL_BACH_31649}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-SIDI_EL_BACH_31649}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Sid_El_Bachir_31785}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Sid_El_Bachir_31785}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Sid_El_Bachir_31785}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Saipem_cina Hassi Messaoud_30704}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Saipem_cina Hassi Messaoud_30704}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-Saipem_cina Hassi Messaoud_30704}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-PERIPH_LPA_CANASTEL_31761}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-PERIPH_LPA_CANASTEL_31761}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-PERIPH_LPA_CANASTEL_31761}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-HASI_MEFSSOUKH_31256}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-HASI_MEFSSOUKH_31256}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-HASI_MEFSSOUKH_31256}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-BETHIOUA_CENT_31608}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-BETHIOUA_CENT_31608}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL-BETHIOUA_CENT_31608}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL_CA2 HASSI MESSAOUD_30505}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL_CA2 HASSI MESSAOUD_30505}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RadiusAlgoSwitch=ForbidAcByRadiusSwitch-1;{UL_CA2 HASSI MESSAOUD_30505}
```

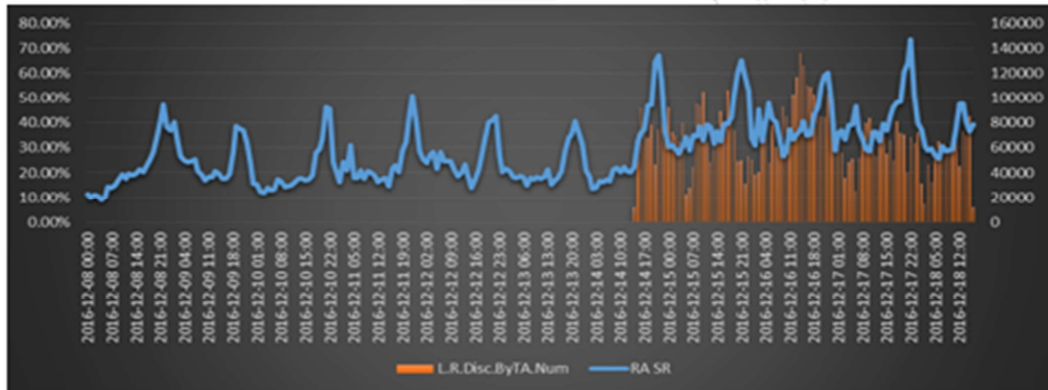
Figure III.14 : Activation de l'événement ANR Intra-RAT.

### Analyse :

Après avoir activé le ForbidAcByRadiusSwitch les UE en dehors de la plage de cellules ne peut pas accéder. Les valeurs des paramètres L.RA.GrpA.Discard.ByTA.Num et

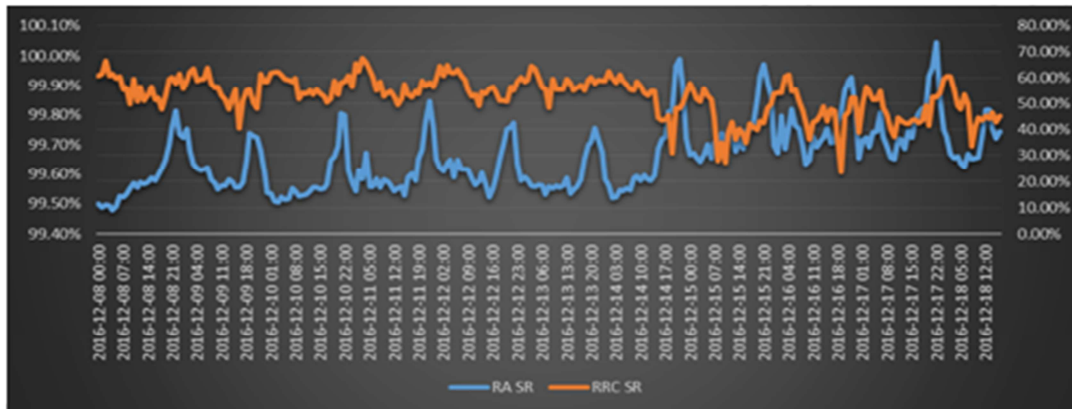
## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

L.RA.GrpB.Discard.ByTA.Num après l'activation sont augmentées, ce qui signifie qu'il y a des tentatives sur le rayon de la cellule.



**Figure III.15 : Représentation de RACH succès après l'activation.**

Après avoir activé le commutateur Interdire l'accès par rayon, il n'y a pas eu de dégradation sur RRC et RACH SR (la légère dégradation sur RRC et l'amélioration sur RA sont provoquées par le commutateur de détection de fausses alarmes).



**Figure III.16 : Représentation de succès RACH et RRC.**

**Résultat :** Après avoir activé ForbidAcByRadiusSwitch, il n'y a pas eu d'amélioration notable en ce qui concerne RA SR et, selon l'état actuel du réseau, il n'a pas besoin de contrôler précisément le rayon de la cellule. Nous ne recommandons donc pas d'activer ce commutateur.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

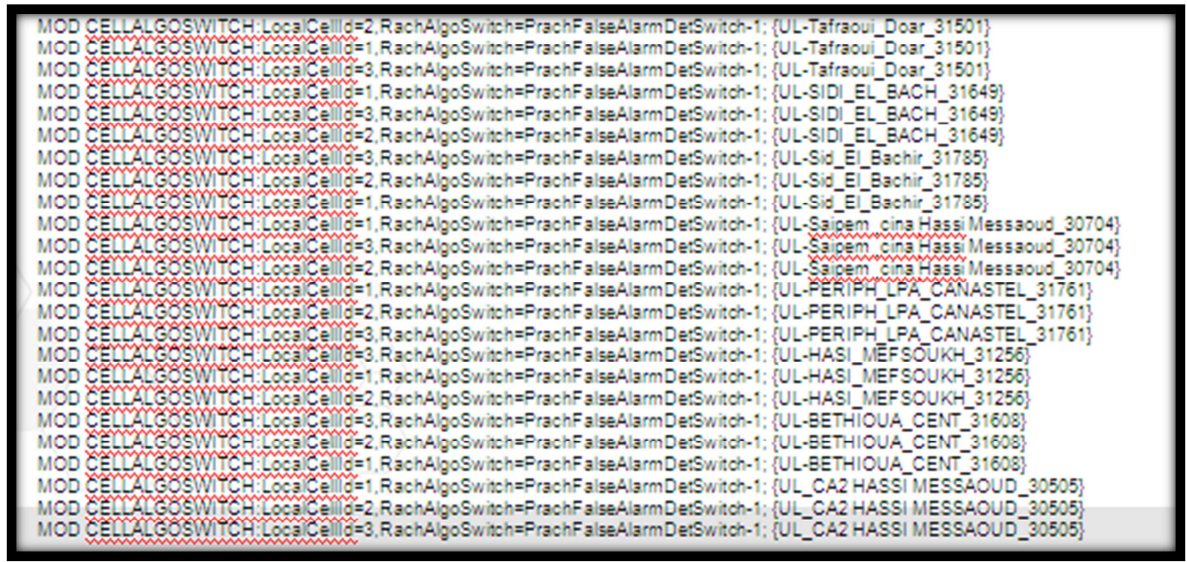
### Cas 2 : false alarm [24]

La probabilité de fausse alarme (Pfa) est la probabilité totale conditionnelle de détection des préambules erronés, avec  $Pfa \leq 0.1\%$ .

La détection des fausses alarmes PRACH est utilisée pour réduire ces dernières. Si un préambule est jugé comme une fausse alarme, eNodeB n'envoie pas de RAR et ne lui affecte pas de ressource Msg3.

### Action : [25]

Nous activons le PrachFalseAlarmDetSwitch sur les cellules suivantes 31785/31608/31256/30704/31501/30505/31649/31761, après nous Surveillerons les sites :



```
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Tafraoui_Doar_31501}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Tafraoui_Doar_31501}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Tafraoui_Doar_31501}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-SIDI_EL_BACH_31649}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-SIDI_EL_BACH_31649}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-SIDI_EL_BACH_31649}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Sid_El_Bachir_31785}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Sid_El_Bachir_31785}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Sid_El_Bachir_31785}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Saipem_cina_Hassi_Messaoud_30704}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Saipem_cina_Hassi_Messaoud_30704}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-Saipem_cina_Hassi_Messaoud_30704}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-PERIPH_LPA_CANASTEL_31761}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-PERIPH_LPA_CANASTEL_31761}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-PERIPH_LPA_CANASTEL_31761}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-HASI_MEFSOUKH_31256}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-HASI_MEFSOUKH_31256}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-HASI_MEFSOUKH_31256}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-BETHIOUA_CENT_31608}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-BETHIOUA_CENT_31608}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL-BETHIOUA_CENT_31608}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=1,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL_CA2_HASSI_MESSAOUD_30505}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=2,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL_CA2_HASSI_MESSAOUD_30505}
MOD CELLALGOSWITCH:LocalCellId=3,RachAlgoSwitch=PrachFalseAlarmDetSwitch-1:{UL_CA2_HASSI_MESSAOUD_30505}
```

Figure III.17 : Activation de l'événement ANR Intra –RAT.

Calculez la probabilité de rapport de fausse alarme. Si la probabilité diminue après l'activation de cette fonction, la détection de fausse alarme PRACH a été activée.

### Analyse :

Après avoir activé le commutateur de détection de fausses alarmes, la probabilité de fausses alarmes a beaucoup diminué.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

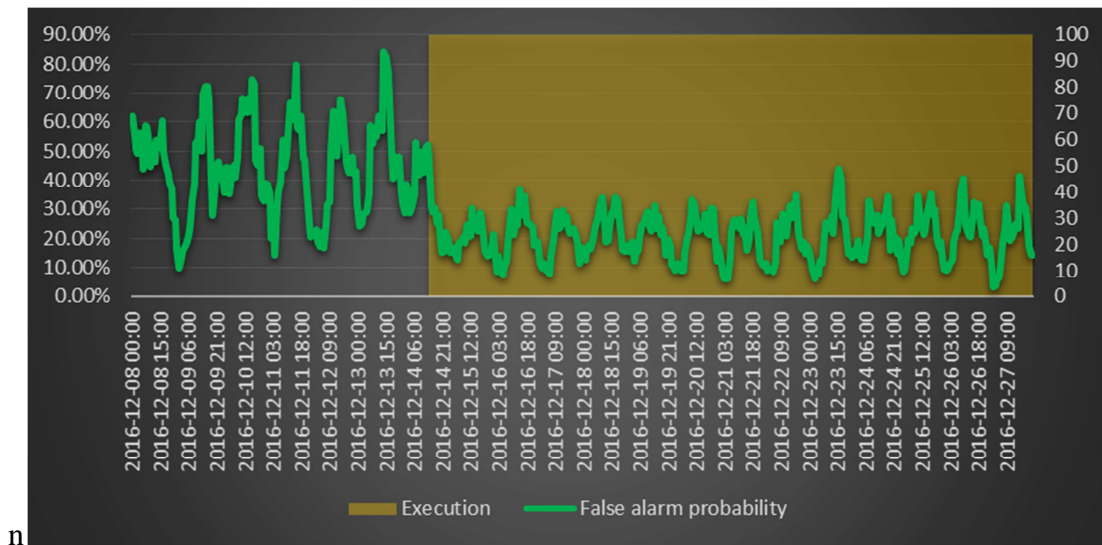


Figure III.18 : la probabilité de fausse alarme après l'activation.

Après avoir activé le commutateur de détection de fausse alarme, le RACH SR s'est amélioré avec une légère dégradation sur RRC <0,1%.



Figure III.19 : Représentation de Succès RACH et RRC après l'activation

**Résultat:** La fonction de détection de fausse alarme aide à réduire la probabilité de fausse alarme et à augmenter le taux de réussite de l'accès aléatoire. Il est recommandé d'implémenter cette fonction sur les sites où la probabilité de fausse alarme est élevée.

### Cas 3 : problème de cell range. [24]

Pour la propagation d'une cellule LTE, on définit le cell range c'est le paramètre qui représente la distance maximale entre l'utilisateur et la cellule.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

Dans ce cas nous avons une cellule dont la couverture dépasse le range demandé est ceci peut être détecté par le %\_Samples\_Outside\_cell range qui représente le nombre d'abonnés au delà de ce paramètre (Cell range).Le problème est sur l'antenne 163136N Alger, beaucoup d'échecs de RACH sur cette antenne et le succès est juste à 30%.

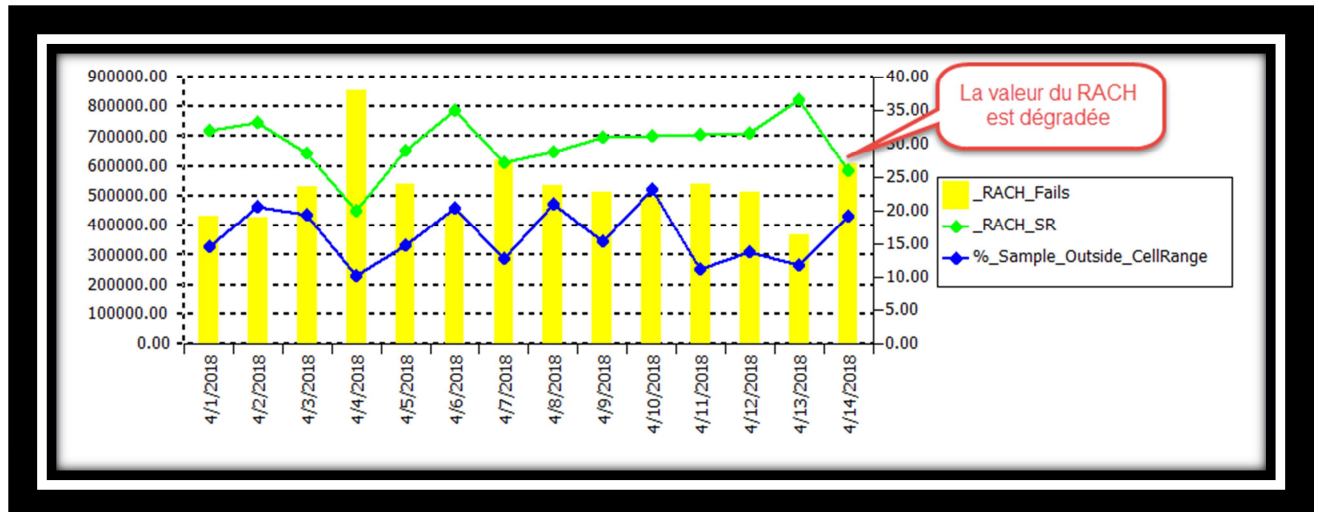


Figure III.20 : Représentation des performances d'accessibilité de la cellule d'étude avant la résolution du problème.

**Action :** On a procédé à une action de l'augmentation du tilt (downtilt] de l'antenne 16136N alger de 3.5° à 7° via le parametreelectricalAntennaTilt, afin de réduire la propagation des ondes électromagnétique de la cellule et ainsi réduire la couverture de la cellule.

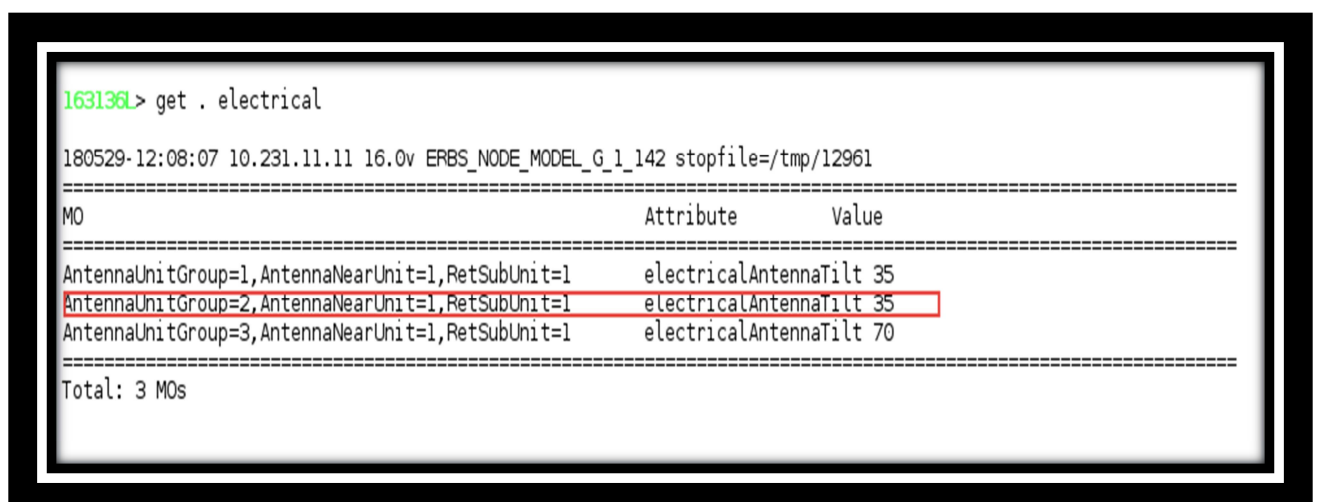
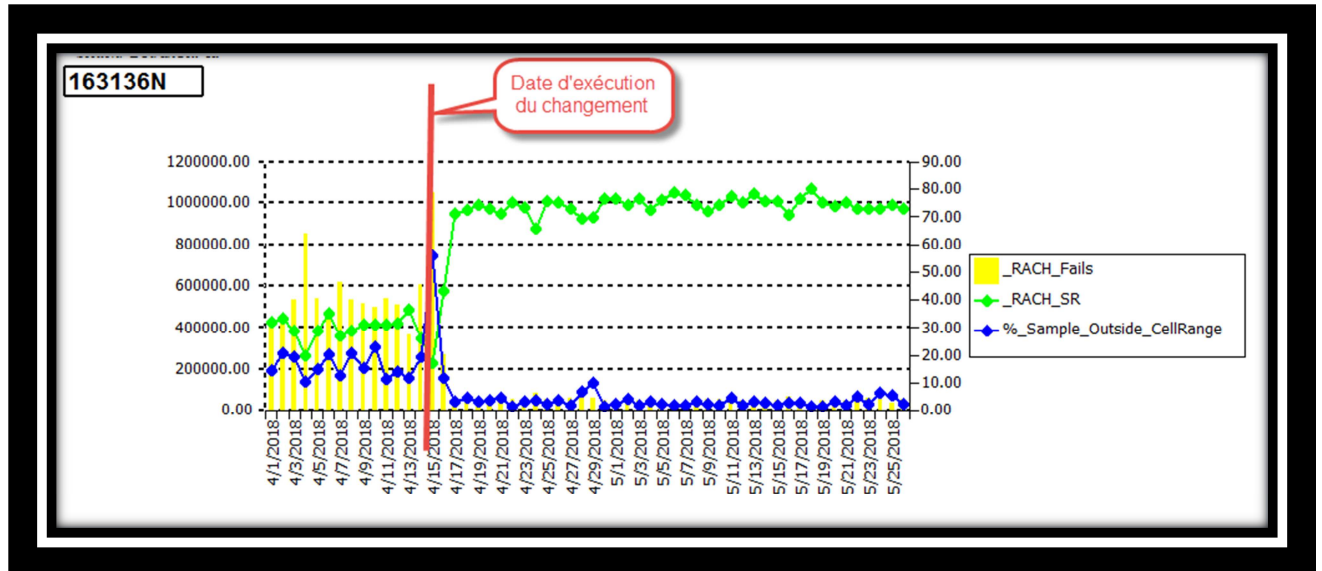


Figure III.21: L'antenne avec tilt = 3.5°.

## Chapitre III : Optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE.

**Résultat :** Amélioration de l'accessibilité, le résultat via le taux de RACH succès rate de 30% devient à 80%.



Figurez III.22 : Représentation des performance d'accessibilité de la cellule d'étude après l'exécution du changement.

### III.4 Discussions

L'accessibilité est l'une des paramètres de base du réseau LTE, c'est une tâche essentielle pour que l'utilisateur assure l'accès à la cellule, pour cela on s'est intéressé dans ce chapitre à étudier ces différents événements et plus précisément les procédures d'accès aléatoire RACH et ces différents paramètres. On a aussi étudié des cas réels pour optimiser l'accessibilité dans LTE, en changeant des paramètres. Enfin on peut conclure que le réseau LTE devient plus en plus performant et les problèmes ont été diminués.

# **Conclusion**

### Conclusion

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

L'objectif principal de ce projet est l'optimisation de l'accessibilité dans le réseau LTE, nous avons complété cela par une étude bibliographique approfondie sur le RACH (Random Access CHannel). Ce processus est caractérisé par sa complexité, car l'accès aléatoire est une fonction de base qui joue le rôle important dans un réseau LTE. L'accès aléatoire est le seul moyen pour que UE d'établir et de restaurer la synchronisation de la liaison montante avec l'eNodeB. C'est également la base pour un UE pour accéder au réseau et configurer des supports de service.

L'optimisation RACH permet de réduire le délai d'accès au réseau de tous les équipements d'utilisateur et d'atténuer les interférences sur la liaison montante causées par le PRACH. Ce dernier implique l'ajustement des ressources RACH, la détection des fausses alarmes PRACH, le réglage des paramètres de contrôle de l'alimentation PRACH. D'autres améliorations peuvent être proposées pour atteindre les objectifs suivants :

- Minimiser les délais d'accès pour tous les UE du système.
- Pour un accès sans contention, utilisez le préambule dédié autant de fois possible.
- Minimiser l'interférence d'UL due à RACH.
- Eliminer les puissances trop élevée pour minimiser les interférences inutiles avec les autres eNB.
- Minimiser les interférences entre les tentatives RACH.
- Configurez les cellules voisines pour minimiser les chevauchements de séquence.
- La réduction des ressources PRACH peut améliorer le débit de la liaison montante.

## Bibliographie

---

- [1]Pérez-Andre. Architecture des réseaux mobiles. Paris hermes sciences éditions 2011.collection Architecture, Application Services 2102-3220. Collaborateur (Harvé Sizum et biasraber biasrabert)
- [2]Alagha,Khaldoun.Réseaux de mobiles et réseau Sans fil .Paris Eyrolles.éditions 2001.Coauteur Gury Pujolle et Guillaume Vivier.
- [3]MarcVan Droogenbroeck .Le concept cellulaire. [En ligne]. [www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/total1/elen008/node161\\_mn.html/](http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/total1/elen008/node161_mn.html/) [Page consultée 11/05/2018].
- [4]Michèle Germain. Les réseaux de téléphonie Mobile.Le GSM. [En ligne]. <https://www.forumatena.org/files/.../Les%20réseaux%20mobiles%20-%20GSM.pdf>. [ page consultée 24/08/2018]
- [5] Handover. Wikipedia. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Handover>. [Page consultée 16/04/2018]
- [6] S.Znaty .le réseau GPRS. [En ligne]. [www.efort.com/r\\_tutoriels/GPRS\\_EFORT.pdf](http://www.efort.com/r_tutoriels/GPRS_EFORT.pdf). [Page consultée 27/08/2018]
- [7] Rohde & Schwarz. Présentation de la technologie EDGE Evolution. [En ligne]. <https://www.rohde-schwarz.com/.../pr-sentation-de-la-technologie-edge-evolution-whi...> [Page consultée 29/08/2018]
- [8] Rohde & Schwarz. Mesures de signaux EDGE. [En ligne]. [https://www.rohde-schwarz.com/de/file/n173\\_edge\\_fr.pdf](https://www.rohde-schwarz.com/de/file/n173_edge_fr.pdf). [Page consultée 29/08/2018]
- [9] B.Benmammam. Les réseaux mobiles de troisième génération. [En ligne]. <https://hal.inria.fr/hal-00657984/documen>. [Page consultée 25/ 06/2018]
- [10] Réseau de téléphonie mobile. Wikipedia. [En ligne] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau\\_de\\_téléphonie\\_mobile](https://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_de_téléphonie_mobile). [Page consultée 25/06/2018]
- [11] Omar Hasnaoui. L'architecture système UMTS. [En ligne]. <https://www.memoireonline.com>. [Page consultée 26/06/2018].
- [12] H Halma. Le WCDMA et les systèmes de troisième génération. [En ligne].<https://www.eyrolles.com/Chapitres/9782746403703/intro.pdf>. [Page consultée 26/06/2018].
- [13] El Bakkouri Sarrah. Etude de dimensionnement et planification d'un réseau d'accès. [En ligne]. <https://www.memoireonline.com> > Informatique et Télécommunications. [Page consultée 26/05/2018].
- [14] 4G. Wikipedia. [En ligne]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/4G>. [Page consultée 28/05/2018].

## Bibliographie

---

- [15] H Bouchentouf. Etude des performances des réseaux 4G (LTE). [En ligne]. <https://www.memoireonline.com> > Informatique et Télécommunications. [Page consultée 17/05/2018].
- [16] Institut de la francophonie pour l'informatique. Evolution LTE, Architecture de LTE et interface radio. [En ligne]. <http://blog.wikimemoires.com/2013/07/evolution-lte-architecture-de-lte-et-interface-radio/>. [Page consultée 01/06/2018].
- [17] Télécom Evolution. Au cœur du réseau radio et de l'interface air. [En ligne] <http://www.telecom-evolution.fr/fr/formations-courtes/lte-au-coeur-du-reseau-radio-et-de-linterface-air-de-la-4g>. [Page consultée 25/06/2018]
- [18] Philippe Martins. Vers les systèmes radio mobiles de la 4eme génération. [En ligne]. <https://books.google.dz/books?isbn=2817800850>. [Page consultée 15/06/2018].
- [19] Xavier Lagrange. Principes de fonctionnement de l'interface radio LTE. [En ligne] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/reseaux-cellulaires-et-telephonie-42288210/principes-de-fonctionnement-de-l-interface-radio-lte-te7374/>. [Page consultée 29/06/2018]
- [20] Shart Technote. RACH/PRACH. [En ligne]. [https://translate.google.com/translate?hl=fr&sl=en&u=http://www.sharetechnote.com/html/RACH\\_LTE.html&prev=search](https://translate.google.com/translate?hl=fr&sl=en&u=http://www.sharetechnote.com/html/RACH_LTE.html&prev=search). [Page consultée 25/08/2018]
- [21] Linkedin Learning. Slideshare. Rach procedure en LTE. [En ligne]. <https://fr.slideshare.net/.../rach-procedure-in-lte-57163882>. [Page consultée 15/08/2018].
- [22] Mathworks. PRACH (Physical random access channel). [En ligne]. <https://www.mathworks.com/help/lte/ug/random-access-channel.html>. [Page consultée 20/08/2018].
- [23] Shakti Kumar. SIB2 en LTE. [En ligne]. <http://www.simpletechpost.com/2013/02/system-information-block-2-sib2-in-lte.html>. [Page consultée 28/08/2018].
- [24] B.Ayouni. Huawei Technologie. RACH Optimisation. Mobilis (Alger).
- [25] B.Ayouni. Huawei Technologie. ANR (Automatic Neighbor Relation). Mobilis (Alger).

# Résumé

---

## Résumé :

Le LTE est un standard de réseaux radio mobiles, développé par le groupe 3GPP, commercialisé comme une technologie 4G (4ème Génération), est un ensemble d'améliorations des technologies 3G préexistantes. Il offre un débit de donnée très élevé grâce à l'utilisation d'antennes MIMO associées avec les techniques de transmission OFDM et l'accès multiples OFDMA.

L'objectif de ce travail, après une étude théorique approfondie, est l'optimisation des paramètres d'accessibilité d'un réseau LTE avec le logiciel Netwomen de ZTE.

## Mots-clés :

Optimisation

Accessibilité

RACH

PRACH

LTE

Interface radio