

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)



Faculté de Génie Electrique et Informatique

Département d'Electronique

Mémoire de Fin de cycle

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunication

Spécialité : Télécommunication et Réseaux

Thème :

Etude et optimisation des paramètres de base d'un réseau LTE d'ATM

Encadré par :

M^f LAHDIR Mourad

M^f AYOUNI Boudjema

Réalisé par :

M^{elle} OUNOUH Nabila

M^{elle} SAHI Sara

2017/2018

Remerciements

*Avant tout on tient notre remerciement à notre **Dieu** tout puissant de nous avoir donné la foi, la force et le courage.*

*Nous tenons à remercier d'abord notre encadreur Monsieur **LAHDIR Mourad** professeur à l'université Mouloud Mammeri pour sa confiance et à l'aide qu'il nous a apporté, et notre encadreur à Mobilis Monsieur **AYOUNI Boudjema** pour ces encouragements et ces critiques constructives qui nous ont beaucoup aidé à apprécier ce travail et ont mieux éclairé nos perspectives.*

Nos remerciements vont aussi aux membres de jury qui ont accepté de juger notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour leurs soutiens moraux ou matériels, dans la réalisation de notre projet.

OUNOUH Nabila

SAHI Sara

Dédicaces

*Au nom de **DIEU** clément et miséricordieux, c'est avec un grand sentiment d'euphorie, que je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents (cher père **Mohand** et chère mère **Souhila**),*

A qui je dois le meilleur de moi-même

En témoignage de ma reconnaissance infinie

Pour leur encouragement et motivation dans mes études, leur amour

Et les nombreux sacrifices qu'ils n'ont cessé de consentir ;

*A mes chères sœurs : **Samira, Sabrina, Farah** avec tous mes souhaits de bonheur et de réussite.*

*A ma petite sœur adorable **Lizia**.*

*A mes chers grands-parents, et à toute la famille **OUNOUH** et **GHEROUFELLA**.*

*A ma chère binôme **Sara***

A ceux qui me sont chers et proches.

A tous ceux que j'aime et qui m'aime.

A tous mes amis.

Ce mémoire est dédié.

Nabila

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail pour mes chers parents, **Achour et Ouahiba**, qui m'ont donné naissance, qui m'ont toujours encouragé, soutenu, aidé pour poursuivre mes études*

*A mes frères **Lounas, Adel, Ayoub et Rawad***

A mes grands-parents

*Aux deux familles **SAHI ET GUETTAL***

*ET à ma binôme **Nabila***

A tous mes amis.

Sara



Glossaire

Glossaire

1G : (1 ère génération) technologies de communication radio mobile de 1ère génération.

2G : 2 ème génération.

3G : 3 ème génération.

4G : 4ème génération.

3GPP: 3rd Generation Partnership Project.

A

AuC: Authentication Center.

AKA : Authentication and Key Agreement

ARQ: Automatic Repeat Request.

B

BCH: Broadcast Channel.

BSC: Base Station Controller.

BSIC: Base Station Identity Code.

BSS: Base Station Subsystem.

BTS: Base Transceiver Station.

BSIC: Base Station Identity Code.

C

CDMA : Code Division Multiple Access.

CN: Core Network.

C-RNTI: Cell-RNTI.

D

DC-CDMA: Dual Carrier-Code Division Multiple Access

DL: Down Link

DMRS: Demodulation Reference Signal.

DSCH: Downlink Shared Channel.

E

EDGE: Enhanced Data rate for GSM Evolution.

EMM: EPS Mobility Management.

EnodeB: Evolved NodeB.

EPS: Evolved Packet System.

eRAB: E-UTRAN Radio Access Bearer.

ESM: EPS Mobility Management.

F

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FDD: Frequency Division Duplex.

G

GMSC: Gateway MSC.

GPRS: General Packet Radio Service.

GSM: Global System for Mobile Communications.

Glossaire

GTPU: GPRS Tunneling-User plan.

H

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request.

HLR: Home Location Register.

HSPA: High Speed Packet Access.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access

HSS: Home Subscriber Server.

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access

I

IMT: International Mobile Telecom

IP: Internet Protocol

IMS: IP Subsystem Multimedia.

L

LTE: Long Term Evolution

M

MAC: Media Access Control.

MIB: Master Block Information.

MIMO: Multiple Input Multiple Output.

MME: Mobility Management Equipment

MR: Measurement Report.

MS: Mobile Station.

MSC: Mobile Switching Center.

MSK: Minimum Shift Keying.

N

NSS: Network Management Center.

NAS: Non Access Stratum.

O

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

OMC: Operation and Maintenance Center.

OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor.

P

PAPR: Peak to Average Power Ratio.

PBCH: Physical Broadcast Channel.

Glossaire

PCFICH: Physical Format Indicator Channel.
PCRF: Policy & Charging Rules Function.
PDCCH: Physical Downlink Control Channel.
PDCP: Packet Data Convergence Protocol.
PDP: Packet Data Protocol
PDSCH: Physical Downlink Shared Chanel.
PHICH: Physical HARQ Indicator Channel.
PHY: Physical Layer
PGW: Packet Data Network Gateway.
PLMN: Public Land Mobile Network.
PMCH: Physical Multicast Channel.
PRACH: Physical Random Access Channel.
PSK: Phase Shift Keying
PSS: Primary Synchronisation Signal.
PSTN: Public Switched Telephone Network.
PUCCH: Physical Uplink Control Channel
PUSCH: Physical Uplink Shared Channel

Q

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK: Quadrature phase-shift keying.
QOS: Quality Of Service

R

RACH: Rrandom Access Channel.
RA-RNTI: Random Access-RNTI
RB: Ressource Block.
RE: Ressource Element.
RLC: Radio Link Control.
RNC: Radion Network Controller
RNS: Radio Network Subsystem.
RNTI: Radio Network Tomporary Identifier
RRC: Radio Ressource Control.
RS: Reference Signal.
RSRP: Reference Signal Received Power.
RSRQ: Reference Signal Received Quality.
RTWP: Received Total Wide Power.

S

SAE: System Architecture Evolution.
SC-FDMA: Single Carrier - Frequency Division Multiple Access.
SF: Spreading Factor.
SGSN: Serving GPRS Support Node.

Glossaire

SGW: Serving Gateway
SIB: System Information Block
SIM: Subscriber Identity Module.
SIMO: Single Input Multiple Output.
SISO: Single Input Single Output.
SRS: Sounding Reference Signal.
SSS: Secondary Synchronisation Signal.

T

TDD: Time Division Duplex
TDMA: Time Division Multiple Access.
TMSI: Temporary Mobile Subscriber Identity.
TS: Time Slot.
TTT: Time To Trigger

U

UE: User Equipment
UICC: Universal Integrated Circuit Card
UL: Up Link
UMTS: Universal Mobile Telecommunication System.
U-MSC: UMTS-MSC
UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network.

V

VLR: Visitor Location Register.

W

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access.
WiFi: Wireless Fidelity.
WIMAX: World Wide Interoperability for Microwave Access.
WAP: Wireless Application Protocol.



Liste des figures

Liste des Figures

Fig I.1: Multiplexage TDD.....	04
Fig I.2: Multiplexage FDD.....	04
Fig I.3: Architecture de GSM.....	05
Fig I.4: Multiplexage FDMA.....	07
Fig I.5: Multiplexage TDMA.....	08
Fig I.6: Création d'un signal module au départ d'un train binaire.....	08
Fig I.7 : Le concept cellulaire.....	09
Fig I.8: Handover.....	10
Fig I.9: Constellation 8PSK.....	13
Fig I.10: Architecture de l'UMTS.....	16
Fig I.11: W-CDMA.....	18
Fig I.12: Constellation 16QAM.....	19
Fig I.13: Constellation 64QAM.....	19
Fig I.14: L'arbre des codes.....	20
Fig I.15: RTWP.....	21
Fig II.1: Architecture de LTE.....	25
Fig II.2: Les interfaces d'un réseau cœur.....	29
Fig II.3 : L'OFDMA et SC-FDMA.....	30
Fig II.4 : Les types de modulations en LTE.....	31
Fig II.5: MIMO.....	32
Fig II.6: La trame FDD en LTE.....	34
Fig II.7: La structure d'une trame LTE.....	35
Fig II.8 : La structure d'une trame LTE Uplink.....	40
Fig II.9 : Le RACH.....	42
Fig III.1 : Décision et exécution du HANDOVER.....	48
Fig III.2: Handover Intra-eNodeB.....	49

Liste des Figures

Fig III.3: Handover Intra-eNodeB X2.....	50
Fig III.4: Inter-base station S1 Handover.....	50
Fig III.5 : Configuration de la mesure en handover.....	51
Fig III.6 : L'hystérésis.....	54
Fig III.7 : L'évènement A1 de Handover.....	56
Fig III.8 : L'évènement A3 de Handover.....	56
Fig III.9 : Visualisation des performances par le logiciel TOOL.....	57
Fig III.10: Call setup success Rate.....	58
Fig III.11 : Les paramètres de seuil (threshold).....	58
Fig III.12 : Changement des COs et Ocn de la cellule 1 du site D et la cellule 2 du site B	60
Fig III .13 : Taux de Call Drop sur le site B.....	61
Fig III.14 : Nombre d'utilisateurs du site D.....	65



Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tab I.1 : Les interfaces de réseau GSM.....	06
Tab I.2 : les modulations d'EDGE.....	13
Tab I.3 : Les différentes entités de l'architecture UMTS.....	16
Tab II.1 : Les modulations et leur nombre de bits.....	32
Tab II.2 : Le nombre de RB valables en fonction de la largeur de bande.....	37



Sommaire

Sommaire

Introduction.....	01
--------------------------	-----------

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

I.1.Préambule.....	03
I.2.Le réseau GSM.....	03
I.3.Les techniques de multiplexages.....	03
I.3.1.Le TDD.....	03
I.3.2.Le FDD.....	04
I.4.Architecture de GSM.....	05
I.4.1.La station mobile(MS).....	05
I.4.2.Le sous-système radio(BSS).....	05
a- Les BTS.....	05
b- Les BSC	05
I.4.3.Le sous –système d’acheminement ou sous-système(NSS).....	05
a- Les MSC.....	05
b- Les VLR.....	05
c- Le HLR.....	06
I.4.4.Le sous-système d’exploitation et de maintenance (OSS).....	06
a-Les OMC.....	06
I.5.Les interfaces réseau GSM.....	06
I.6.Techniques d’accès multiples.....	06
I.6.1.Accès multiples à répartition fréquentielle.....	06
I.6.2.Accès multiples à répartition temporelle.....	07
I.7.La modulation adaptative au GSM.....	08

Sommaire

I.8.Système de radiocommunication cellulaire.....	09
I.8.1.Le concept cellulaire.....	09
I.8.2.Les fonctions de réseau cellulaire.....	10
I.9.Le Handover.....	10
I.9.1.Le Handover en GSM.....	10
I.9.2. Handover en 3G.....	11
I.9.2.1. Le Hard Handover.....	11
I.9.2.2.Le Soft Handover.....	11
I.10.La localisation (paging).....	11
I.11.Les limites de réseau GSM.....	11
I.12.Evolution des services de la norme GSM.....	11
I.12.1.Le GPRS.....	11
a- SGSN.....	12
b- GGSN.....	12
I.12.2.EDGE.....	12
I.12.2.1.Modulation utilisée en EDGE.....	12
I.13.Les réseaux mobile de troisième génération.....	14
I.14.L'UMTS.....	14
I.14.1.Les Objectifs de l'UMTS.....	14
I.14.2.Les évolutions de l'UMTS.....	14
I.14.2.1.Le HSPA.....	15
I.14.2.2.Le HSPA+.....	15
I.15.L'architecture de l'UMTS.....	16

Sommaire

I.16. Les interfaces de l'UMTS.....	17
1-L'interface Iub.....	17
2-L'interface Iu.....	17
3-L'interface Iur.....	17
4-L'interface Uu.....	17
I.17. La technologie utilisée dans l'UMTS.....	17
I.17.1. CDMA.....	17
I.17.2. W-CDMA.....	17
I.17.2.1. Les caractéristiques de W-CDMA.....	18
I.18. Les modulations adaptatives au réseau 3G.....	18
I.18.1. La modulation 16QAM.....	18
I.18.2. La modulation 64QAM.....	19
I.19. Les ressources utilisées dans 3G.....	19
I.19.1. Les codes.....	19
I.19.2. Le RTWP.....	21
I.19.3. Le CE.....	21
I.20. Les motivations pour l'introduction de LTE.....	22
I.21. Discussion.....	23

Chapitre II : Le réseau 4G LTE

II.1. Préambule.....	24
II.2. Définition de LTE.....	24
II.3. Les applications de LTE.....	24
II.4. L'architecture de LTE.....	25

Sommaire

II.4.1.L'EPS.....	25
II.4.2.UE.....	25
II.4.3.Unité eNodeB.....	26
II.4.4.Réseau d'accès E-UTRAN.....	26
II.4.5.Le réseau cœur EPC.....	26
1.Entité MME (<i>Mobility Management Entity</i>).....	26
2.SGW (Serving Gateway).....	27
3.PGW (Packet Data Network Gateway).....	27
4.HSS (Home Subscriber Server).....	28
5.Entité PCRF.....	28
6.IMS (IP Subsystem Multimedia).....	28
II.5.Les interfaces entre les équipements d'un réseau Cœur	29
II.4.La bande de fréquence utilisée.....	30
II.7.Les technologies utilisées en LTE.....	30
II.7.1.Les techniques de transmission et de multiplexage.....	30
1.La méthode d'accès OFDMA.....	30
2.La méthode d'accès SC- OFDMA.....	31
II.7.2.Techniques de modulations adaptatives au réseau LTE.....	31
II.7.2.1.Nombres de bits pour chaque modulation.....	32
II.7.3.Système MIMO.....	32
II.7.4.HARQ et ARQ.....	33
II.8.La trame LTE.....	33

Sommaire

II.8.1.La trame LTE de type 1 (FDD).....	33
II.8.2.La trame LTE de type 2 (TDD).....	34
II.8.3.Allocation des blocs de ressources.....	36
II.6.4.Calcul de débit dans la voie descendante.....	37
II.9.Les canaux physiques de la voie descendante.....	37
II.9.1.PCFICH.....	37
II.9.2.PDSCH(Physical Downlink Shared Channel).....	37
II.7.3.PHICH(Physical HARQ Indicator Channel).....	38
II.9.4.PDCCH(Physical Downlink Control Channel).....	38
II.9.5.PBCH(Physical Broadcast Channel).....	38
II.9.6.PMCH(Physical Multicast Channel)	38
II.10.Architecture Protocolaire	38
II.10.1.Plan de contrôle.....	39
II.10.2.Plan utilisateur.....	39
II.11.Les couches physiques.....	39
II.11.1.PHY (Physical Layer).....	39
II.11.2.MAC(Medium Access Control).....	39
II.11.3.RLC (Radio Link Control).....	39
II.11.4.PDCP (Packet Data Convergence Protocol).....	39
II.12.La trame Uplink.....	40
II.12.1.La structure de la trame Uplink.....	40
II.12.1.1.Les RS (Reference Signal)	40
II.12.2.Les canaux physiques de la trame Uplink.....	41

Sommaire

II.12.2.1.PUCCH RS.....	41
II.12.2.2PUCCH.....	41
II.12.2.3. PUSCH RS.....	41
II.12.2.4.PUSCH.....	41
II.12.2.5.PRACH.....	41
II.13.Les paramètres de base d'un réseau LTE.....	41
II.13.1.Le processus d'accessibilité(RACH).....	41
II.13.1.1.Comment gérer un signal RACH ?.....	43
II.13.1.2.Quand est ce que le processus RACH se produit ?.....	43
II.13.1.3.Les types de processus RACH.....	43
1. Contention-Based.....	43
2. Contention-Free.....	44
II.13.2.La mobilité.....	44
II.14..La QOS en LTE.....	44
II.15.La sécurité en LTE.....	45
II.15.1.Quels sont les risques dans un réseau ?.....	45
II.15.2.Les fonctions de sécurité.....	45
II.15.3.L'authentification en LTE.....	45
II.15.4.La confidentialité.....	46
II.15.5.L'intégrité.....	46
II.16.Discussion.....	46

Sommaire

Chapitre III : Etude et Optimisation de Handover dans LTE

III.1.Préambule.....	47
III.2.La mobilité en LTE.....	47
III.2.1.La mobilité dans l'état IDLE (repos).....	47
III.2.2.Le principe de la meilleure cellule.....	47
III.2.3.Les mesures radio en LTE.....	48
III.2.3.1.Puissance reçu de signal de référence (RSRP)	48
III.2.3.2.Qualité de réception du signal de référence (RSRQ).....	48
III.3.1.La mobilité dans l'état ACTIF(Handover).....	48
III.3.2.Les catégories de Handover en LTE.....	49
III.4.Types de Handover en LTE.....	49
III.4.1.Handover Intra-eNodeB.....	49
III.4.2.Handover Inter-eNodeB X2.....	49
III.4.3.Inter-base station S1 handover.....	50
III.5.Les facteurs de Handover.....	51
III.6..Les étapes de handover.....	51
1- Configuration de la mesure.....	51
2-Mise en œuvre des mesures.....	51
3-Rapport de mesure.....	51
4-Préparation.....	52
5-Achèvement des préparatifs de Handover.....	52
6-Mise en œuvre	52
7-Achèvement du Handover.....	52

Sommaire

III.7.Les événements de Handover.....	52
A-EvenementA1.....	52
B-Evenement A2.....	52
C-Evenement A3.....	52
D-Evenement A4.....	52
E-Evenement A5.....	53
III.8.Paramètres de l'événement A3	53
III.8.1.A3 Offset	54
III.8.2.Time To Trigger (TTT).....	54
III.8.3.Hystérésis.....	54
III.8.4.ReportOnLeave.....	55
III.8.5.Cell Individual Offset (CIO)).....	55
III.9.Simulation des évènements de handover.....	55
III.10.Des cas d'optimisation des paramètres de base par Mobilis.....	57
III.10.1.Call setup success Rate.....	57
III.10.2. 2ème cas : Problème de congestion	58
III.11.Discussion.....	61
Conclusion.....	62
Bibliographie.....	63



Introduction

Introduction

Les réseaux mobiles ont connu une évolution à travers plusieurs générations, répondant d'une part aux besoins de public et d'autre part aux exigences des opérateurs dans le souci d'assurer la continuité des services avec une meilleure qualité.

La 1^{ère} génération a débuté dans les années 80 en offrant un service de communication mobile analogique. Dans les années 90, La 2^{ème} génération(GSM) est apparue. Cette dernière utilise les transmissions numériques permettant la sécurisation des données, elle est consacrée pour les appels téléphoniques en tout lieu. En revanche, le débit de 9,6 Kbits/s est insuffisant et présente aussi l'inconvénient d'inaccessibilité au service internet. L'apparition de nouvelles techniques de modulations et de codage ont permis d'accroître le débit.

La troisième génération présentée par la norme UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) offre un débit rapide de 2Mbit/s, et garantie l'accès à internet depuis le mobile.

La norme Long Term Evolution (LTE) assure la compétitivité de l'UMTS, en fournissant un système à haut débit de données, à faible latence et l'optimisation en termes de transmission par paquets.. La 4ème génération repose sur un réseau tout IP, qui permet de circuler les appels vocaux directement sur internet (*VoLTE*), des débits allant jusqu'à 100Mb/s en théorie ce qui offre un certain confort de navigation mobile.

Dans notre projet, nous nous sommes intéressées à l'étude de handover dans le réseau 4G ; la présentation de ses évènements par une simulation sur Visual Basic for Application(VBA) et son optimisation chez l'opérateur Mobilis en proposant des paramètres optimaux adéquats, qui seront assimilés par les logiciels TOOL et U2000. Pour cela, nous avons structuré notre manuscrit comme suit :

Dans le premier chapitre, nous avons présentés les généralités sur les premières générations des réseaux mobiles (2G et 3G), leurs architectures et les différentes techniques utilisées. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de réseau LTE. Dans le troisième qui est le dernier chapitre, nous avons étudié la mobilité dans LTE en mode connecté et non-

Introduction

connecté, l'optimisation des cas de Handover et une simulation sur VBA qui illustre les différents évènements de Handover.

Une conclusion est présentée pour souligner les résultats obtenus dans le cadre de notre travail ainsi que les perspectives ouvertes pour améliorer notre travail

Chapitre I :

Généralités sur les réseaux mobiles

I.1.Préambule

Depuis le début des années 1990, les services de communication cellulaire connaissent un développement. Plusieurs générations ont vu et connu une évolution remarquable (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre).

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

I.2.Le réseau GSM

La deuxième génération (notée 2G) a marqué une rupture avec la 1G grâce au passage de l'analogique au numérique. Le réseau GSM (Global System For Mobile) mis en service depuis 1991, est un standard de téléphonie qui utilise le concept cellulaire. Les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique, ce qui permet de sécuriser les données.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6kbits/s ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes SMS, pour (Short Message Services) limités à 80 caractères. Ce réseau possède deux bandes de fréquences : la bande 890-915MHZ pour la voix montante et la bande de 935-960MHZ, pour la voix descendante ; il est basé sur les technologies TDMA et FDMA. La modulation spécifiée pour ce réseau mobile est la modulation GMSK (Gaussian minimum-shift keying). Les principaux services de GSM sont le service téléphonique et le service de transmission, mis en œuvre en mode circuit.

I.3 .Les techniques de multiplexages

Les techniques de multiplexages sont utilisées dans tous les réseaux mobiles (2G, 3G, 4G) et sont les suivantes :

I.3.1.Le TDD

En TDD, une seule et unique fréquence est utilisée alternativement par deux voies de communications.

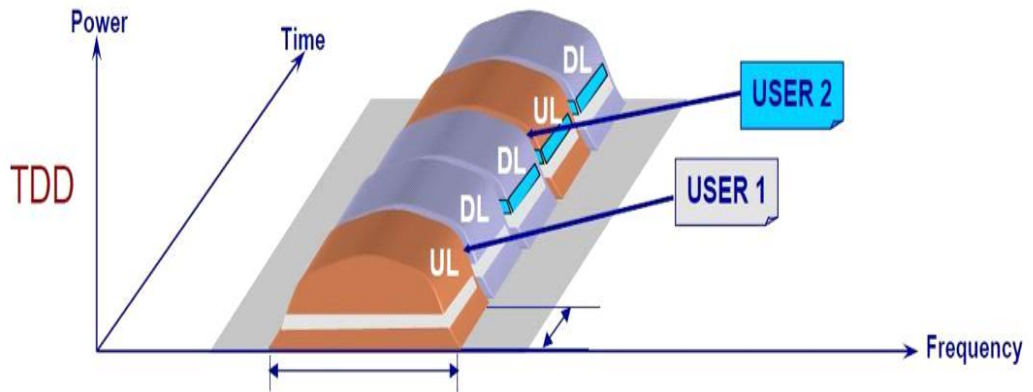


Fig I.1 : Multiplexage TDD

I.3.2.Le FDD

En FDD, chaque sens de communication (mobile vers réseau et réseau vers mobile) utilise une fréquence particulière, ainsi le mobile et le réseau peuvent transmettre simultanément.

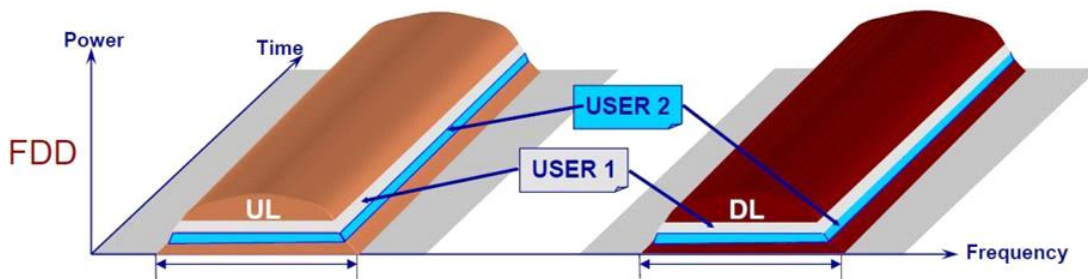


Fig I .2: Multiplexage FDD

I.4. Architecture de GSM

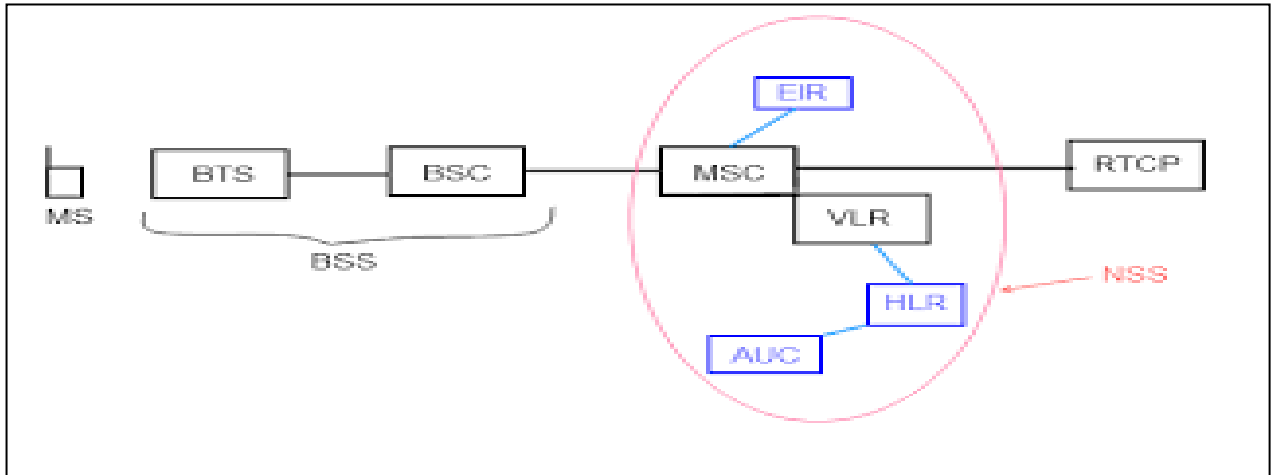


Fig I.3 : Architecture du GSM

I.4.1. La station mobile (MS)

Le MS est l'équipement physique utilisé par l'utilisateur pour accéder aux services de télécommunication.

I.4.2. Le sous-système radio (BSS)

Le BSS comprend :

- a- Les **BTS**: sont des émetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence.
- b- Les **BSC** : des contrôleurs qui contrôlent un ensemble de BTS.

I.4.3. Le sous-système d'acheminement ou sous-système (NSS)

NSS (*Network Sub-system*) comprend l'ensemble des fonctions permettant l'établissement des appels et la mobilité. Il comprend des bases de données et des commutateurs les quels sont :

- a- Les **MSC** (*Mobile switching center*) : sont des commutateurs mobiles chargés de l'interconnexion avec les autres réseaux (classique par exemple) et de la coordination d'appels.
- b- Les **VLR** (*Visitor Location Register*) : Cette base de données contient temporairement des informations sur les abonnés qui visitent une région desservie par un MSC.

c- **Le HLR** (*Home Location Register*) : base de données de localisation et de caractérisation des abonnés.

I.4.4. Le sous-système d’exploitation et de maintenance (OSS)

OSS comprend :

a- **Les OMC** : Permettent une supervision locale des équipements (BSC/MSC/VLR). Ils gèrent les alarmes, les pannes et la sécurité.

I.5. Les interfaces de réseau GSM

Une interface réseau est un dispositif matériel qui assure le dialogue entre les équipements et permet leur interfonctionnement.

Noms	Localisation	Fonction
Um	Station mobile-BTS	Interface radio
A-bis	BTS-BSC	Transfert des communications
A	BSC-MSC	Transfert des données
B	MSC-VLR	Transfert des données

Tab I.1 : Les interfaces de réseau GSM

I.6. Techniques d’accès multiples

I.6.1. Accès multiple à répartition fréquentielle

FDMA (*Frequency Division multiple Access*) est une méthode de multiplexage qui est la plus ancienne. Le principe du FDMA est de diviser la bande de fréquences en plusieurs sous bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse ou carrier qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut transporter que le signal d’un seul utilisateur.

La méthode FDMA est essentiellement utilisée dans les réseaux analogiques.

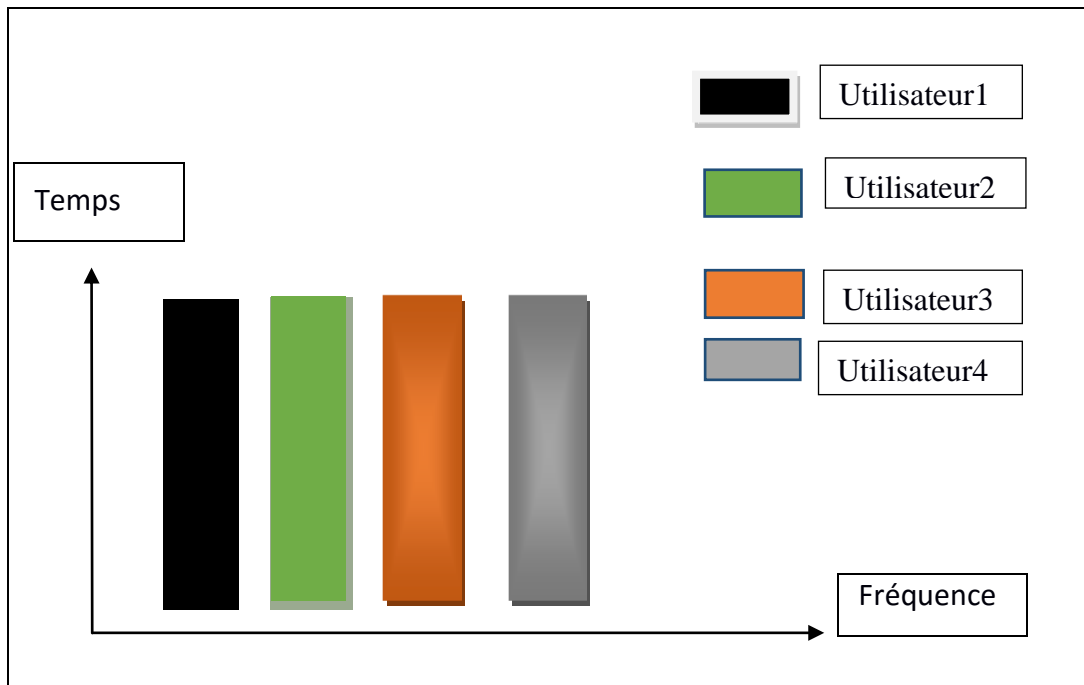


Fig I.4 : Multiplexage FDMA

I.6.2. Accès multiple à répartition temporelle

TDMA (*Time Division multiple Access*) : Cette technologie est utilisée dans la norme GSM. Les usagers d'un système TDMA utilisent tous la même bande de fréquence f . Le partage de la ressource est effectué au travers de l'allocation d'un intervalle de temps propre à chaque usager, les mobiles doivent émettre à des instants bien précis. Chaque porteuse (canal physique) supporte 8 intervalles de temps (time slot) attribués à 8 communications simultanées. Sachant qu'un time slot a une durée de 0.5769ms, donc la durée de la trame TDMA est de 4.6152ms.

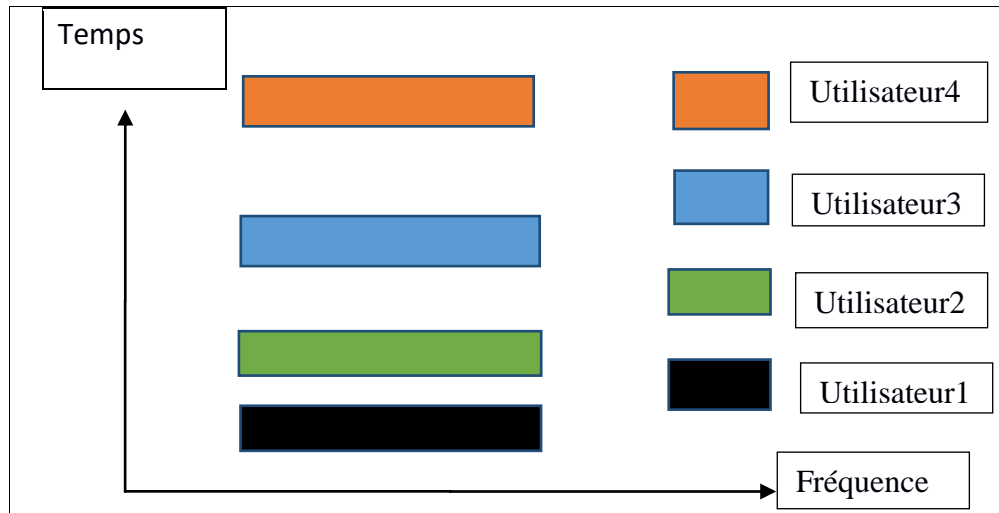


Fig. I.5 : Multiplexage TDMA

I.7.La modulation adaptative au GSM

Le procédé de modulation MSK présente des lobes secondaires relativement atténués. Cependant, et dans le but de minimiser l'importance de ces lobes secondaires on place un filtre à réponse gaussienne entre les données NRZ et le modulateur MSK. L'objectif est évidemment de juxtaposer sur le plan fréquentiel plusieurs canaux radio sur un espace fréquentiel minimum. Il en résulte que, pour un même débit binaire, la modulation GMSK a comme avantage d'occuper une largeur de bande moins importante que la modulation MSK classique. Ce type de modulation permet de transporter un bit par symbole.

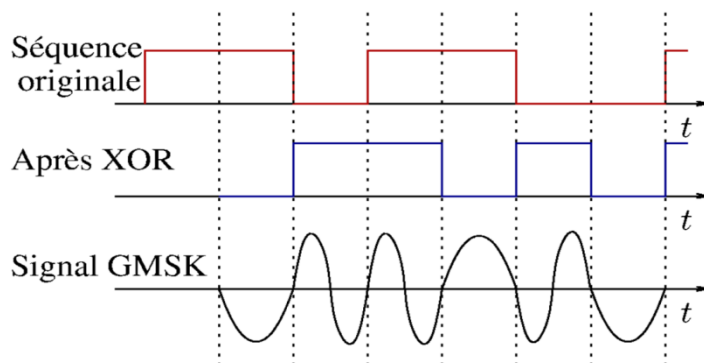


Fig I. 6 : Création d'un signal modulé par GMSK au départ d'un train binaire

I.8.Système de radiocommunication cellulaire

I.8.1.Le concept cellulaire

Un réseau cellulaire divise la zone à couvrir, généralement en petites zones appelées cellules (Une cellule a une forme hexagone). Chacune des cellules est desservie par une station de base BS (*Base Station*) qui reçoit une partie des fréquences disponibles .C'est avec cette station de base que communiquent tous les téléphones mobiles dans la cellule concernée. Une cellule est identifiée par un BSIC (*Base Station Identity Code*).Les mêmes fréquences ne peuvent pas être utilisées par deux stations de base voisines pour éviter les interférences. Le choix de cette architecture se justifie par le fait qu'elle permet d'économiser le spectre hertzien.

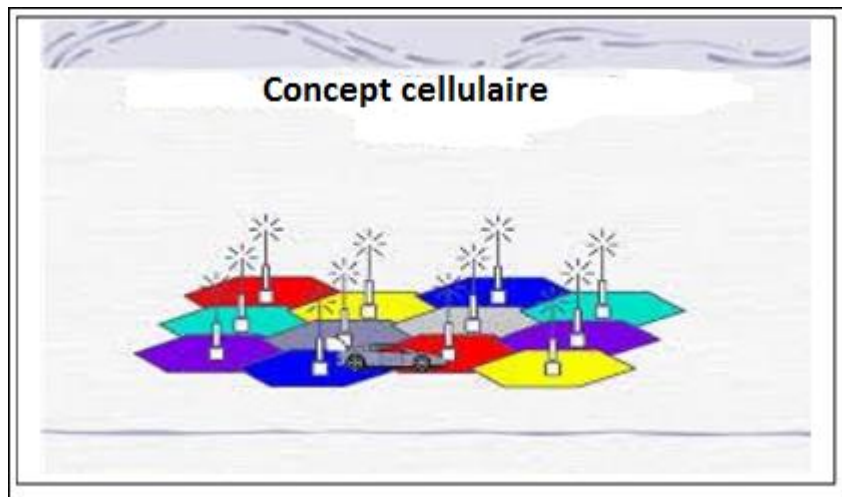


Fig I.7 : Le concept cellulaire

- Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend :
 1. Du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.
 2. De la nature de constructions (maisons, buildings, immeubles).
 3. De la localisation (rurale ou urbaine) et donc de la densité des constructions.
- On distingue quatre types de cellules : Macro (cellule à grande couverture), micro (cellule à couverture moyenne), pico (petite cellule de quelque dizaine de mètres).

I.8.2. Les fonctions du réseau cellulaire

- Gestion des ressources Radio RRM (*Radio Ressource Management*) :

Sélection de la cellule (choix de la porteuse), ouverture d'une connexion, handover, contrôle en cours de communication.

- Gestion de la mobilité MM (*Mobility Management*).
- Gestion de sécurité.
- Établissement et relâchement des appels.

I.9. Le Handover

I.9.1. Le Handover en GSM

Le Handover est le processus par lequel une communication est maintenue lors du déplacement du mobile dans le réseau cellulaire. Le GSM mesure en permanence la puissance de signal reçue de la BTS et écoute régulièrement les signaux des BTS voisines.

Quand il constate que la puissance de la cellule voisine est mieux, il informe sa BTS sur la voie balise (canal BCH). La BTS passe le relais à une BTS voisine et met en œuvre le processus Handover qui oblige tous les mobiles GSM à écouter les BTS voisines en plus de leur BTS.

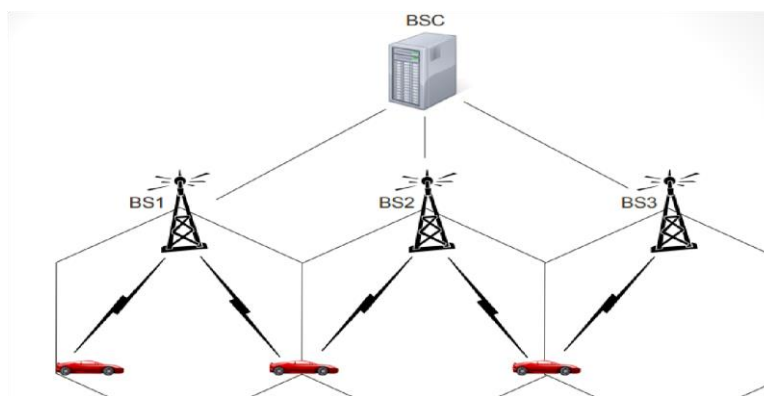


Fig I.8 : Le Handover

I.9.2.Le handover en 3G

En 3G on peut distinguer deux types de handover :

I.9.2.1.Hard handover

Début du nouveau service avec la nouvelle BTS après la déconnexion avec l'ancienne BS (délai d'arrêt). La station communique avec une seule BTS.

I.9.2.2.Soft Handover

Début du nouveau service avec la nouvelle BTS avant la déconnexion avec l'ancienne BTS (pas de délai d'arrêt). La MS communique avec plusieurs BTS en même temps, et maintient une liste de BTS active set.

I.10.La localisation (*paging*)

La découverte de la localisation, plus connue sous le nom de *paging*, est la procédure réalisée par le réseau pour retrouver la position d'un mobile afin de l'informer d'un appel entrant et lui acheminer les données. Le *paging* consiste à diffuser plusieurs messages de recherche sur un ensemble de surface usager.

I.11.Les limites de réseau GSM

Le réseau GSM a connu une révolution dans la téléphonie mobile; mais il présente l'inconvénient de ne pas avoir le service d'accès à internet .Par la suite il vient le réseau GPRS qui nous offre ce service.

I.12.Evolution des services de la norme GSM

I.12.1.Le GPRS

GPRS est une norme pour la téléphonie mobile dérivée de GSM mais il ajoute par rapport à ce dernier, la transmission par paquets. La norme GPRS permet non seulement un débit plus

important; mais surtout des services web, l'envoi de messages multimédia et de disposer d'une connexion. Le déploiement du GPRS nécessite la mise en place d'une infrastructure réseau basée sur la commutation paquets et l'introduction de passerelles au réseau GSM existant afin de fournir les services cités, ces passerelles sont :

a-SGSN : Le nœud de service SGSN (*Serving GPRS Support Node*) relié au BSS. Il permet la gestion des données d'abonné, la gestion de sa mobilité ainsi que la phase d'établissement d'une session et du contrôle de la qualité de service.

b-GGSN : Le nœud passerelle GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) est un routeur permettant de transiter les paquets de données entrants/sortants entre le réseau GPRS et les réseaux externes.

I.12.2.EDGE

EDGE est une amélioration des systèmes GSM proposant des débits utilisateur élevés grâce à une nouvelle modulation et de nouveaux algorithmes de codage canal sur l'interface radio. La norme EDGE propose des débits allant jusqu'à 384Kbit/s. En EDGE la modulation GMSK devient 8-PSK. La vitesse de modulation est la même que le GMSK mais permet un débit 3 fois plus élevé, chaque état de modulation transmettant l'information relative à 3bits. Cela a pour effet de tripler le débit brut de l'interface radio.

I.12.2.1.Modulation utilisée en EDGE

En EDGE on utilise deux types de modulations GMSK et 8-PSK, dont le 8-PSK est utilisé quand la qualité de transmission est très importante comme les montre le tableau ci après :

Schémas de modulation	Modulation	Taux maximum (Kb/s)
MCS-1	GMSK	MSC-18,8
MCS-2		11,2
MCS-3		14,8/13,6
MCS-4		17,6
MCS-5	8-PSK	22,4
MCS-6		29,6
MCS-7		44,8
MCS-8		54,4
MCS-9		59,2

Tab I.2 : Les modulations d’EDGE

La modulation PSK (*Phase Shift Keying*) est une modulation par changement de phase désigne une famille de formes de modulations numériques qui ont toutes pour principe de véhiculer de l’information binaire via la phase d’un signal de référence (porteuse), la phase ne peut prendre qu’un nombre fini de valeurs.

On peut augmenter le nombre d’états d’une porteuse modulée en phase numériquement de 4 pour le QPSK (2 bits par symbole), on réalise aussi des modulations à 8 états (3 bits par symbole) ,16 états (4 bits par symbole) et 32 états (5 bits par symbole) ; La norme EDGE utilise 8-PSK ce qui lui permet d’augmenter le débit.

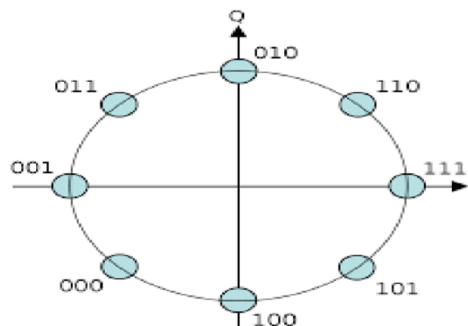


Fig I.9 : Constellation 8PSK

I.13. Les réseaux mobiles de troisième génération

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), issu du GSM et le CDMA2000. Les systèmes dits 'troisième génération' conçus pour les communications peuvent être enrichies d'images et de vidéo de grande qualité. La 3G est basée sur la technologie WCDMA et permet des améliorations par rapport au GSM, dont elle rend possible un accès plus rapide à Internet par l'accroissement des débits pouvant atteindre 2 Mbits/s ; ainsi une amélioration des communications en tendant vers une qualité d'audition proche à celle de la téléphonie fixe.

I.14.L'UMTS

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) désigne une technologie retenue dans la famille dite IMT 2000 (*International Mobile Telecommunication*) comme norme pour les systèmes de télécommunications mobile dits de troisième génération (3G), qui succéderont progressivement au standard actuel : le GSM.

I.14.1.Les Objectifs de l'UMTS

- Assurer la continuité avec les services actuels de téléphonie mobile, mais aussi de supporter de nouveaux services de transmission de données en paquet, à haut débit, avec différentes qualités de services(QOS) pour des systèmes mobiles d'accès à internet.
- Créer un système cellulaire de 3G utilisant la technologie CDMA large bande (W-CDMA) et permettant l'interopérabilité avec le GSM et ses évolution (GRPS et EDGE).
- Offrir une itinérance globale aux utilisateurs et accroître la capacité du système pour le service voix mais surtout d'améliorer le support des services de données.

I.14.2.Les évolutions de l'UMTS

L'UMTS connaît deux évolutions majeures que nous présentons brièvement dans les parties suivantes :

- 1- Le HSPA (*High Speed Packet Access*).
- 2- Le HSPA+ (*High Speed Packet Access+*).

I.14.2.1. Le HSPA

Les évolutions HSPA, aujourd'hui connues commercialement sous le nom de 3G+, furent introduites :

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

- ✓ L'innovation principale du **HSPA** concerne le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio à une commutation par paquets, où la station de base décide dynamiquement du partage des ressources entre les UE actifs.
- ✓ L'allocation dynamique des ressources est effectuée par la fonction d'ordonnancement ou *scheduling*.
- ✓ La modulation 16QAM (*16Quadrature Amplitude Modulation*) est introduite pour la voie descendante et la modulation QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) pour la voie montante.

- ✓ L'introduction de HARQ (*Hybrid Automatic Response request*) entre l'UE et la station de base, afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets.

Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximaux de 14.4 Mbit/s en voie descendante et de 5.8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite.

I.14.2.2. Les évolutions HSPA+

HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :

- Les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système.
- La gestion des utilisateurs *always-on*.

L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques :

- L'utilisation de la modulation **64QAM** en voie descendante et la modulation **16QAM** en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité **DC-HSDPA** (*Dual Carrier-HSDPA*).

- L'augmentation de spectre supportant la transmission (5 MHz à 10 MHz) ce qui double le potentiel des débits fournis à l'utilisateur.
- L'introduction de la fonctionnalité **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) pour l'amélioration de débit en voie descendante.

I.15. Architecture de l'UMTS

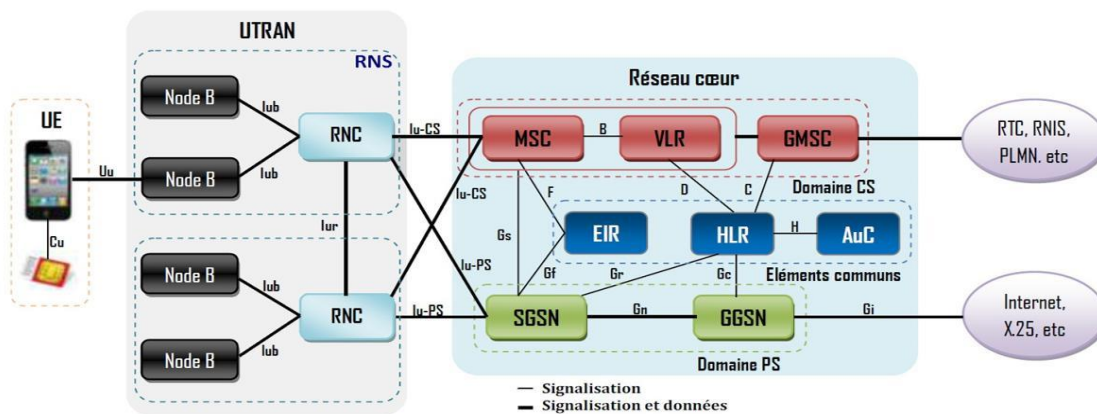


Fig I.10 : L'architecture de l'UMTS

L'architecture UMTS est constituée d'une partie radio appelée RNS (*Radio Network Sub-system*) et d'une partie réseau de base appelée CN (*Core Network*).

Architecture GSM-GPRS	Architecture UMTS
BSC : Base Station Controller	RNC : Radio Network Controller
MS : Mobile Station	UE : User Equipment
BTS : Base Transceiver Station	NodeB
MSC : Mobile-services Switching Center	U-MSC : UMTS – MSC

Tab I.3 : Les différentes entités de l'architecture UMTS

I.16. Les interfaces de l'UMTS

1-L'interface Iub

Relie les NodeBs et RNC. L'UMTS c'est le premier système à proposer une interface ouverte à ce niveau.

2-L'interface Iu

L'interface Iu relie le réseau d'accès radio UTRAN au réseau cœur.

3-L'interface Iur

Permet le soft handover entre les RNCs.

4-L'interface Uu

Il s'agit de l'interface radio entre l'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et l'UE (User Equipment) utilisent le CDMA.

I.17. La technologie utilisée dans UMTS

UMTS utilise la technologie W-CDMA (*Wide band CDMA* ou *CDMA large bande*). Cette dernière est basée sur une technique d'accès multiples CDMA et supporte les deux schémas de duplexages FDD et TDD.

I.17.1. CDMA

Le CDMA (*Code Division Multiple Access*) est un système de codage permet à plusieurs liaisons numériques d'utiliser simultanément la même fréquence porteuse. En effet chaque utilisateur est différencié par un code N qui lui a été alloué au début de sa communication et qui est orthogonal au reste des codes liés à d'autres utilisateurs. Dans ce cas pour écouter l'utilisateur, le récepteur n'a qu'à multiplier le signal reçu.

I.17.2. W-CDMA

Le WCDMA est une technique d'accès dérivée de CDMA (*Code division multiple Access*). Tous les utilisateurs émettent sur un même canal radioélectrique à large bande, mais ils sont distingués par une séquence d'étalement pseudo-aléatoire. Le signal utile est étalé sur une largeur de bande de 3.84 MHz avant mise sur porteuse (d'où le nom large bande), une porteuse occupe un canal de 5MHz.

Le W-CDMA autorise la connexion simultanée à plusieurs cellules.

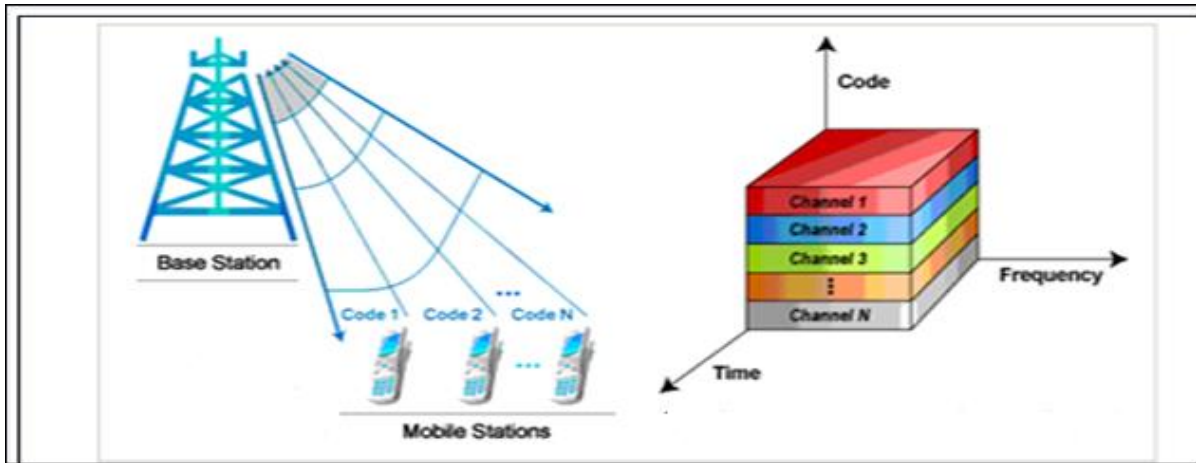


Fig I.11 : W-CDMA

I.17.2.1. Les caractéristiques de W-CDMA

Le système W-CDMA apporte les avantages d'une plus grande bande passante disponible pour l'utilisateur. Cette norme possède les avantages suivants :

- Rejet d'interférence.
- Capacité d'accès multiple : tous les utilisateurs utilisent simultanément toute la bande de fréquence grâce aux codes de faibles corrélations.
- Meilleure efficacité spectrale : réutilisation totale des fréquences dans les cellules.

I.18. Les modulations adaptatives au réseau 3G

Comme nous avons déjà mentionné en HSPA, ils ont introduit la modulation 16QAM pour la voie descendante. Ainsi en HSPA+, ils utilisent la modulation 16QAM pour la voie montante et 64QAM pour la voie descendante ce qui permet un débit élevé.

I.18.1. La modulation 16QAM

16 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), ce type de modulation utilise 4 bits par symbole et elle donne 2^4 (16) états en introduisant deux niveaux de modulation d'amplitude, au lieu d'un seul.

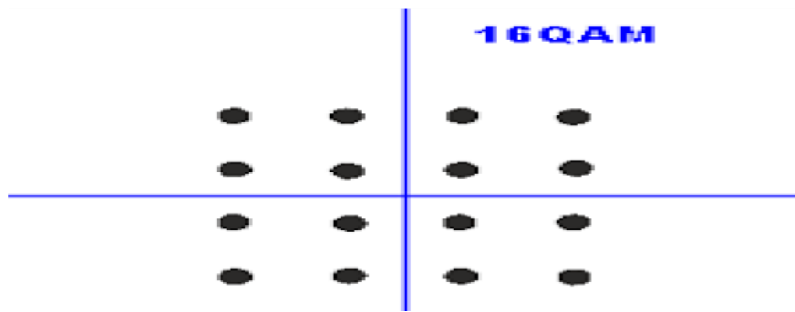


Fig I.12 : Constellation de 16QAM

I.18.2. La modulation 64QAM

Ce type de modulation utilise 6 bits par symbole et elle donne $2^6(64)$ états. Les modulations **16QAM** et **64QAM** sont introduites pour augmenter le débit en bits par seconde sans augmenter la largeur du canal de communication, diminuant, ainsi, le bruit du signal modulé.

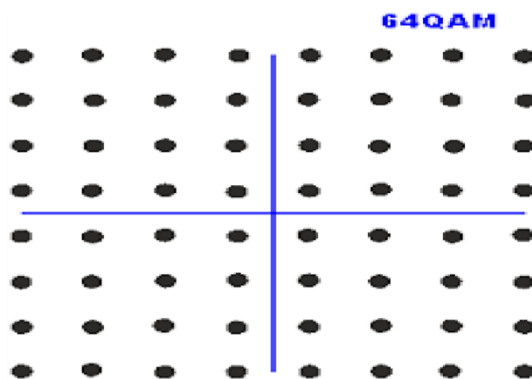


Fig. I.13 : Constellation 64QAM

I.19. Les ressources utilisées dans la 3G

I.19.1. Les codes

Il existe deux codes en UMTS :

- Codes de canalisation ou OVSF.
- Codes d'embrouillages ou codes de Gold.

- **Codes de canalisation ou codes OVSF**

OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) sont utilisés pour identifier les utilisateurs dans une cellule.

- Dans la voie montante :

Chaque utilisateur possède un code de canalisation et un code d'embrouillage.

- Dans la voie descendante :

Les émissions issues d'une même source sont séparés grâce aux codes de canalisation .Ces codes sont les codes d'étalement sont basés sur la technique OVSF, cette technique permet de maintenir l'orthogonalité des différents codes d'étalement SF .Ces derniers sont choisis parmi ceux de l'arbre des codes qui est dans la figure **I.14**



Fig I.14 : L'arbre des codes

Il existe cependant certaines restrictions quant à l'utilisation des codes d'étalement. Un canal physique ne peut utiliser un code que si aucun code de la branche qui en découle n'est utilisé par un autre canal physique.

Le SF maximal autorisé par la norme UTRAN est de 256 pour les canaux montants et de 512 pour les canaux descendants. Dont le SF16 est utilisée par le HSDPA de façon partagée entre les utilisateurs.

- **Codes d'embrouillages ou de Gold**

Ils sont utilisés pour pallier les problèmes d'interférences provenant des stations de base voisines qui utilisent un code d'embrouillage différent.

I.19.2. Le RTWP

Le RTWP est le niveau de bruit avec la bande de fréquence de n'importe quelle cellule. Il s'agit plutôt d'une norme pour mesurer les niveaux d'interférences dans la bande de 3.84 MHz de la liaison montante dues à l'augmentation de nombre d'utilisateurs comme ou bien aux brouilleurs. Le RTWP est mesuré en décibels par milliwatt. Un réseau non chargé indiquera un

RTWP de moins 105 dBm un réseau fortement encombré est indiqué par un RTWP de moins 85 dBm. Le niveau de service acceptable est considéré comme étant compris entre moins 95 dBm et moins 105 dBm. Ces interférences peuvent survenir à cause des brouilleurs ou le bruit thermique.

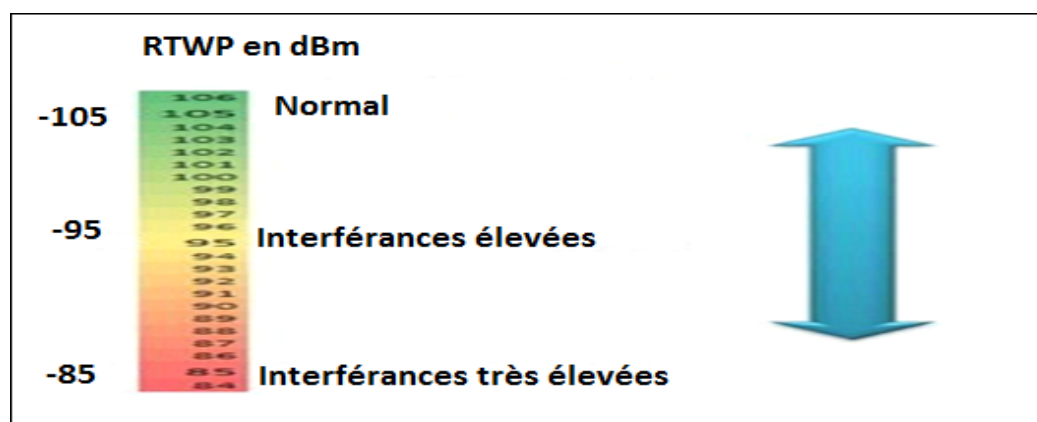


Fig I.15 : RTWP

I.19.3 Le CE (*Channel Element*)

CE (*Channel Element*) décrit les ressources de capacité sous licence requise pour un canal dédié (DCH). Le nombre de *Channel Element* est basé sur le type de trafic et dépend des *Bearers* radio à utiliser ainsi que le nombre d'utilisateurs simultanés pour chaque *Bearer* radio spécifique. Chaque fois qu'un canal dédié est utilisé, les *Channel Elements* sont consommés dans UL et DL. Si la quantité des *Channel Elements* de canal disponibles est insuffisante, un blocage peut se

produire. Pour éviter le blocage le débit d'un utilisateur *best effort* sera réduit pour que les *Channel Elements* soient disponibles. Dans un RAN, les ressources CE sont gérées par le RNC et le NodeB. Le NodeB signale sa capacité CE au RNC et ce dernier détermine s'il convient d'admettre au service. Ces ressources sont gérées dynamiquement par le NodeB.

I.20. Les motivations pour l'introduction de LTE

- **La capacité**

Il convient de préciser les interactions entre débit et capacité. La capacité d'une cellule correspond au trafic total maximal qu'elle peut écouler au cours d'une période donnée. En notant que, la technologie HSPA emploie la technique de partage des ressources entre UE actifs sous une même cellule ce qui provoque une réduction de débit fourni à chacun. En effet, la mise en marché de terminaux tels que les Smartphones ou les clés 3G+ a provoqué une très forte croissance du trafic de données mobiles. Par conséquent, le besoin d'accroître la capacité des réseaux mobiles est l'une des raisons majeure ayant motivé l'introduction de LTE.

- **Le débit**

Les valeurs des débits fournis aux abonnés ont nettement avancé avec l'introduction des techniques HSPA et HSPA+. En revanche, la volonté d'offrir en mobilité une expérience utilisateur comparable à celle offerte par les réseaux résidentiels, demande l'introduction de débits supérieurs à ceux fournis par les technologies HSPA. L'attente des opérateurs à répondre à cette exigence s'est donc confirmée au cours du temps, et elle est aujourd'hui un des motifs de déploiement du LTE.

- **La latence**

La latence traduit la capacité du système à traiter rapidement des demandes d'utilisateurs ou de services. Une latence forte limite l'interactivité d'un système et s'avère pénalisante pour l'usage de certains services de données. L'UMTS et ses évolutions HSPA offrent une latence du plan usager supérieure à 70 ms, valeur trop importante pour offrir des services tels que les jeux vidéo en ligne. L'amélioration de la latence est un des éléments ayant concouru à la décision de définir un nouveau système.

I.21.Discussion

Dans ce premier chapitre on a eu l'occasion de présenter d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire.

Les premiers systèmes avaient utilisé la modulation analogique alors que, les systèmes de seconde et troisième génération avaient utilisé la modulation numérique. Une évolution a été introduite au réseau GSM vers GPRS par l'implémentation de nouveaux équipements afin d'offrir le service internet en plus de service de voix offert par GSM. Le GPRS constitue une évolution majeure vers la troisième génération (UMTS). Il est conçu pour la transmission de données en mode paquet pour assurer l'accès simple au réseau Internet et offre des débits de données beaucoup plus élevés.

Pour les réseaux de 4G nous avons présenté un bref aperçu et qui sera question de notre étude approfondie dans le prochain chapitre.

Chapitre II :



Le réseau 4G LTE

II.1. Préambule

L'évolution des réseaux mobiles de communication est marquée par l'augmentation du débit de transmission sur l'interface radio. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, en termes de qualité de services. Avec la technologie 4G on a une transmission totalement IP, qui est moins chère et plus facile à gérer pour les fournisseurs.

Dans ce deuxième chapitre, nous présenterons une étude approfondie du réseau LTE.

II.2. Définition de LTE

LTE (*Long Term Evolution*) est une norme de communication mobile proposée par l'organisme 3GPP appréhendée comme de la 4G similaire à GSM, GPRS, EDGE. Elle propose des débits élevés pour le trafic temps-réel, avec une large portée. La spécification de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents est le passage à une structure IP (Internet Protocol) pour le transport de communications vocales et des SMS sous forme de paquets. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50 Mb/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant. Pour offrir des débits élevés, le LTE emploie la technologie OFDMA dans le sens descendant, et le SC-FDMA dans le sens montant. Le LTE respecte les délais requis par le trafic temps-réel. Cette technologie prend en charge la mobilité des utilisateurs en exécutant le Handover à une vitesse allant jusqu'à 350 km/h.

II.3. Les Applications de LTE

- Jeux en ligne haute définition.
- Streaming vidéo haute définition en déplacement
- Transfert de données plus rapide
- Connectivité à des vitesses élevées 100km/h
- Appels vocaux utilisant VoLTE (*Voice over LTE*)
- Home eNodeB, qui fournit la connectivité Internet aux petits appartements et bâtiments
- Meilleure couverture par déploiement.
- Meilleure sécurité selon les besoins des applications militaires et de sécurité publique.

II.4. Architecture de LTE

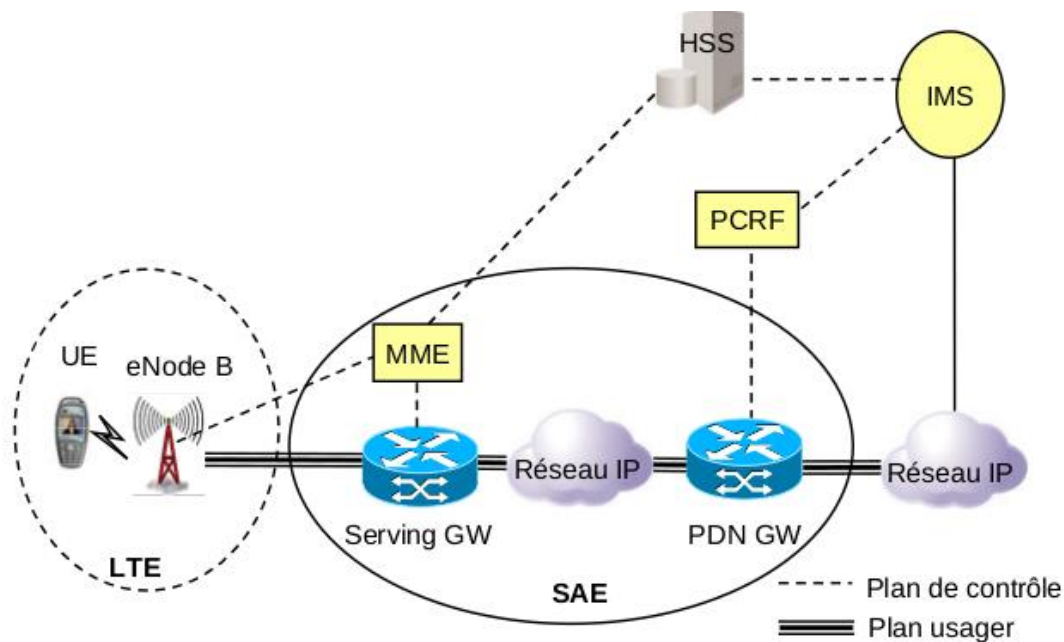


Fig II.1 : Architecture de LTE

II.4.1.1. L'EPS

ESP (*Evolved packet System*) représente l'ensemble du réseau à savoir LTE et SAE. Il a les caractéristiques suivantes :

Il possède une architecture plate et simplifiée comparée à celle hiérarchique 2G/3G. La seule entité présente dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilé à une NodeB+RNC.

-Il s'agit d'une architecture uniquement paquet comparée à l'architecture 2G/3G circuit et paquet.

-Il permet une connectivité permanente tout-IP comparée à des contextes PDP temporaires ou permanents en 2G/3G dans le domaine paquet.

-Son interface radio est totalement partagée entre tous les usagers en mode ACTIF comparée à des ressources dédiées et partagées dans l'architecture 2G/3G. Les appels voix et visiophonie requièrent des ressources dédiées en 3G.

-Il permet des handover vers les réseaux 2G/3G et CDMA/CDMA2000.

II.4.2. UE

Le Terminal s'appelle UE (*User Equipment*) doit être muni d'une carte SIM (*Subscriber Identity Module*) et compatible au réseau 4G pour qu'il puisse fonctionner. Ce

terminal qui peut-être un Smartphone, tablette, Laptop permet un débit théorique de 100 Mbits/s.

II.4.3. Entité eNodeB

L'eNodeB est une station de base radio responsable de la transmission avec L'UE. Les fonctions de contrôle du contrôleur BSC en 2G ou RNC en 3G ont été intégrées dans l'eNodeB.

II.4.4. Réseau d'accès E-UTRAN

A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentés les entités eNodeB et RNC, l'architecture E-UTRAN ne présente que des eNodeBs qui ont pour fonction la gestion des ressources radio, le contrôle d'admission, la gestion de la mobilité et l'allocation dynamique des ressources. L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le *Serving GW*.

Une nouvelle interface X2 a été définie entre les eNodeBs adjacentes. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover).

L'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'une eNodeB à une autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur la nouvelle eNodeB pour l'UE ; or le réseau continue à transférer les paquets entrants vers l'ancienne eNodeB tant que la nouvelle eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE.

II.4.5. Le réseau cœur EPC

L'EPC (*Evolved Packet Core*) utilise des technologies « full IP », à la différence des réseaux 2G et 3G dont le cœur reposait sur les principes de commutation de circuit et la commutation de paquet. 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 traverser du réseau (latence), ce qui explique le confort de l'affichage des flux temps réel sur les terminaux.

L'EPC comprend:

1. Entité MME (*Mobility Management Entity*)

Il se compose des fonctions principales dans le plan de contrôle. Il sert à:

- **L'authentification**

C'est fournir des informations nécessaires à l'identification de l'utilisateur lors de son authentification dans le système en se servant des informations provenant du HSS.

- **Signalisation EMM et ESM avec l'UE**

Les terminaux LTE disposent des protocoles échangés entre MME et UE, EMM (*EPS Mobility Management*) et ESM (*EPS session Management*) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement.

- **Joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (incluant *paging*)**

Le MME est responsable de la diffusion des messages de *paging* quand l'UE est dans l'état IDLE et que des paquets à destination de l'UE sont reçus et mis en mémoire par le *Serving GW*.

- **Gestion de la liste de *Tracking Area***

L'UE est informé des zones de localisation prises en charge par le MME, appelées *Tracking Area*. Il fait la mise à jour des paramètres de localisation de l'UE se trouvant dans une zone qui n'est pas prise en charge par le MME.

- **Sélection du *Serving GW* et du *PDN GW***

Le MME sélectionne le *Serving GW* et le *PDN GW* qui servent à mettre en œuvre le *Default Bearer* au moment du rattachement de l'UE au réseau.

2-SGW (*Serving Gateway*)

Passerelles qui servent une zone géographique permettent :

- La collecte des données envoyées par les terminaux mobiles à travers différentes eNodeB.
- La distribution des données venant des serveurs vers les eNodeB où se trouvent les terminaux mobiles.
- La S-GW maintient également les chemins de données entre les eNodeBs et les passerelles PDN-GW. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions des services par des eNodeBs différentes, la S-GW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu.

3. PGW (*Packet Data Network Gateway*)

Il est composé de l'élément 3GPP Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre LTE et les technologies 2G/3G, et l'élément SAE Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre le système 3GPP et les systèmes non3GPP (WIFI, WIMAX, etc.). Sachant que l'élément SAE Anchor ne prend aucune décision concernant la mobilité, il exécute seulement les décisions prises par l'UE. P-GW permet aussi des connexions entre réseau LTE et d'autres réseaux IP,

PSTN grâce à l'IMS ; l'allocation d'adresse IP pour l'UE, filtrage des paquets pour chaque utilisateur (*Policy Enforcement Point*).

4. HSS (*Home Subscriber Server*)

C'est une base de données qui remplace le rôle de HLR et AUC qui étaient déjà introduits dans les réseaux 2G et 3G, il contient le profil de tous les abonnés (liste, identité, leur droit et services). HSS a des données de sécurité ce qui permet de faire un contrôle d'accès, il n'échange que de signalisation (ensemble de messages échangés pour gérer l'accès au réseau, le suivi des terminaux en cas de mobilité).

5. Entité PCRF

L'entité PCRF réalise deux fonctions :

- Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un *default Bearer* ou un *dedicated Bearer* est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'utilisateur fait transiter sur son *default Bearer* des flux WAP et des flux de *streaming*, il sera possible au PDN GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP sur la base du volume alors que le flux de streaming sera taxé sur la base de la durée.
- Elle permet de demander au PDN GW d'établir, de modifier et de libérer des *dedicated Bearer* sur la base de QoS souhaitée par l'utilisateur. Par exemple, Si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS, un message SIP sera envoyé au PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session. Le PCRF dialogue alors avec le PDN-GW pour créer le *dedicated Bearer* correspondant.

6. IMS

IMS (*IP Subsystem Multimedia*) Architecture standardisée qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles.

II.5. Les interfaces entre les équipements d'un réseau cœur

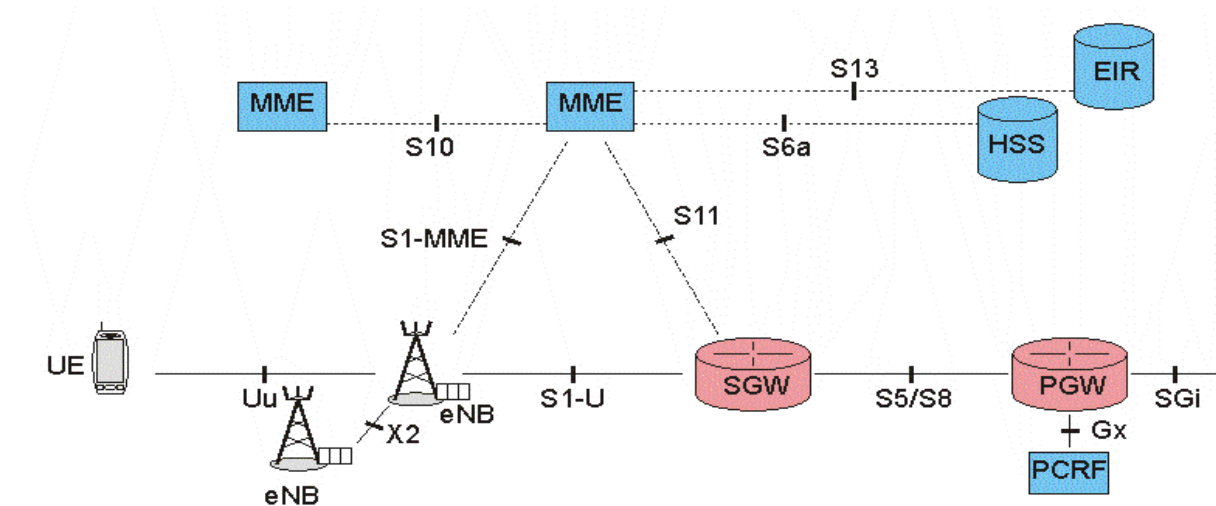


Fig II.2 : Les interfaces d'un réseau cœur

- **Interface S5** : entre le SGW et le PGW (d'un même réseau) ; Elle transporte des données utilisateurs et quelques messages de signalisation.
- **Interface S11** : entre le SGW et MME ; Elle transporte les messages de signalisation.
- **Interface S6a** : entre le MME et le HSS ; Elle transporte les messages de signalisations.
- **Interface S1-MME** : entre l'eNodeB et le MME ; Elle transporte les messages de signalisations.
- **Interface S1-U** : L'UE se connecte à l'EPC (S-GW) dans le plan d'utilisateur à travers le S1-U. Il transporte les données utilisateur entre l'eNodeB et le S-GW
- **Interface X2** : entre deux eNodeB ; Elle transporte les données utilisateurs et les messages de signalisations.
- **Interface SGI** : entre PGW et l'internet ; Elle transporte les données.
- **Interface Uu ou interface Radio** : entre le terminal(UE) et l'eNodeB ; elle transporte les données utilisateurs et les messages de signalisations.
- **L'interface Gx** : entre PGW et PCRF pour transférer la qualité de service QoS de chaque abonnés.

Pour le Roaming le système utilise l'interface S8 entre le SGW et le PGW d'un autre réseau.

II.6. La bande de fréquence utilisée

La fréquence 2600 MHz couvre une surface réduite. Ses caractéristiques font qu'elle est plus adaptée pour une utilisation en ville.

II.7. Les technologies utilisées en LTE

II.7.1 Les techniques de transmission et de multiplexage

1. La méthode d'accès OFDMA

L'OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), un mode d'accès multiples basé sur l'OFDM. L'OFDM est une technique qui permet de diviser une large bande de fréquences en nombreuses petites fréquences (appelées sous-porteuses) et de transporter des données sur chacune de ces porteuses. C'est le sens de l'expression division de fréquences. Puisque toutes les données sur chacune de ces sous-porteuses sont transmises simultanément, on peut dire qu'il s'agit d'une sorte de multiplexage. Pour une solution optimale, les sous-porteuses sont toutes indépendantes et n'influencent pas les autres, ces caractéristiques sont appelées " orthogonales " ce qui permet de lutter contre l'interférence entre symboles ; il s'agit d'une répartition de données sur des fréquences différentes. L'OFDM permet de transporter les données entre deux points en utilisant des fréquences différentes pour ne pas dégrader le message, le LTE regroupe un bloc de données à transmettre en 12 bandes de 15KHz .Elle utilise la technique d'allocation FDMA mais au lieu de séparer les canaux des différentes fréquences, on utilise des fréquences orthogonales. Pour la voie montante, on en utilise un dérivé appelé **SC-FDMA**.

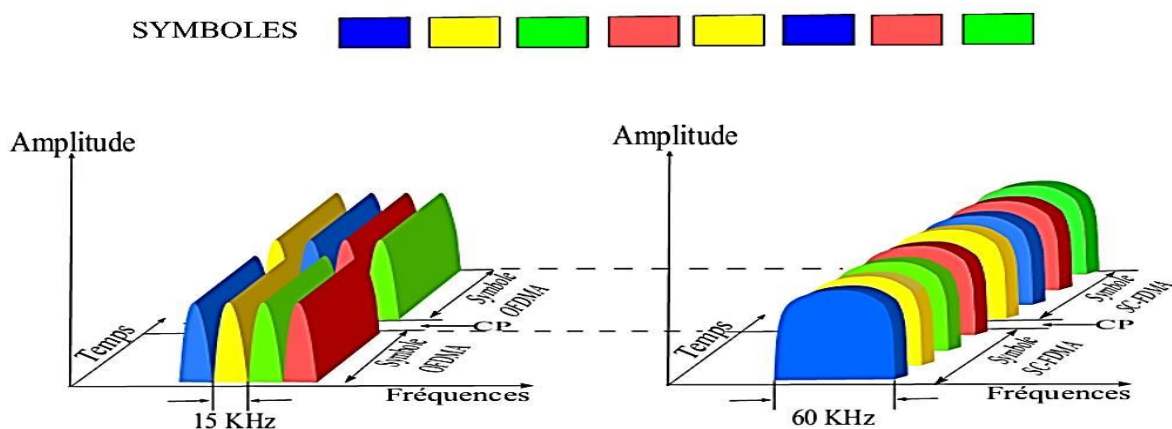


Fig II.3 :L'OFDMA et La SC-FDMA

2. La méthode d'accès SC-FDMA

Le SC-FDMA est une variante de l'OFDM utilisée dans la voie montante du LTE mais il utilise en complément, une «DFT» (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel, afin de minimiser la consommation de l'énergie dans le mobile, un autre concept est utilisé dans qui est appelé SC-FDMA. Cette technique permet de transmettre un seul symbole à la fois, réellement chaque sous-porteuse porte un sous-symbole mais visuellement c'est comme s'il n'y a qu'une seule porteuse qui est utilisée. L'avantage de SC-FDMA est que le problème PAPR élevé disparaît car il est causé par la transmission en parallèle de plusieurs symboles. Dans OFDMA, chaque flux de données est transmis dans une sous-porteuse séparée. Cependant, avec SCFDMA, plusieurs flux de données sont transmis dans la même sous-porteuse et le même temps de symbole.

II.7.2. Techniques de modulations adaptatives au réseau LTE

Le type de modulation utilisé dans le LTE dépend de l'environnement radio. La modulation varie en fonction de la distance entre l'eNodeB et le mobile. 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*).

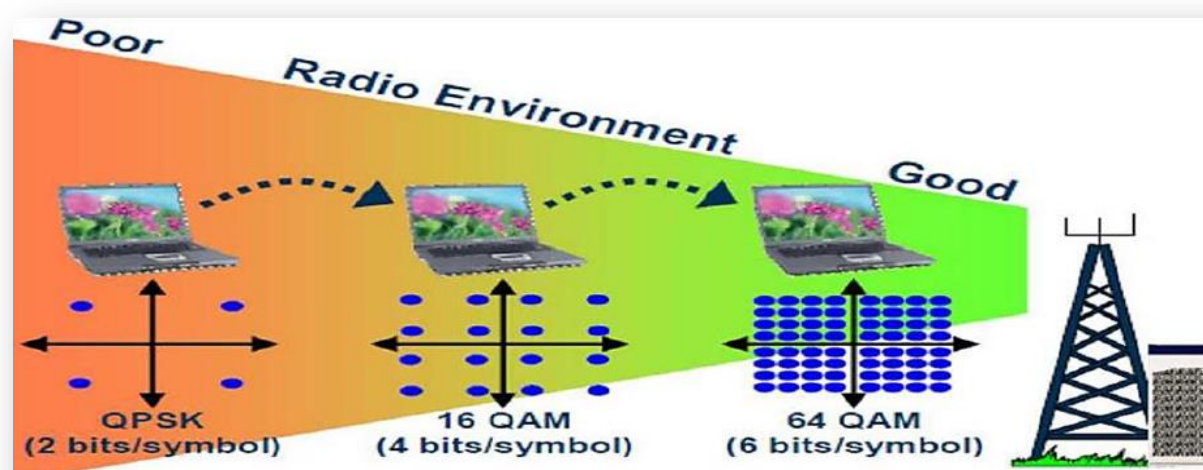


Fig II.4 : Les types de modulation en LTE

II.7.2.1. Nombre de bits pour chaque modulation

Modulation	Nombre de bits par symbole
QPSK	2
8PSK	3
16QAM	4
32QAM	5
64QAM	6

Tab II.1 : Les modulations et leur nombre de bits

II.7.3. Système MIMO

Les techniques MIMO sont utilisées en LTE dans le but d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, ceci est réalisé par la mise en place de plusieurs antennes à l'émission ainsi qu'à la réception. Une telle structure permet au système utilisé d'atteindre des débits importants et cela sans changer la largeur de la bande allouée au signal ni sa puissance d'émission.

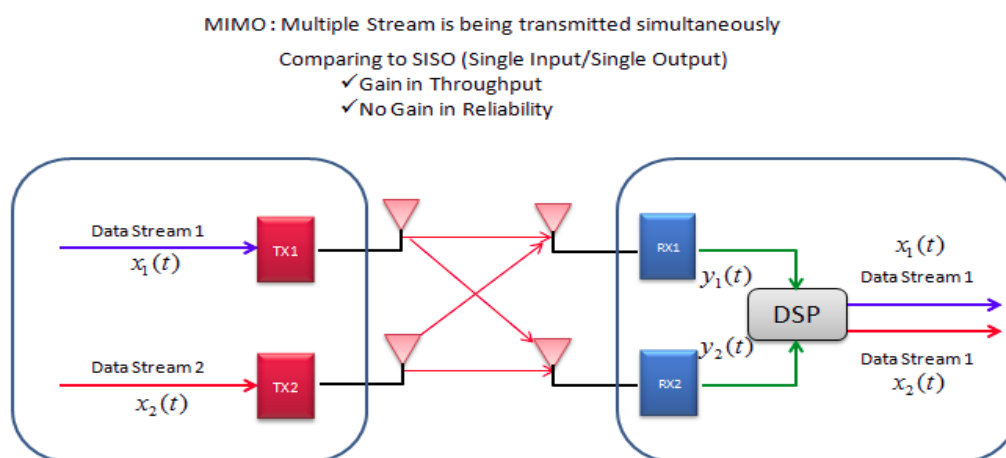


Fig II.5 : MIMO

Si 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. Un tel système permet d'apporter une diversité spatiale qui veut dire différentes antennes, et fréquentielle dont le signal est envoyé sur des fréquences différentes et une diversité temporelle. Dans ce cas plusieurs antennes peuvent émettre simultanément sur la même fréquence. Le flux est divisé en différents flux de même fréquence qui sont envoyés via 3 émetteurs à 3 récepteurs. L'algorithme permet ensuite d'identifier les différents flux en vue de les restituer en un seul.

II.7.4.HARQ et ARQ

L'UE doit adopter certaines techniques ou il peut transmettre des données rapidement et de manière fiable. Quand il y a des paquets erronés reçus sur UE ou eNodeB, il y aurait une sorte de mécanisme appliqué sur les dispositifs pour corriger les erreurs. Par conséquent, dans le LTE deux mécanismes sont suivis pour détecter et corriger les erreurs. Un mécanisme (**ARQ**) est mis en œuvre dans la couche MAC qui prend soin de ces erreurs, il envoie et attend la réponse ; si l'acquittement n'est pas reçu il fait la réémission. Soit il fixe ces erreurs ou rejette les paquets et l'expéditeur demande une retransmission.

Le second mécanisme (**HARQ**) est mis en œuvre pour augmenter les capacités de correction d'erreurs le récepteur conserve en mémoire tous les messages erronés qui a reçu précédemment, cette accumulation augmente la redondance donc les chances de reconstituer la donnée transmise pour améliorer la diversité l'émetteur change la séquence de codage à chaque réémission, hybride car la couche MAC collabore avec la couche PHY pour l'informer si les données à transmettre sont nouvelles ou se sont des répétitions . En outre, il pourrait y avoir une chance que certaines applications. Par conséquent, ceux-ci sont transmis aux couches supérieures.

II.8.La trame LTE

LTE a défini deux structures de trames pour synchroniser entre l'eNodeB et l'UE. Ces structures diffèrent entre les modes de duplexage TDD et FDD :

II.8.1.Trame LTE de type1(FDD)

En mode FDD, les voies montantes et descendantes opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde.

II.8.2. Trame LTE de type 2 (TDD)

En mode TDD, les voies montantes et descendantes opèrent sur une même fréquence.

- Dans notre cas on va étudier le cas de la trame FDD

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1 ms. Chaque sous trame est divisée en deux slots de 0,5 ms. Un time slot dure donc 0,5 ms, durée pendant laquelle est transmis 7 symboles par bande OFDM. Or, nous avons vu qu'il y avait 12 sous porteuses. Par conséquent, $7 \text{ symboles} \times 12 \text{ porteuses} = 84 \text{ symboles}$ sont transmis en 0,5 ms.

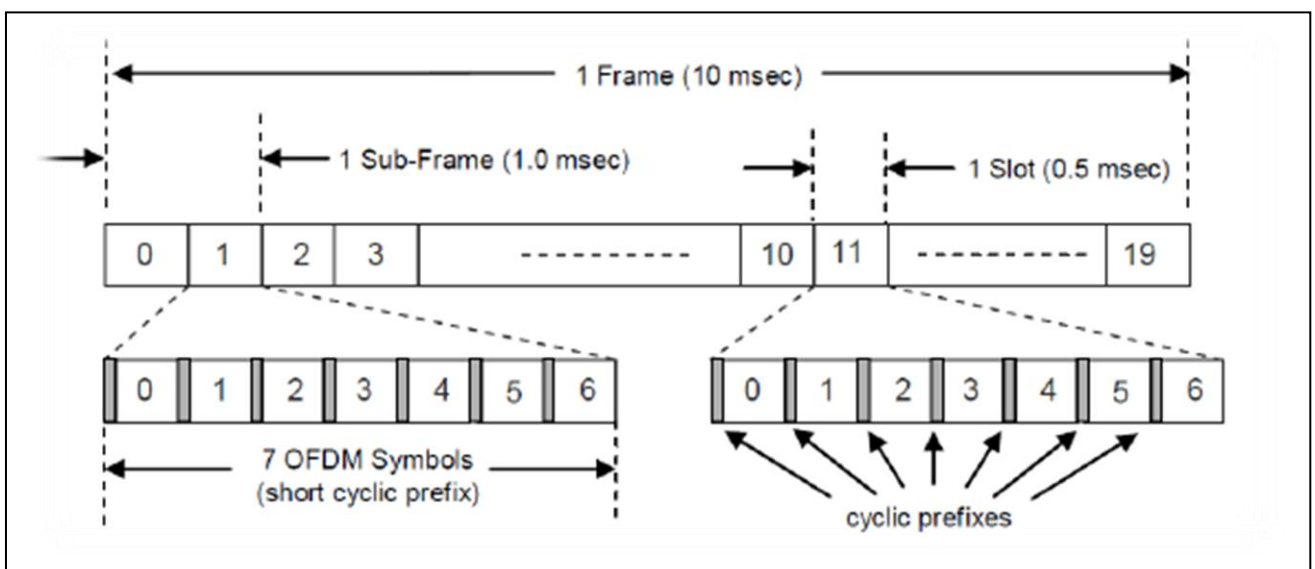


Fig II.6 : La trame TDD en LTE

- **Exemple d'une structure de trame LTE**

Le cadre LTE n'est rien d'autre qu'une grille imaginaire de temps en fonction de la fréquence, ou il existe des espaces réservés pour différents canaux et signaux, par exemple: les canaux de contrôle de liaison descendante sont toujours limités aux trois premiers symboles de la sous-trame.

Nous donnons un exemple sur une structure de liaison descendante de 10 MHz, FDD, avec la configuration suivante :

- Mode de duplexage FDD
- Bande passante de 10 MHz
- Nombre de symboles de contrôle -2
- Nombre d'utilisateurs attribués -1
- Nombre de blocs de ressource dédiés à l'utilisateur ci-dessus 20

-Indice de début du bloc de ressources 0

-Nombre d'antennes d'émission 1

Nous avons ci-dessous la structure de tram de liaison descendante pour la configuration ci-dessus

Dans cette structure on a :

-Un nombre de blocs de ressources (RB) sur les 10Mhz =50

-Nombre de sous-porteuses par RB=12

-Nombre de sous porteuses par symbole =50*12=600

-Nombre de symboles par sous-trame=14

-Nombre de signaux de sous-porteuses de signaux de référence par RB=2

-Nombre de sous-porteuses occupées par PBCH=72

-Nombre de symboles pour chaque PBCH=4(les 4 premiers de deuxième Slot)

-Les sous porteuses occupées par PSS=72

-Les sous porteuses occupées par SSS=72

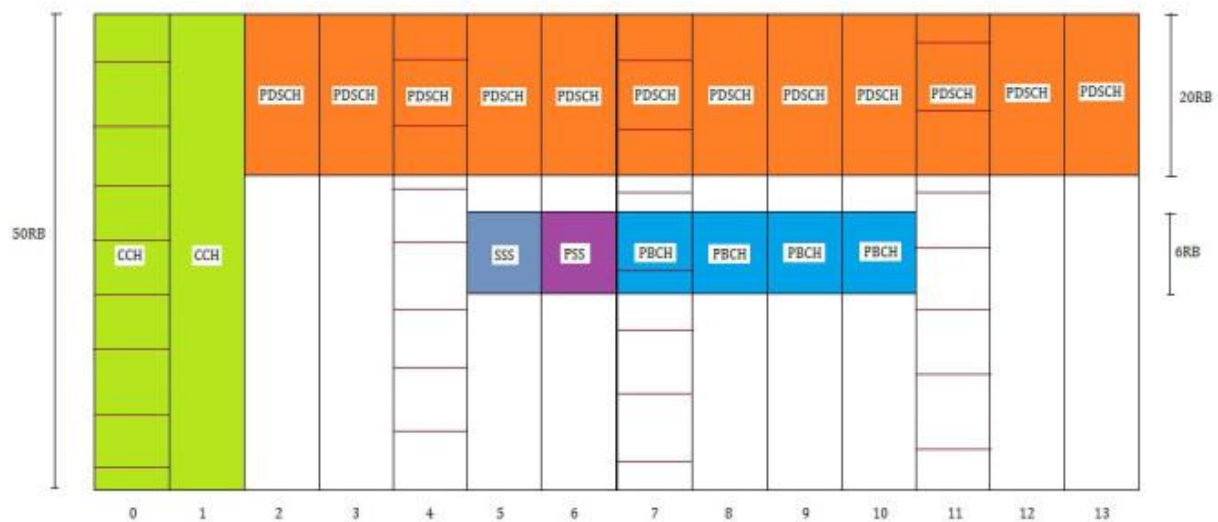


Fig II.7 : La structure d'une trame LTE

- **Signal de référence**

Le symbole 0, 4, 7, 11 contient le signal de référence (se répète 4 fois par chaque trame) de la liaison descendante qui est spécifique à la cellule, et mappé sur une sous porteuse sur six dans ses symboles .Il est unique à chaque antenne et, si plus d'une antenne est utilisée pour

La transmission, il y aurait plus de signaux de référence cartographiés dans la sous-trame. Ce signal de références donne à l'UE des informations sur la qualité et le niveau de signal, et il se répète 4 fois par ms.

- **PDSCH**

Dans notre exemple on a le nombre de blocs de ressources alloués à l'utilisateur est de 20RB, nous pouvons voir que ses données sont mappées sur le premier bloc de 20 ressources à partir de l'index RB 0 à l'index RB 19.

- **PBCH**

Le PBCH transporte les le MIB qui contient des informations telles que la bande passante du système, le nombre d'antennes et le numéro de la trame. Le PBCH est toujours transmis dans toutes les sous-frames 0 de toutes les trames radio, il occupe les 6 RB centraux, ce qui permet à l'UE de décoder le PBCH indépendamment de la largeur de bande du système.

- **Signaux de synchronisation PSS et SSS**

Le UE se synchronise avec le canal descendant en décodant les signaux PSS et SSS, Le PSS et le SSS sont des signaux de synchronisation mappés à chaque sous trame 0 et 5, la position reste la même, c'est à dire que PSS est mappé sur le 6eme symbole et SSS au 5eme symbole. Dont chaque cellule transmet l'une des 168 séquences uniques sur son canal de synchronisation secondaire (chaque séquence de bits est une séquence de 62 bits) et le canal de synchronisation primaire porte une des trois séquences uniques (62 bits). Ces signaux sont Utilisés pour la synchronisation de trame en liaison descendante en identifiant PCI d'une cellule ; $PCI \text{ de la cellule} = 3 * SSS + PSS$).

II.8.3.Allocation des Blocs de ressource

Dans une trame LTE l'allocation des ressources doit être dynamique, la ressource est allouée uniquement lorsque les utilisateurs l'ont besoin. Tout système radio utilise une bande de fréquence, pour partager la ressource LTE il faut la découper en sous fréquence .Le plus petit élément de base de LTE est le RE (*Ressource Element*) qui capable de transporter un jusqu'à 6 symboles, il occupe 66us et 15Khz. Comme si petit ça complique l'allocation de façon unitaire, donc on les regroupe dans des blocs de ressources (RB) qui dure 0,5ms et sa regroupe 7symboles et 12 sous porteuses .LTE alloue aux utilisateurs les RB par paires, ça forme une sous trame. Certains RE sont réservés à un usage particulier par exemple le besoin de signalisation.

Bande passante (MHZ)	1,4	3	5	10	15	20
Durée de la trame (ms)	10	10	10	10	10	10
Nombre de ressource bloc	6	15	25	50	75	100

Tab II.2 : Le nombre de RB valables en fonction de la largeur de bande.

II.8.4. Calcul de débit dans la voie descendante

En LTE pour 20MHz, on a 100RB, et chaque RB contient 12 sous-porteuses *7 symboles soit 84 symboles. Un RB contient 84 symboles dans un slot qui dure 0,5ms, pour 1ms on a $84*2=168$ symboles /ms. Dans le débit on parle de bits/s.

Dans 100RB on a $168*100=16800$ symboles/ms =16,8Mbits/s.

Si on utilise une modulation 64 QAM, chaque symbole transporte 6 bits, on aura un débit $16,8\text{Mbits/s}*6=100,8\text{Mbits/s}$.

Pour un système MIMO 4*4, le débit sera multiplié par 4 soit 403,2Mbits/s.

II.9. Les canaux physiques de la voie descendante

II.9.1. PCFICH

Le canal d'indicateur de format de contrôle physique est un canal de liaison descendante qui transmet le nombre de symboles de contrôle présents dans la sous-trame actuelle. En LTE, il peut y avoir un maximum de 3 symboles de contrôle. Le PCFICH est toujours transmis dans les premiers symboles de la sous-trame.

II.9.2. PDSCH (*Physical Downlink Shared Channel*)

C'est un canal physique partagé de données individuelles (flux vidéo, data demandé par l'utilisateur) c'est ou en diffusion (SIB : niveau de signal, PLMN) sur la voie descendante. Les UE sont identifiées sur ce canal par une identité INTA. Le PDSCH transporte les données des couches supérieures à la couche physique via les canaux de transport PCH pour le *paging*, BCH pour les informations système et DSCH (*DowlinkShared Channel*) pour les données.

II.9.3.PHICH (*Physical HARQ Indicator Channel*)

Il est utilisé pour acquitter la réception de paquets montants vers l'UE. Le PHICH transmet les informations ACK/NACK à l'UE, pour indiquer si l'eNodeB a décodé avec succès le paquet montant ou non.

II.9.4.PDCCH (*Physical Downlink Control Channel*)

C'est le canal de contrôle principal sur la liaison descendante, qui achemine les informations de contrôle de liaison descendante sous la forme de DCI (*Downlink Control Indicator*).

Parmi les informations transmises par le PDCCH, on peut citer :

- Le format de transport pour les transmissions sur la voie descendante.
- L'allocation des ressources pour les deux voies.
- L'identité des UE auxquels des ressources ont été attribuées.
- Les informations relatives au HARQ sur la voie descendante.

II.9.5.PBCH (*Physical Broadcast Channel*)

C'est le canal de diffusion (MIB) dédié dans la liaison descendante LTE, qui transporte les paramètres système vitaux tels que la bande passante du système, les informations PHICH, le numéro de trame du système et également le nombre d'antennes d'émission utilisées par l'eNodeB. Le canal logique BCH est mappé sur PBCH.

II.9.6.PMCH (*Physical Multicast Channel*)

Le PMCH est un canal qui est utilisé pour multicaster un paquet à un ensemble d'UE, au lieu d'un seul UE. La structure du canal est similaire à celle du PDSCH.

II.10.Architecture protocolaire

L'architecture protocolaire dans le system LTE décrit la structure des protocoles de bout en bout du system, qui correspondent respectivement à la transmission des données utilisateurs et la transmission de signalisation. Elle se décompose en deux parties, partie de contrôle et partie utilisateur.

II.10.1. Plan de contrôle

Transmet des messages de signalisation telles que la signalisation de gestion de ressource radio, de gestion de mobilité, des services NAS (*No Access Stratum*), des autres procédures entre mobile et réseau cœur.

II.10.2. Plan utilisateur

Ce plan comprend les données des utilisateurs (voix, internet), il utilise le protocole GTPU (*GPRS Tunneling Protocol-User plan*) qui s'occupe de l'acheminement des paquets entre l'eNodeB et le PGW sur un tunnel.

II.11. Les couches physiques de LTE

LTE implique une pile TCP/IP comprenant plusieurs couches

II.11.1. PHY (*Physical Layer*)

La couche physique (la couche1) a plusieurs fonctionnalités telles que le codage/décodage et la modulation/démodulation. Cette couche met en œuvre le premier niveau de fiabilisation basé sur l'utilisation des codes correcteurs d'erreur.

II.11.2. MAC (*Medium Access Control*)

Se situe en deuxième couche de la pile protocolaire pour assurer le couplage entre la liaison et la couche physique et prend en charge de l'ordonnancement des paquets et la répétition rapide. Elle possède aussi des codes correcteurs d'erreurs qui permettent de détecter si les données reçues sont correctes.

II.11.3. RLC « *Radio Link Control* »

La sous couche RLC est située entre la couche PDCP et la couche MAC, elle est responsable de la transmission fiable de données.

II.11.4. PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*)

La sous couche PDCP fournit le protocole de compression d'entête et garantir le cryptage de données ainsi l'intégrité des messages de signalisation.

II.12. La trame Uplink

Elle sert à transmettre la requête envoyée depuis le mobile vers l'eNodeB. Sur la voie montante, on compte trois canaux physiques ainsi que deux types de signaux de référence. En SC-FDMA, la transmission est effectuée sur une porteuse unique. Sa largeur dépend de la bande allouée à l'UE par le réseau. Les symboles transmis s'étalent donc sur toute la bande de transmission. Il est donc impossible de multiplexer dans le domaine fréquentiel différents

canaux physiques émis par un même terminal. Si l'UE n'a pas de données à transmettre, il utilise le canal de contrôle PUCCH (*Physical Uplink Control Channel*) pour ses informations de contrôle physique. Si, au contraire, il utilise le canal de données PUSCH, les informations de contrôle physique doivent être multiplexées sur ce même canal avec les données. Les canaux PUSCH et PUCCH ne peuvent donc pas être utilisés simultanément.

II.12.1. La structure de la trame Uplink

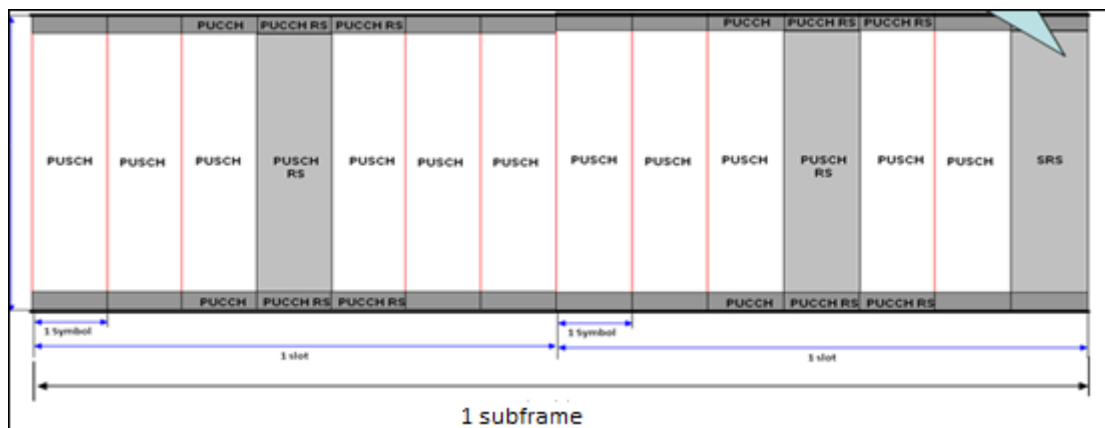


Fig II.8 : La structure d'une trame LTE Uplink

II.12.1.1. Les RS (*Reference Signal*)

Sont les signaux pilotes permettant d'estimer le canal et d'effectuer des mesures de qualité radio sur la voie montante ; Il en existe deux sortes :

- **DMRS (*Demodulation Reference Signal*)**

C'est un signal de référence utilisé par l'eNodeB pour faciliter la démodulation des données sur la largeur de bande allouée au terminal.

- **SRS (*Sounding Reference Signal*)**

C'est un signal de référence pour eNodeB pour déterminer la qualité du canal de liaison montante pour chaque sous-section de la région de fréquence

L'UE transmet SRS au dernier symbole d'un créneau, nous en avons besoin, car en LTE, eNodeB alloue souvent seulement une section partielle de la bande passante complète du système pour un UE spécifique et à un moment spécifique.

II.12.2. Les canaux physiques de la trame Uplink

II.12.2.1. PUCCH RS

Transmet le signal de référence requis pour la démodulation de PUCCH. Cela signifie que si cette partie n'est pas correctement configurée ou que l'eNodeB n'a pas détecté cette partie, eNodeB ne peut pas décoder PUCCH.

II.12.2.2. PUCCH

Ce canal peut transporter beaucoup d'informations (UCI), mais selon la configuration, il ne peut contenir que quelques-unes des informations suivantes: ACK / NACK pour le PDSCH reçu, CQI, PMI

II.12.2.3. PUSCH RS

Transmet le signal de référence nécessaire à la démodulation de PUSCH. Cela signifie que si cette partie n'est pas correctement configurée ou que l'eNodeB n'a pas détecté cette partie, eNodeB ne peut pas décoder PUSCH. Ceci est toujours situé au centre de la fente Uplink.

II.12.2.4. PUSCH

Il prend en charge les données Uplink que l'UE essaie d'envoyer et il peut également porter ACK / NACK pour le PDSCH, l'UE reçoit en plus des données de liaison montante.

II.12.2.5. PRACH

C'est un canal partagé de contrôle sur la voie montante support de l'accès aléatoire. Le canal PRACH est constitué d'opportunités PRACH, c'est-à-dire de ressources radio élémentaires sur lesquelles les UE envoient leur préambule PRACH.

II.13. Les paramètres de base d'un réseau LTE

II.13.1. Le processus d'accessibilité (RACH)

Dans la plupart des communications (en particulier la communication numérique, qu'elle soit câblée ou sans fil), la condition préalable la plus importante est d'établir la synchronisation entre le récepteur et l'émetteur. Le processus RACH signifie *Random Access*

Channel. Il s'agit du premier message lors de la mise sous tension de l'UE à eNodeB, ce processus permet d'assurer la synchronisation de la liaison montante entre UE et eNodeB et d'obtenir la ressource pour la demande de connexion RRC. Afin que l'UE puisse accéder au réseau il doit d'abord sélectionner un des préambules RACH (séquences zudoff-chu) disponibles s'appelle RA-RNTI. Si l'UE ne reçoit aucune réponse du réseau, après l'envoi du préambule, l'UE attend la réponse de l'AR dans la fenêtre de temps. S'il ne reçoit pas la réponse de cette UE dans le délai imparti, l'UE détermine que cet accès échoue et revient à la première étape pour faire une nouvelle tentative d'envoi du préambule. Il augmente sa puissance à un pas fixe et renvoie RACH à nouveau. Sinon, la procédure passe à l'étape de détection de contestation : L'eNodeB envoie le C-RNTI sur le PDCCH ou envoie à l'UE l'ID de résolution de contention "réponse d'accès aléatoire" sur le DL-SCH adressée à RA-RNTI. Et pour demander une connexion RRC le UE utilise UL-SCH pour envoyer un message RRC vers l'eNodeB, le message contient les éléments suivants identité UE (TMSI ou valeur aléatoire), avec la valeur TMSI, l'UE est identifié dans le réseau, la valeur est utilisée s'il se connecte pour la toute première fois au réseau pour éviter la collision parce qu'il est possible que CRNTI ait affecté à plus d'un UE, en raison de plusieurs demandes arrivant en même temps.

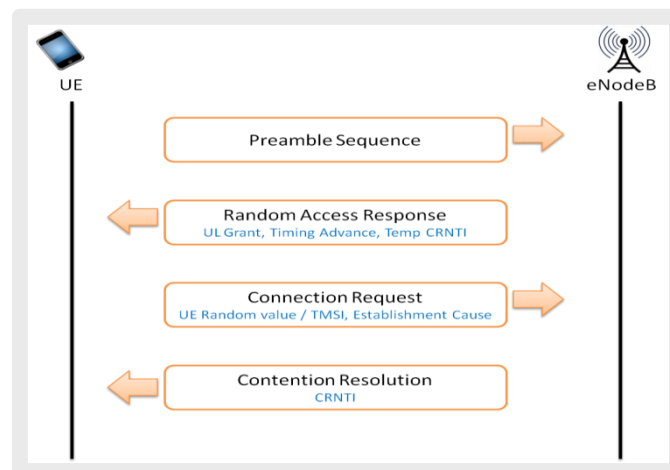


Fig II.9 : Le RACH

II.13.1.1. Comment générer un signal RACH ?

Le RACH est une sorte de *zaddoff-chu* séquence générée par une équation. Cette séquence est allouée le long du domaine des fréquences. Le UE peut sélectionner une séquence racine logique basée sur RACH *Root Sequence Index*. Il y a 64 préambules disponibles pour chaque UE doit être capable de générer les 64 préambules pour la cellule sur laquelle il veut camper. Les 64 préambules peuvent être facilement gérés en décalant cycliquement une séquence existante, mais toutes les séquences doivent être orthogonales les unes des autres. Si non, les préambules de plusieurs UE au sein d'une même cellule peuvent interférer les unes avec les autres.

II.13.1.2. Quand est ce que le processus RACH se produit ?

Le processus RACH se produit dans les cas suivants :

- Accès initial à partir de RRC_IDLE
- Procédure de rétablissement de la connexion RRC
- Transfert (basé sur la contention ou non basé sur la contention)
- Arrivée des données DL pendant RRC_CONNECTED nécessitant une procédure d'accès aléatoire. Par exemple, lorsque l'état de synchronisation UL est "non synchronisé".
- Arrivée de données UL pendant RRC_CONNECTED nécessitant une procédure d'accès aléatoire. Par exemple, lorsque l'état de synchronisation UL est "non synchronisé" ou qu'il n'y a pas de ressources PUCCH disponibles pour le SR.

II.13.1.3. Les types de processus RACH

1. Contention-Based

Lorsqu'un UE transmet un préambule PRACH, il transmet avec un motif spécifique appelé "Signature" parmi les 64 signatures. Le UE sélectionne au hasard l'une de ces signatures qui sera transmise dans la sous-trame disponible. Le UE peut détecter l'accès, et répond en utilisant le même préambule. L'information sur la ressource prévue sera échangée et un C-RNTI temporaire sera assigné. Il est possible que plusieurs UE envoient PRACH avec des signatures identiques, Dans ce cas, les deux UE recevront le même RNTI, ces deux signaux agissent

comme des interférences l'un par rapport à l'autre et que l'on ne décode ni l'un ni l'autre. Donc aucun des UE n'aurait de réponse et les deux pensent que le processus RACH a été échoué et reviennent à l'étape précédente.

2. Contention-Free

Exemple, lors de la remise, un préambule temporaire valide sera émis. Il est dédié à cette UE. Aucune résolution de conflit n'est nécessaire car le préambule ne doit pas être utilisé par les UE qui n'ont pas reçu de préambule dédié, c'est-à-dire choisi au hasard.

II.13.2.La mobilité

La mobilité est assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 Km/h. On peut distinguer deux types de mobilité l'une est celle qui se produit en mode *Idle* et l'autre se produit en mode actif, dont la première est appelée *cell reselection*, en mode *Idle* le mobile se campe dans une cellule en se basant sur la qualité et le niveau de signal et mesure les signaux d'autres cellules et s'il trouve une cellule meilleure il la sélectionne et pour le deuxième type qui est appelé *Handover*. Le *Handover* pourra s'effectuer dans les conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse. Dans LTE la gestion de la mobilité est distribuée, les eNodeB prennent la décision de *Handover* d'une façon autonome sans intervention des autres équipements: MME et S-GW, recevront une notification avec un message de *Handover* que la nouvelle connexion aura été effectuée entre l'UE et le nouveau eNodeB.

II.14.La QoS en LTE

Le but de la QoS (*Quality of service*) est d'optimiser les ressources du réseau et de garantir de bonnes performances aux applications. La qualité de service sur les réseaux permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciés par application suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la couche réseau.

Elle permet ainsi aux fournisseurs de services de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP.

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

- Le débit (téléchargement ou diffusion vidéo).
- Le délai (pour les applications ou la téléphonie).

- La disponibilité (accès à un service partagé).
- Le taux de pertes de paquets.

II.15.La sécurité en LTE

La sécurité concerne à la protection de l'interface du terminal que la protection des échanges applicatifs ou des couches basses donnant l'accès au réseau. L'interface radio du réseau mobile est physiquement vulnérable car accessible à tous ; il est donc primordial de prévoir une authentification forte de l'abonné, la confidentialité des échanges et la protection de leur intégrité.

II.15.1.Quels sont les risques dans un réseau ?

Il existe deux types d'attaquants qui poursuivent deux objectifs distincts :

- La fraude c'est de modifier le profil utilisateur
- a surveillance c'est l'interception des appels ou SMS, récupérer les informations du profil utilisateur ou encore faire usage des fonctions de localisation des GSM.

C'est contre ce type de menaces que les opérateurs doivent aujourd'hui se défendre.

II.15.2.Les fonctions de sécurité

- Authentification du terminal par le réseau.
- Eviter un accès frauduleux au réseau.
- Chiffrement des données et de la signalisation.
- Garantir la confidentialité des données transmises.
- Allocation dynamique d'une identité temporaire transmise en mode chiffré.
- Garantir confidentialité de l'identité de l'utilisateur.
- Authentification du réseau par le terminal.
- La vérification d'intégrité.

II.15.3.L'authentification en LTE

Dans les réseaux de communication mobile, l'authentification désigne le processus qui consiste à déterminer si un utilisateur est un abonné autorisé au réseau auquel il tente d'accéder. Parmi les diverses procédures d'authentification disponibles dans ces réseaux, la procédure EPS AKA (*Authentication and Key Agreement*) est utilisée dans les réseaux LTE pour l'authentification mutuelle entre les utilisateurs et les réseaux.

La procédure EPS AKA comporte deux étapes :

Etape 1 : Un HSS (*Home Subscriber Server*) génère des vecteurs d'authentification EPS et les livre à une MME.

Etape 2 : Le MME sélectionne l'un des vecteurs d'authentification et l'utilise pour l'authentification mutuelle avec un UE et partage la même clé d'authentification. L'authentification est le processus par lequel un réseau et un utilisateur s'authentifient mutuellement.

II.15.4.La confidentialité

Une information est dite confidentielle lorsqu'elle ne peut être partagée qu'avec des entités, individus ou processus autorisés. À titre d'exemple, une clé secrète K est partagée entre la carte UICC insérée dans un terminal mobile et un équipement du réseau, l'AuC. L'authentification de l'abonné auquel la carte est associée repose sur cette clé : elle permet de reconnaître un abonné et de lui facturer les services utilisés sur le réseau mobile. Cette clé est donc une information très sensible et ne doit jamais sortir de la carte UICC ou de l'AuC.

II.15.5.L'intégrité

La protection de l'intégrité a deux objectifs :

- La protection de l'intégrité proprement dite: assurer que la donnée n'a pas été altérée par un tiers après son envoi initial ;
- L'authentification de la source : vérifier que la source de cette donnée est bien celle indiquée dans le message.

II.16.Discussion

Dans ce chapitre on a étudié le réseau LTE : son architecture, ses deux types de trames (Uplink et Dowlink) et leurs caractéristiques ainsi que ses différentes technologies (OFDM, MIMO et HARQ).Au finale on a fait un petit aperçu sur la sécurité en LTE et les paramètres de base : l'accessibilité(RACH) et la mobilité(Handover), sur quoi on parlera en détail dans notre prochain chapitre.

Chapitre III :

Etude et Optimisation de Handover dans LTE

III.1. Préambule

Dans ce 3^{ème} chapitre on va étudier d'une manière approfondie l'un des paramètres de base d'un réseau LTE, il s'agit de la mobilité. Pour ce faire, nous allons présenter les deux états de mobilité d'un mobile : IDLE (RESELECTION) et ACTIF (Handover). Notamment, nous allons intéresser beaucoup plus au Handover (ses types, ses catégories, ses étapes). enfin, nous allons présenter des cas réel d'optimisation de handover.

III.2. La mobilité en LTE

III.2.1. La mobilité dans l'état IDLE (repos)

La RESELECTION de cellule est une sorte de mécanisme pour changer de cellule après que l'UE soit campé sur une cellule et reste en mode IDLE. Il s'agit de laisser l'UE se connecter à la cellule qui a le meilleur état parmi toutes les cellules sur lesquelles l'UE est autorisée à camper. Mais l'UE ne change pas les cellules au hasard, il utilise un ensemble de critères et d'algorithmes assez compliqués pour ce processus de RESELECTION.

Lorsqu'on allume l'UE, il continue généralement dans l'ordre suivant :

- Détection/recherche de cellules
- Sélection des cellules
- RACH et achèvement de l'enregistrement
- Maintenir la mesure RSRP/RSRQ pour la cellule qu'il a enregistré.
- Si le RSRP/RSRQ est très faible ou indétectable, Il essaye de trouver une autre cellule.
- Effectuer une nouvelle sélection de cellules si les critères sont remplis. Si non rester dans la cellule courante si le critère n'est pas respecté.

III.2.2. Le principe de la meilleure cellule

L'UE fait des mesures pour calculer l'indicateur de niveau du signal reçu RSRP, utilisé en mode veille pour déterminer la meilleure cellule vue de l'UE. Ce principe fondamental de meilleure cellule gouverne ainsi la mobilité du terminal en mode veille : celui-ci choisit la cellule qu'il reçoit avec le meilleur signal, à l'aide de mesures régulières sur les cellules environnantes. Les objectifs visés sont : d'assurer que l'utilisateur est joignable, c'est-à-dire que l'UE pourra recevoir correctement les messages de notification envoyés sur la cellule (paging) ; d'assurer les meilleures conditions radio lorsque l'UE passe en mode connecté (par exemple pour établir un appel).

III.2.3. Les mesures radio en LTE

Les différents paramètres, tels que les paramètres de puissance et les paramètres de qualité, décident de la sélection de la cellule. Ils sont responsables de la sélection de la cellule. Dans un réseau LTE, un UE mesure deux paramètres sur le signal de référence RSRP et RSRQ.

III.2.3.1. Puissance reçu de signal de référence (RSRP)

RSRP est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique du UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base. La mesure s'exprime en Watt ou en dBm. La valeur est comprise entre -140 dBm à -44 dBm par pas de 1db [14]

III.2.3.2. Qualité de réception du signal de référence (RSRQ)

Bien que le RSRP soit une mesure importante, il ne donne aucune information sur la qualité de la transmission. Le LTE s'appuie alors sur l'indicateur RSRQ qui est intéressant particulièrement aux limites des cellules, positions pour lesquelles des décisions doivent être prises pour accomplir des Handovers et changer de cellule de références. Le RSRQ mesuré varie entre -19,5dB à -3dB par pas de 0.5dB. Le RSRQ n'est utile uniquement lors des communications, c'est-à-dire lors de l'état connecté.

III.3.1. Mobilité dans l'état Actif (Handover)

Le mode connecté fait référence à une situation où l'UE a une connexion de signalisation active avec le réseau. La localisation de l'UE est connue avec la précision d'une cellule, et elle ne doit pas être paginée pour être atteinte. La mobilité dans le mode connecté est gérée par un processus de handover. Les processus de handovers X2 et S1 sont décrits avec des diagrammes de signalisation complets.

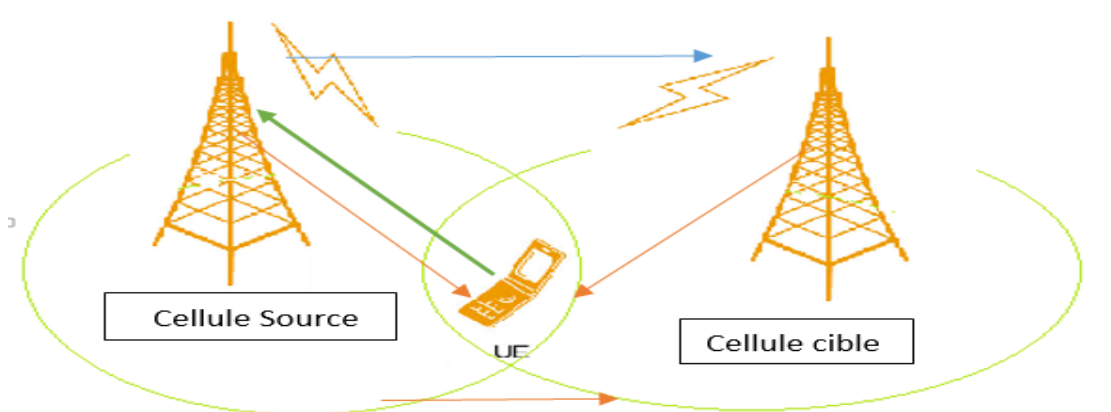


Fig III.1 : Décision et exécution du HANDOVER

III.3.2. Les catégories du Handover en LTE

Il existe deux catégories de Handover : Intra-LTE à l'intérieur de système LTE TDD ou LTE FDD et Inter- LTE entre un système LTE et un système UMTS, GSM, CDMA 2000 ou autre système.

III.4. Les types de Handover en LTE

III.4.1. Handover Intra-eNodeB

Il se réfère à un Handover entre plusieurs cellules différentes d'un eNB. Le débit est donc légèrement différent de celui du Handover inter-eNB : Les messages de préparation pour le Handover de la station de base ne sont pas transmis par l'interface S1 ou X2, mais plutôt par l'échange d'informations entre les cartes.

Lorsque l'UE rapporte le message MR et que la station de base décide qu'elle doit effectuer un Handover intra-eNB, elle demande alors directement un handover par échange de messages entre cartes à la cellule cible. Si la cellule cible est prête, elle informera la cellule source de l'information sur la ressource. La cellule source envoie un message de reconfiguration à l'UE en demandant au terminal d'effectuer un Handover.

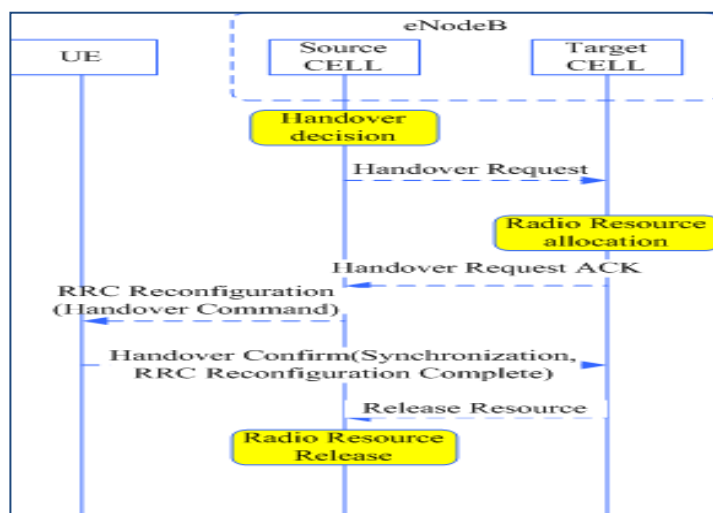


Fig III.2 : Handover Intra-eNodeB

III.4.2. Handover Inter-eNodeB X2

Si la cellule source dans laquelle se trouve l'UE reçoit le rapport de mesure déclenché et détermine qu'un Handover est nécessaire, elle détermine d'abord si la cellule source et la cellule cible se trouvent dans le même eNB. Sinon, la décision sur le mode de Handover (basé sur le port X2 ou S1) est requise.

S'il existe une connexion X2 entre la cellule source et la cellule eNB où se trouve la cellule cible et connectée à la même MME, un Handover basé sur X2 entre les eNB peut être effectué. Dans le cas contraire, le Handover entre les eNB sur la base de S1 sera effectué.

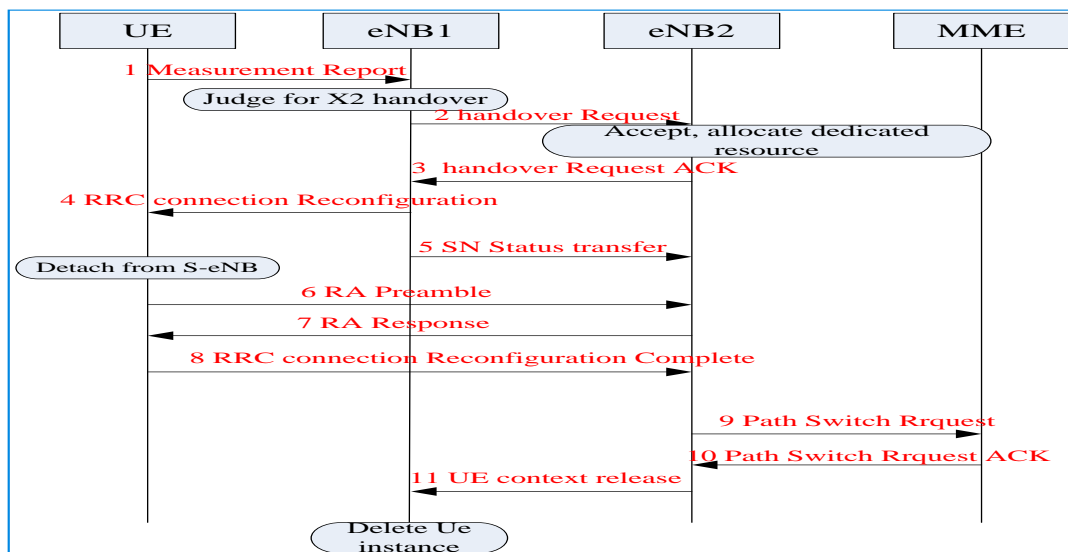


Fig III.3: Handover Inter-eNodeB X2

III.4.3. Inter-base station S1 handover

L'eNodeB source décide d'initier une procédure S1 Handover à l'eNodeB cible car il n'existe pas d'interface X2 entre elles. Le Handover S1 peut également être déclenché si le Handover de X2 a échoué).

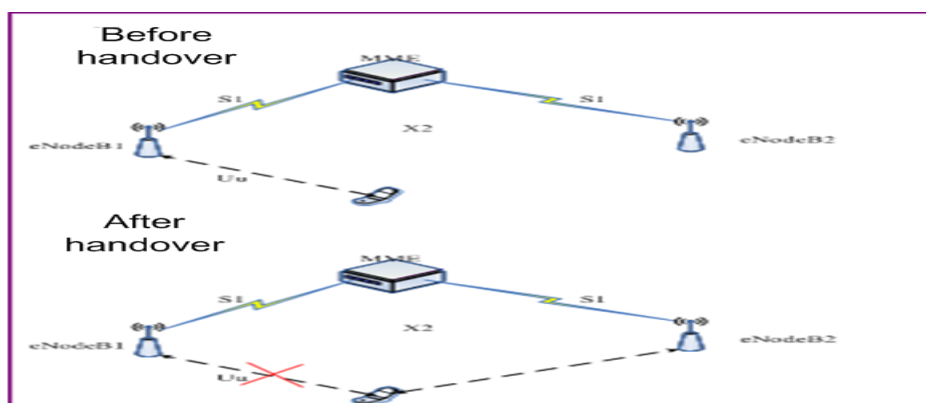


Fig III.4: Inter-base station S1 Handover

III.5. Les facteurs de Handover

1- Les paramètres de handover :

Les paramètres de Handover (type de handover, seuil, paramètre d'hystérésis) affecteront la déclaration du MR. Lorsque le rapport de MR est fait à un mauvais moment, et que le signal de la cellule de service est trop rapide et s'atténue trop rapidement, des coupures d'appels se produisent. Des paramètres de handover raisonnables doivent être établis : A3_offset, TTT, Hystérésis.

2- Charge et couverture du réseau :

La charge du réseau détermine s'il existe une ressource libre, ce qui affecte la préparation du handover. La topologie et la couverture du réseau déterminent si la mise en œuvre du handover s'effectue sans heurts et si la commutation peut être achevée.

III.6. Les étapes de Handover

1- Configuration de la mesure

L'eNB informe l'UE du message de configuration de la mesure par l'intermédiaire de message RRC (Connection Reconfiguration). Il contient les objets à mesurer, la liste des cellules, l'identificateur de mesure et les paramètres d'événement.

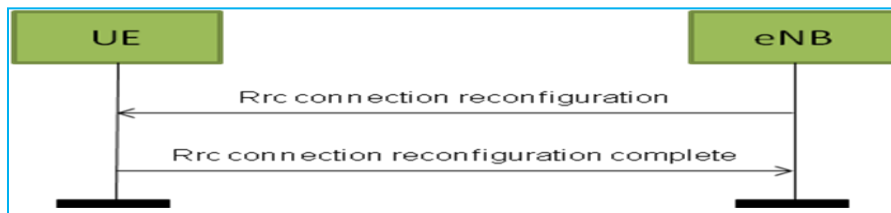


Fig III.5 : Configuration de la mesure en Handover

2- Mise en œuvre des mesures

- Une mesure UE peut être une mesure RRC_IDLE ou RRC_CONNECTED.
- Mesure à l'état RRC_IDLE : Pour la ré-sélection des cellules.
- Mesure à l'état RRC_CONNECTED : Pour le handover.

3- Rapport de mesure

L'eNB rend un jugement pour un handover inter-eNB selon le rapport. L'eNB source envoie une demande de handover à l'eNB cible, demandant à cette dernière d'effectuer les préparatifs de handover. La demande de handover contient la cause de handover, l'ID de cellule cible et le contexte UE.

4-Préparation

L'eNodeB prend une décision de handover de l'UE sur la base du rapport de mesure et des informations de gestion des ressources radio. Lorsque l'eNodeB considère qu'un handover est nécessaire, il détermine une cellule cible appropriée et demande l'accès à la cellule cible. La cellule cible effectue l'accès aux ressources et les alloue pour l'accès de l'UE.

5-Achèvement des préparatifs de handover

Une fois que la préparation de la ressource de la cellule cible est réussie, un message de demande de handover ACK est envoyé à l'eNB source indiquant que le travail préparatoire de handover de la cellule cible d'eNB est terminé.

6-Mise en œuvre

Dès la réception de la réponse de la demande de handover de l'eNodeB cible, l'eNodeB source envoie un message de commande de handover à l'UE.

7-Achèvement du handover

L'eNB cible envoie un message de libération de contexte UE à la source eNB informant la source eNB que le handover a réussi et déclenchant l'eNB source à libérer la ressource. (Le handover S1 correspond à deux messages : UE Context Release Command et UE Context Release Completed).

III.7.Les événements de Handover

Événements de transfert Intra-RAT : A1, A2, A3, A4, A4, A5

A-Événement A1

La cellule de service devient meilleure que le seuil absolu, ça permet de désactiver les mesures.

- **Condition d'entrée**

$$M_s - hys > \text{seuil A1}$$

- **Condition de sortie**

$$M_s + hys < \text{seuil A1}$$

B-Événement A2

La cellule de service devient pire que le seuil absolu, ça permet d'activer les mesures inter-fréquences.

- **Condition d'entrée**

$$M_s + hys < \text{seuil A2}$$

- **Condition de sortie**

$$M_s - hys > \text{seuil A2}$$

C-Événement A3

La cellule voisine devient meilleure par rapport à la cellule de source avec un offset. L'eNodeB source envoie une demande de Handover intra fréquences ou inter fréquence

D-Événement A4

La cellule voisine devient meilleure que le seuil absolu, l'eNodeB envoie une demande de Handover inter fréquences

- **Condition d'entrée**

$$M_n + Of_n + Ocn - hys > \text{seuil A4}$$

- **Condition de sortie**

$$M_n + Of_n + Ocn + hys < \text{seuil A4}$$

E-Événement A5

La cellule source devient pire qu'un seuil absolu et la cellule voisine devient meilleure qu'un autre seuil absolu.

Condition d'entrée : $M_n + Of_n + Ocn - hys < \text{seuil A4}$ ET $M_s + hys < \text{seuil A2}$.

III.8. Paramètres de l'événement A3

Événement A3 entrant en condition

$$M_n + Of_n + Ocn - Hys > M_s + Of_s + Ocs + Off$$

L'état de sortie

$$M_n + Of_n + Ocn + Hys < M_s + Of_s + Ocs + Off$$

Dont,

M_n : Le résultat de la mesure de la cellule voisine, sans tenir compte d'éventuels décalages.

Of_n : Le décalage spécifique de la fréquence de la cellule voisine.

Ocn : Le décalage spécifique à la cellule de la cellule voisine, qui est mis à zéro s'il n'est pas configuré pour la cellule voisine.

Hys : Le paramètre d'hystérésis pour cet événement

M_s : Le résultat de mesure de la cellule de service, sans tenir compte d'éventuels décalages.

Of_s : Le décalage spécifique de fréquence de la fréquence de service.

Ocs : Le décalage spécifique de la cellule de service, qui est mis à zéro s'il n'est pas configuré pour la cellule de service.

Off : Le paramètre offset pour cet événement.

Si les valeurs d'Ofs et Ocs de la cellule de service sont configurées de la même manière que les valeurs d'Ofn et Ocn de la cellule voisine lors de la planification du réseau, la condition d'entrée peut être simplifiée comme suit :

$$Mn - Hys > Ms + Off$$

III.8.1. A3- Offset

Off à l'état d'entrée/sortie, sa valeur par défaut est de 3 dB.

La valeur recommandée est de 2, 3 ou 4 dB. Une valeur supérieure ou inférieure n'est pas recommandée parce qu'elle peut entraîner un retard dans le handover et un trop grand nombre de handover à la fois.

Ce décalage est applicable à toutes les cellules voisines.

III.8.2. Time To Trigger (TTT)

Ce paramètre spécifie la plage de valeurs utilisée pour le paramètre temps de déclenchement, qui concerne le temps pendant lequel des critères spécifiques pour l'événement doivent être remplis afin de déclencher un rapport de mesure.

Plage de valeurs : énuméré (0, 40, 64, 80, 100, 128, 160, 256, 320, 480, 512, 512, 640, 1024, 1280, 2560, 5120)

Valeur par défaut : 320 ms.

Un TTT élevé peut retarder l'établissement des rapports de mesure et réduire les handovers.

Valeurs recommandées : 256, 320, 480, 512 ou 640 ms.

III.8.3. Hystérésis

L'hystérésis, utilisée pour ajuster le seuil d'entrée/sortie de la déclaration déclenchée par l'événement, détermine la période pendant laquelle l'UE reste à l'événement A3.

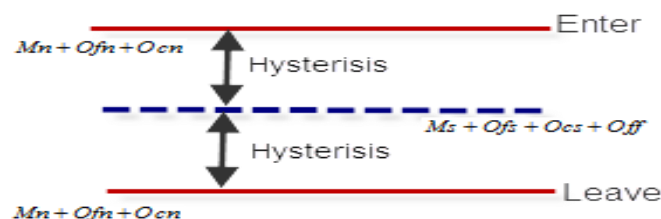


Fig III.6 : L'hystérésis

La valeur par défaut est 0.

Si ReportOnLeave n'est pas active, la valeur recommandée est 0.

III.8.4. ReportOnLeave

- Ce paramètre indique si l'UE doit ou non initier la procédure de rapport de mesure lorsque la condition de sortie est remplie.

$$Mn+Ofn+Ocn+Hys < Ms+Ofs+Ocs+Off$$

- La valeur par défaut est fausse (pas de rapport).

III.8.5. Cell Individual Offset (CIO)

Événement A3 entrant en condition

$$Mn+Ofn+Ocn+Hys > Ms+Ofs+Ocs+Off$$

Ocn dans la formule CIO prend les valeurs suivantes (-24, -22, -20, -18, -16, -14, -12, -10, -8, -6, -5, -4, -3, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 5, 6, 8, 10, 12, 12, 14, 14, 16, 18, 20, 20, 22, 24), unité : dB

Pour accélérer le handover de la cellule de source à une cellule voisine ou pour abaisser le seuil de handover, vous pouvez augmenter le CIO de la cellule voisine de 1 à 3 dB.

III.9. Simulation des événements de Handover

Afin d'illustrer les événements de Handover (A1, A2, A3, A4 et A5) on a fait une simulation sur VBA. Dans notre programme on fait modifier la distance entre l'eNodeB et le mobile, plus la distance est grande plus le niveau de signal est faible et des événements se produisent quand le niveau de signal se varie, dont le mobile fait des mesures et essaie de faire le handover vers une autre cellule qui a un niveau de signal plus grand. On donne dans ce qui suit des exemples :

Le premier exemple illustre l'évènement A1 de handover, on a fixé un seuil A1 à -75 dbm. Nous avons la cellule source c'est la cellule sur laquelle le mobile est campé en se basant sur son niveau de signal élevé. L'évènement A1 se produit lorsque le niveau de signal de la cellule devient meilleur qu'un seuil A1, et dans ce qui suit on remarque que le niveau de signal de la cellule source qui est à -60dbm est supérieur de seuil A1, donc l'évènement A1 se produit et aucune mesure n'est faite par le mobile.

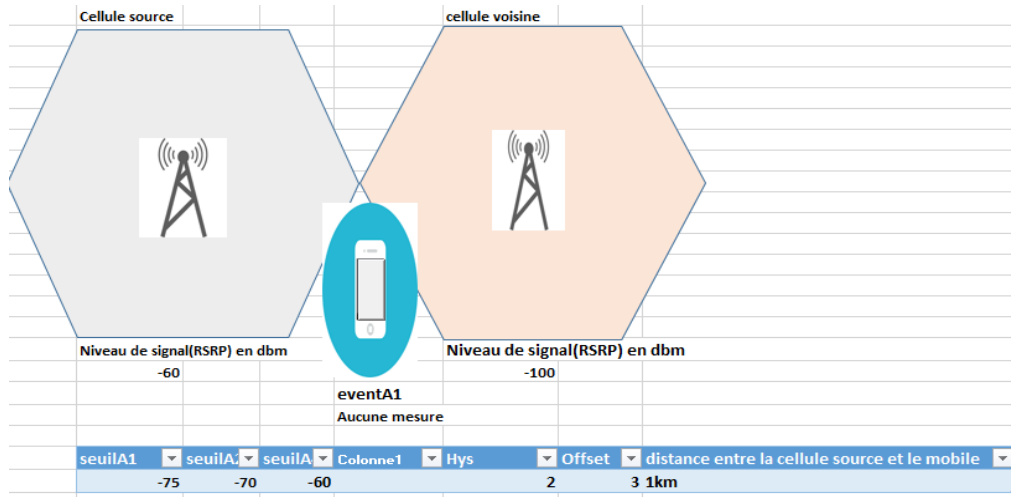


Fig III.7 : Evènement A1 de handover

Dans ce deuxième exemple on a l'évènement A3 qui est le plus important des évènements de handover, cet évènement se produit lorsque le niveau de signal de la cellule voisine devient meilleur de niveau de la cellule source avec un offset. Dans ce cas on a fixé un offset de 2dbm, le signal de la cellule voisine qui est à -74dbm et celui de la cellule source est à -80, la condition de A3 est satisfaite, ce qui veut dire que eventA3 se produit est une demande de handover est envoyé par de la cellule source vers la cellule voisine.

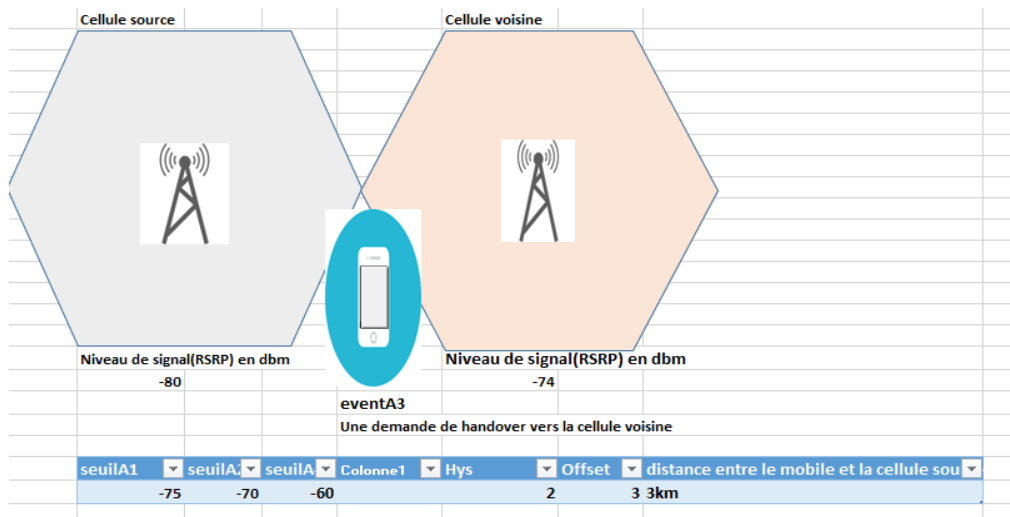


Fig III.8 :L'évènement A3 de Handover

III.10.Des cas d'optimisation du Handover par Mobilis

III.10.1.Premier cas (call setup success Rate)

Ce cas est optimisé par la partie ERICSSON de Mobilis, on a utilisé le logiciel TOOL afin de visualiser les performances de réseau et optimiser ses problèmes. Et pour ce faire on accède à la fenêtre ci-dessus :

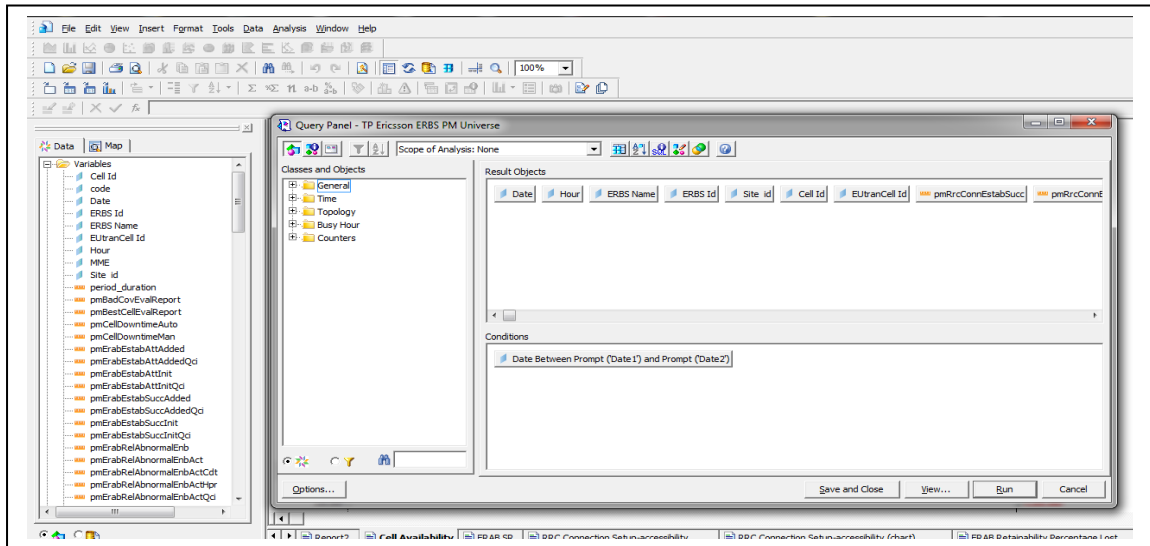


Fig III.9 : Visualisation des performances par le logiciel TOOL

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

Problème :

Dans ce cas on a trouvé que y a un pourcentage élevé des drops d'appels et d'après les paramètres on constate que le seuil qRxEvMin (qui est la valeur min pour que les abonnés puissent accéder au réseau) est à -122 cette valeur est faible ce qui rend l'accès au réseau facile donc le réseau devient trop chargé, et aussi le seuil A2 qui est à -113 cela aussi cause une congestion car le niveau de signal doit être inférieur à -113 pour que les UEs commencent les mesures des cellules voisines dans le but de faire un handover.

Solution proposée:

L'augmentation des valeurs de ces seuils de -122 à -116 et de -113 à -105 afin de diminuer les drops d'appels, le réseau sera non chargé donc ça minimise le pourcentage des coupures d'appels comme il est montré dans la figure suivante :

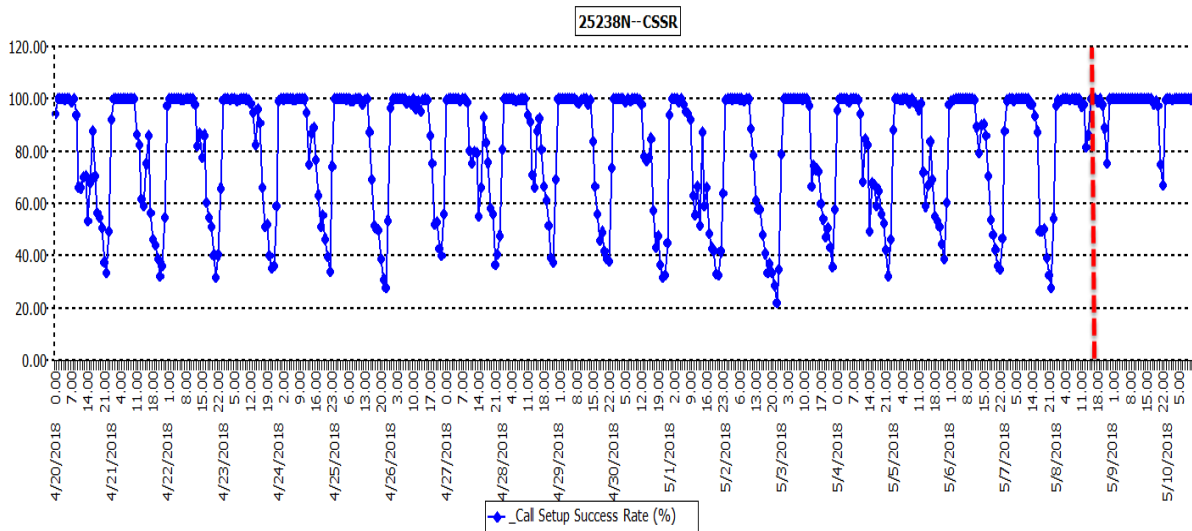


Fig III.10: call setup success Rate

On peut voir le changement par exemple de paramètre a2ThresholdRsrpPrim en utilisant la commande « get.a2ThresholdRsrpPrim » comme le montre la figure suivante :

```
25238L> get . a2ThresholdRsrpPrim
180610-11:44:58 10.229.69.6 16.0v ERBS_NODE_MODEL_G_1_142 stopfile=/tmp/8839
=====
MO                               Attribute      Value
=====
EUTranCellFDD=25238M,UeMeasControl=1,ReportConfigEutraBadCovPrim=1 a2ThresholdRsrpPrim -105
EUTranCellFDD=25238N,UeMeasControl=1,ReportConfigEutraBadCovPrim=1 a2ThresholdRsrpPrim -105
=====
Total: 2 MOs
```

Fig III.11 : Les paramètres de seuil (Threshold)

III.10.2.Deuxième cas : Problème de congestion

Les internautes qui se trouvent dans le site B se sont plaints à plusieurs reprises à cause des coupures et la lenteur de la connexion LTE. Après avoir visualisé ce site nous avons noté la présence de deux sites B et D. Le site B est congestionné ce qui a causé la coupure « call drop » et la lenteur de la connexion 4G sur ce site. Le site D est déchargé car il ne contient pas beaucoup d'utilisateurs.

Solution proposée

Pour régler ce problème, la solution proposée est de forcer les utilisateurs à se connecter à la cellule 1 du site D afin de diminuer la charge sur la cellule 2 du site B.

Cette solution est atteinte en faisant un changement sur le seuil de handover à l'aide de l'outil « U-2000 » de façon à obliger l'utilisateur de changer de cellule source en ajoutant un offset à la cellule voisine non choisie avec un niveau de $Ocn = 3dB$ (CIO : cell individuel offset). L'équation du niveau de signal de la cellule voisine (neighbor) et de la cellule serveuse est représentée comme suit :

$$RSRP_n + Ocn - Hys > RSRP_s + Ocs + Off$$

- **RSRP_n** : Les mesures de l'UE sur la cellule voisine (niveau de signal de la cellule voisine)
- **Ocn (offset cellneighbor)** : l'offset spécifique de la cellule voisine, liée à la commande :
MOD EUTRANINTERFREQNCELL
- **RSRP_s** : Le résultat de mesure de la cellule source (niveau de signal de la cellule source).
- **Ocs** : L'offset de la cellule serveuse.
- **Off** : L'offset du HO. Il est précisé par le paramètre IntraFreqHoA3Offset

L'offset (Ocn) de 3dB rajouté à la cellule voisine lui permettra de se rehausser à un niveau supérieur par rapport au niveau de la cellule source. En ajoutant le $Ocn=3db$ à la cellule voisine on obtient alors un $RSRP = -96db$ qui était à $-99db$ donc les utilisateurs se divisent entre les cellules des sites B et D.

Solution du cas RESELECTION

Un changement sur le seuil de la re-sélection de façon à obliger l'utilisateur de changer de cellule serveuse en ajoutant un $COs = -3dBm$. L'équation III.2 du niveau de signal de la cellule voisine (Neighbors) et de la cellule serveuse est représentée comme suit :

$$RSRP_n - CO_n > RSRP_s + CO_s$$

- **RSRP_n** : niveau de signal de la cellule voisine.
- **CO_n** : l'offset spécifique de la cellule voisine (cell offset neighbor).
- **RSRP_s** : niveau de signal de la cellule source.
- **CO_s** : l'offset spécifique de la cellule source (cell offset serving).

En diminuant le COs de 3dB de la cellule source on obtient alors un RSRP = -99dBm, donc les utilisateurs se divisent entre les cellules des sites B et D. La figure III.12 nous montre le changement qu'on a effectué au niveau de la cellule 1 du site D et la cellule 2 du site B.

A l'aide de l'outil U-2000, on effectue les configurations nécessaires, comme le montre la figure III.12 :

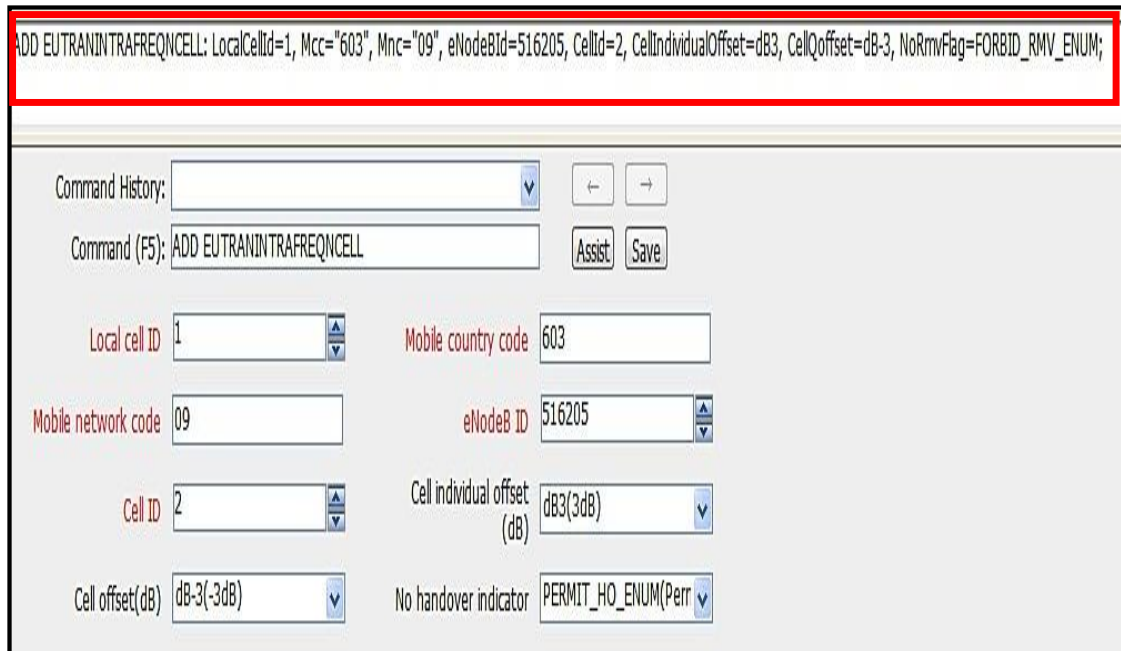


Fig III.12 : Changement des COs et Ocn de la cellule 1 du site D et la cellule 2 du site B

Résultat final :

Après avoir effectué les changements cités auparavant nous allons voir l'effet de ces modifications sur le nombre des utilisateurs au niveau du site D et voir aussi l'état des « Calls drop » au niveau de site B (voir figure III.13 et III.14) :

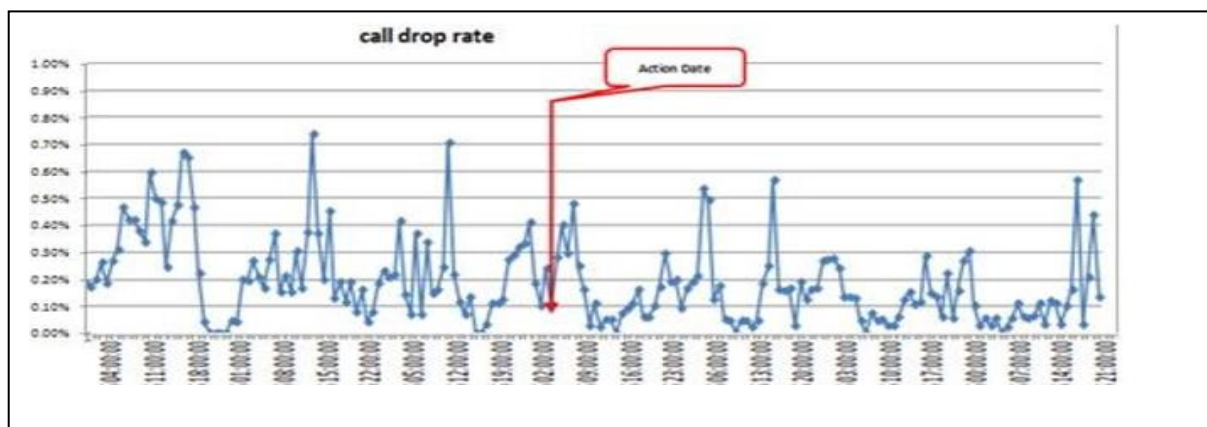


Fig III .13 : Taux de Call Drop sur le site D

D'après l'analyse de graphe, nous remarquons que le taux de « call drop » est diminué au niveau de la cellule B de 75% à environ de 50%, donc le problème de congestion est résolu, répondant ainsi aux besoins formulés par l'opérateur.

Après l'activation de l'équilibrage statique entre les deux sites B et D, le nombre des utilisateurs de site D augmente. Nous remarquons que 50 UEs sont basculés vers le site D grâce à cette activation.

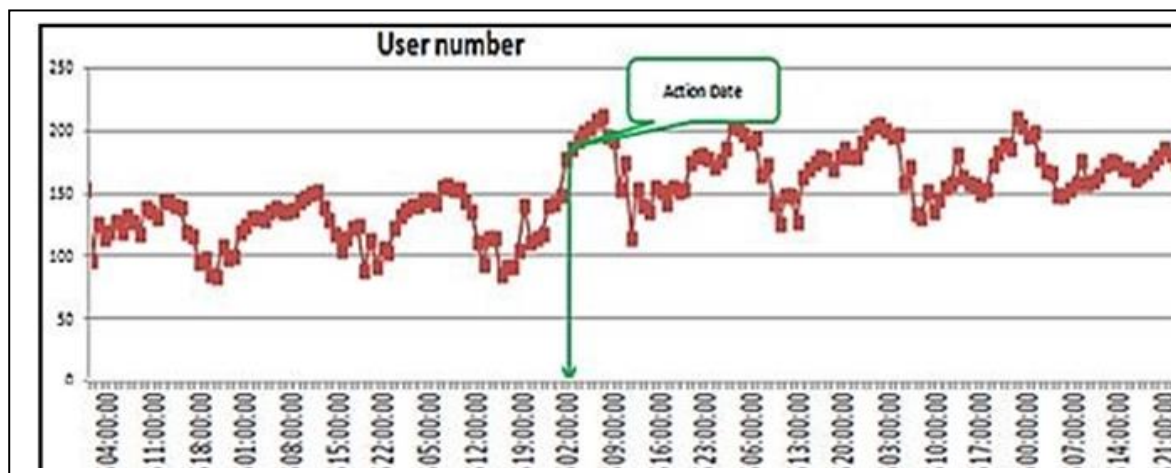


Fig III.14 : Nombre d'utilisateurs du site B

III.7.Discussion :

Le Handover est l'un des paramètres de base de réseau LTE. Il est une tâche essentielle pour assurer la continuité des services, pour cela on s'est intéressé dans ce chapitre à étudier ces différents événements et plus précisément l'évènement A3 qui permet de fixer des paramètres afin de régler le déroulement de Handover comme l'offset et l'hystérésis. Et nous avons fait une simulation pour donner des exemples clairs sur ces événements.

On a aussi étudié des cas réels pour optimiser le Handover dans LTE, en changeant des paramètres. Enfin on peut conclure que le réseau LTE devient de plus en plus performant et les problèmes ont été diminués.



Conclusion

Conclusion

Avec les multiples technologies des réseaux mobiles, la LTE répond aux exigences des utilisateurs. Elle permet aux opérateurs d'offrir des services de radiodiffusion mobile plus performants, grâce aux débits élevés et une vitesse de traitement des données avec les solutions complètes basées sur IP.

Au cours de notre projet, une étude approfondie a été conduite et a touché les aspects radio des réseaux 4G LTE, ainsi que des procédures d'optimisation de ces réseaux. Elles ont été focalisées sur les solutions proposées aux problèmes de handover détectés au sein de l'entreprise Mobilis, en s'adaptant aux différents logiciels nécessaires pour cette démarche.

Pour compléter les connaissances théoriques, nous avons mené une étude des cas appliqués d'optimisation dans le but de minimiser la congestion des cellules et d'assurer la continuité des services. Nous avons simulé un programme sous Visual Basic for Application qui présente d'une manière plus claire les différents événements de handover (A1, A2, A3, A4 et A5) qui se produisent lors de la mobilité de l'utilisateur.

Au terme de notre projet, les objectifs ciblés ont largement été atteints. Cette étude nous a permis de découvrir les différentes complications et obstacles qu'un ingénieur d'optimisation se doit surmonter.

Notre travail est un point de départ qui doit être suivi d'une bonne continuation tant sur le plan théorique que pratique. Ceci en proposant d'autres cas d'optimisation.

Les opérateurs ont pu garantir un réseau LTE plus performant en optimisant ces paramètres, et assurer une bonne qualité de service à ses abonnés.



Bibliographie

- [1] http://www.efort.com/r_tutoriels/GSM1_EFORT.pdf GSM : Global System for Mobile Communications - Efort .
- [2] CHETOUI Brahim, RAHIM Abou- baker “Optimisation d’un réseau 3G ”, Mémoire de projet de fin d’étude pour l’obtention du diplôme de master, Institut National de la poste et des technologies et de la communication, juin 2016.
- [3] http://www.memoireonline.com/12/12/6535/m_Etude-dequilibre-des-capacites-de-MS-CC-PPS-dans-un-reseau-GSM0.html Etude d’équilibre des capacités de MSC et PPS dans un réseau GSM
- [4] <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/pm-phase-modulation/what-is-gmsk-gaussian-minimum-shift-keying-tutorial.php> What is GMSK Modulation - Gaussian Minimum Shift Keying.
- [5] https://www.astel.be/Le-concept-de-reseau-cellulaire_524 Le concept cellulaire
- [6] https://fr.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying Phase-shift keying.
- [7] Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, “ LTE et les réseaux 4G. Edition EYROLLES. 2012.
- [8] MERAH Hocine “Conception d’un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobile à base de la technologie MC-CDMA., Thèse de Magister, Université de Setif, Septembre 2012.
- [9] https://www.memoireonline.com/02/12/5284/m_tude-de-dimensionnement-et-planification-dun-reseau-dacces-WCDMA-3G8.html planification-dun-reseau-dacces-WCDMA-3G8.html Etude de dimensionnement et planification d’un réseau d’accès WCDMA 3G, par Mohamed Lamine CAMARA ,Institut supérieur d’informatique de Dakar (ISI)-Master en télécommunication 2008.
- [10] Pierre Lescuyer, ‘Réseaux 3G : Principe, Architecture et service de l’UMTS, Edition DUNOD,2006.
- [11] irt.enseeiht.fr/beylot/enseignement/UMTS.pdf Architecture Protocolaire de l’UMTS - ENSEEIHT
- [12] <https://www.quora.com/What-is-RTWP-How-does-it-work-in-UMTS-and-LTE> What is RTWP? How does it work in UMTS and LTE?
- [13] <https://www.netmanias.com/en/post/blog/11081/hsdpa-lte/channel-element-at-r99-hsdpa-hsupa> Channel Element at R99/HSDPA/HSUPA.

- [14]https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjP4oHjpLzbAhVDwBQKHTkHAXkQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.efort.com%2Ftutoriels%2FLTE_SAE_EFORT.pdf&usg=AOvVaw0jpJyzzN2OQeYcAi_-gQTZ LTE + SAE = EPS Principes et Architecture
- [15]<https://basselblog.wordpress.com/2015/06/24/maroc-4g-lte-800-1800-2600-explications-sur-les-bandes-de-frequences/> Maroc : 4G LTE (800, 1800, 2600) explications sur les bandes de fréquences
- [16]http://www.sharetechnote.com/html/Communication_OFDM.html **Communication - OFDM.**
- [17]<https://fr.slideshare.net/MohamedAmineBrahimi/migration-des-reseaux-ran-vers-le-cloud-ran-63348967> Migration des réseaux RAN vers le Cloud RAN.
- [18] http://www.sharetechnote.com/html/FrameStructure_DL.html Frame Structure - Downlink.
- [19]<https://www.youtube.com/watch?v=x3kiX76GzYg> S3V2 - Bloc de ressources et de sous-trames à 1 ms.
- [20] http://www.sharetechnote.com/html/RACH_LTE.html RACH
- [21]https://wapiti.telecom-lille.fr/...vignault/Mecanisme_de_Handover_dans_les_LTE Mécanisme de handover dans les réseaux LTE et WiMax
- [22]<https://fr.scribd.com/document/293118357/Reseaux-Mobiles-Support-Mooc-Compleet>.
- [23]<https://ictexpertsluxembourg.lu/security-emm/securite-reseaux-mobiles-3g-4g-prevention-menaces> SECURITE DES RESEAUX MOBILES 3G ET 4G : QUELLE PREVENTION DES MENACES.

Mots clés

- ✓ Réseaux mobiles
- ✓ Réseau LTE
- ✓ Le Handover

Chapitre I :

Généralités sur les réseaux mobiles

Résumé

Avec les multiples technologies des réseaux mobiles, la LTE répond aux exigences des utilisateurs. Elle permet aux opérateurs d'offrir des services de radiodiffusion mobile plus performants, grâce aux débits élevés et une vitesse de traitement des données avec les solutions complètes basées sur IP.

La norme Long Term Evolution (LTE) assure la compétitivité de l'UMTS, en fournissant un système à haut débit de données, à faible latence et l'optimisation en termes de transmission par paquets.. La 4ème génération repose sur un réseau tout IP, qui permet de circuler les appels vocaux directement sur internet (*VoLTE*), des débits allant jusqu'à 100Mb/s en théorie ce qui offre un certain confort de navigation mobile.



Conclusion