

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE Mouloud MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
De MASTER ACADEMIQUE**

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Présenté par :

M^{elle} MAMMAR KATHIA

M^{elle} LARBI CELIA

**Comparaison des performances d'une BTS avec
les trois technologies (2G, 3G, 4G) ainsi que
l'interopérabilité entre elles.**

Promoteur :

M^r M.LAHDIR

Encadreur :

M^r B. Ayouni

Promotion 2017_2018

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le Bon DIEU, le tout puissant qui nous a accordé la volonté et la patience nécessaire pour réaliser ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements et vives reconnaissances à M^r AYOUNI pour son aide et à notre promoteur M^r LAHDIR pour nous avoir encadré et dirigé ce travail.

Nous tenons à exprimer nos reconnaissances et notre gratitude à tous nos enseignant(e)s qui nous ont accompagnés(e)s durant notre formation.

Nous tenons à remercier également nos familles et nos ami(e)s pour leurs aides considérables.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents, pour leurs sacrifices, leurs encouragements et soutiens durant mes études, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure une bonne santé et une longue vie.

A mes très chères sœurs : THANINA, SABRINA et THINHINANE , MASSIVA et LISA pour leurs soutient et leurs amour.

A toute ma famille.

A tous mes ami(e)s.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.

KATHIA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

*mes très chers parents, pour leurs patiences, leurs sacrifices, leurs encouragements et soutiens
durant mes études, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne
cessent de me combler. Que dieu leur procure une bonne santé et une longue vie.*

À mon très cher mari pour son soutien et son amour.

À mon très cher enfant que j'attends avec impatience

À mes très chers Frères : Rabah et Yanis

À ma très chère sœur : Ines

À toutes ma famille .

À tous mes ami(e)s.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous
dis merci.*

CELIA

Résumé

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G), puis plus orientés vers le multimédia (3G), la 4G de réseaux sans fil apporte une véritable augmentation du débit.

Ces technologies rependent aux besoins de l'abonné grâce à l'interopérabilité qui existe entre ces différents systèmes.

Liste de figures et tableaux

CHAPITRE I :

Figure I.1: Architecture du réseau GSM.....	3
Figure I.2 : Multiplexage en fréquence FDMA.....	6
Figure I.3 : Multiplexage en temps TDMA	7
Figure I.4 : architecture du réseau GPRS.....	8
Figure I .5 : diagramme de constellation QPSK et 8PSK.....	11
Figure I.6 : l'architecture de l'UMTS.....	12
Figure I.7 : Architecture du réseau d'accès.....	12
Figure I.8 : NodeB avec antennes sectorielles	12
Figure I.9 : NodeB avec antenne omnidirectionnelle.....	13
Figure I.10 : Le mode FDD de WCDMA.....	15
Figure I.11 : Le mode TDD de WCDMA.....	15
Figure I.12 : L'arbre des codes de canalisation OVSF.....	16
Figure I.13 : Les codes non autorisés.....	16
Figure I.14 : le soft et le hard handover.....	17
Figure I.15 : Concepts du HSDPA.....	18
Figure I.16 : Constellation de la modulation 16QAM et QPSK.....	19
Figure I.17 : Les valeurs de RTWP.....	22
Figure I.18 : L'architecture LTE.....	25
Figure I.19 : Comparaison entre OFDMA et SC-FDMA.....	27
Figure I.20 : Structure de la trame LTE	27
Figure I.21 : la structure de la trame en mode FDD.....	28
Figure I.22 : bloc de ressource LTE.....	28
Figure I.23 : Les différentes modulations.....	29

CHAPITRE II

Figure II.1: Schéma général d'un échange d'information de contrôle.....	33
---	----

Liste de figures et tableaux

Figure II.2 : montre les trois phases du handover, les nœuds impliqués et les principales actions réalisées.....	44
Figure II.3 : Diagramme de flux du handover LTE via l'interface X2.....	48
Figure II.4 : processus de Handover de l'UMTS vers le GSM.....	51
Figure II.5 : Le handover UMTS vers LTE.....	52
Figure II.6: Le handover LTE vers le GSM/GSPR.....	52
Figure II.7 : Principe de fonctionnement du CS fallback.....	54
Figure II.8 : les interactions des réseaux.....	54

CHAPITRE III :

Figure III.1 : Comparaison du taux de succès du canal de trafic voix (TCH) et du canal RAB.....	58
Figure III.2 : le taux de réussite du SDCCH et du RRC CS.....	58
Figure III.3. Comparaison du trafic de la voix en 2G et 3G.....	59
Figure III.4. La courbe suivante représente le taux de succès du RAB HSDPA et le ERAB.....	60
Figure III.5. Comparaison du trafic de données data dowlink en 2G et 3G.....	61
Figure III.6. Comparaison du trafic de données data uplink en 2G et 3G.....	61
Figure III.7. Comparaison du volume de données entre 3G et 4G.....	62
Figure III.8. Comparaison entre le volume data en 3G et en 4G en uplink.....	63
Figure III.9. Le taux de réussite du handover en 2G.....	64
Figure III.10. Le taux de succès du handover inter-système en mode circuit.....	64
Figure III.11. Le taux de succès du handover inter-système en mode paquet.....	65
Figure III.12. Le taux de réussite d'exécution du CSFB.....	66

Tableaux

Tableau I.1 : La modulation et le codage adaptif.....	10
Tableau II.1: Mode de re-sélection et critères de re-sélection des cellules.....	39

GLOSSAIRE

3G : 3ème Génération.

2G : 2ème Génération.

4G: 4ème Génération.

3GPP : 3rd Generation Partnership Project

A:

AUC: Authentication Center.

AMC: Adaptative Modulation and Coding.

ACK: Acknow ledgement

B:

BSS: Base Station Subsystem.

BSC: Base Station Controller.

BTS: Base Transceiver Station.

BCCH : Broadcast Control Channel.

C :

CDMA: Code Division Multiple Access.

CN: Core Network.

CQI: Indicateur Qualité Canal.

CE: Chanel Element.

CRC: Cycle de Contrôle de redondance.

CPICH : Common Pilot Channel.

CSFB : CS Fall Back.

D:

DL: Dowlink.

DCI: Downlink Control Information.

E:

EIR: Equipment Identity Register.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

GLOSSAIRE

E-DPCCH: Enhanced Dedicated Physical control CHannel

E-HICH: Enhanced Uplink HARQ Indicator Channel.

E-AGCH: Enhanced Uplink Absolute Grant Channel.

E-RGCH: Enhanced Uplink Relative Grant Channel.

E-DPDCH: Enhanced Dedicated Physical Data Channel

E-DCH: Enhanced Dedicated Channel

E-TFCI: Enhanced Transport Format Combination Indicator.

E- RGCH: Enhanced Relative Grant CHannel.

E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network.

EPC: Evolved Packet core Network.

eNodeB: evolved Node B.

ERAB: E-Utran radio access bearer.

F:

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FDD: Frequency Division-Duplexing.

FACH: Forward Access Channel.

G:

GSM: Global System for Mobile communication.

GPRS: General Packet Radio Service.

GSN: Gateway GPRS Support Node.

GMSK: Gaussian Minimum-Shift Keying.

GERAN: GSM Edge Radio Access Network.

H:

HLR: Home Location Register.

HSPA: High Speed Packet Access.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access

GLOSSAIRE

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request.

HS-DSCH: High Speed Downlink Shared CHannel.

HS-SCCH: High Speed Shared Control CHannel.

HS-DPCCH: High Speed Downlink Dedicated Physical Control Channel.

HS-PDSCH: High Speed Physical Downlink Shared Channel.

HSS: Home Subscriber Server.

I:

IMSI: International Mobile Subscriber Identity.

IMEI: International Mobile Equipment Identity.

K:

KPI : Key Performance Indicators.

L:

LTE: Long Term Evolution.

M:

MMS: Multimedia Messaging Service.

MS: Mobile Station.

ME: Mobile Equipment.

MSC: Mobile Services Switching Center.

MSISDN: Mobile Station ISDN Number.

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output.

MIB: Master Information Block.

MSC: Mobile Switching Center.

MAHO: Mobile Assisted Handover

MME: Mobility Management Entity.

N:

NSS: Network Switching SubSystem.

GLOSSAIRE

Q:

OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor.

OFDMA: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access.

P:

PRB: Physical Ressource Blocks.

P-SCH: Primary Synchronisation Channel.

PCI: Physical Cell Identity.

PSS: Primary Synchronization Signal.

PDCCH: Physical Downlink Control Channel.

PBCCH: Packet Broadcast Control Channel.

PLMN: Public Land Mobile Network.

Q:

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

QoS: Quality of Service.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.

R:

RTCP: Real-Time Transport Control Protocol.

RNIS: Réseau Numérique à Integration de Services.

RSN: Retransmission Sequence Number.

RRC: Radio Ressource Control.

RTWP: Received total Wide band Power.

RNC: Radio Network Controller.

RACH: Random Access Channel.

RAB: Radio Access Bearer.

RAT : Radio Access Technology.

S:

SMS: Short Message Service.

SIM: Subscriber Identity Module.

GLOSSAIRE

SGSN: Serving GPRS Support Node.

SIR: Signal to Interference Ratio.

SC-FDMA: Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access.

SCH: Synchronization Channel.

S-SCH: Secondary Synchronization Channel.

SSS: Secondary Synchronization Signal.

SDCCH: Stand alone Dedicated Control Channel.

T:

TDMA: Time Division Multiple Access.

TDD: Time Division Demultiplexed.

TTI: Transmission Time Interval.

TCH : Traffic Channel.

U:

UE: User Equipment.

USIM: Universal Subscriber Identity Module.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network.

UL: Uplink.

V:

VLR: Visitor Location Register.

VoLTE: Voice over LTE.

W:

WCDMA: Wide Band Code Division Multiple Access.

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Résumé.....I

Liste des figures et tableaux.....II

Glossaire.....III

Introduction..... 1

Chapitre I: Les différentes générations des réseaux mobiles

Préambule 2

I.2.Deuxième génération des réseaux mobiles (2G)..... 2

I.2.1.Le réseau GSM.....2

I.2.2.L'architecture du réseau GSM.....3

I.2.2.1. Le BSS.....3

I.2.2.2.Le NSS.....4

I.2.2.3.Le multiplexage FDMA/TDMA.....6

I.2. 3.Le réseau GPRS.....7

I.2.3.1.Les équipement du réseau GPRS.....8

I.2.3.3.Le Handover.....9

I.2.4.L'évolution du EDGE.....9

I.2.4.1 .L'impact sur le réseau GSM/GPRS.....9

I.2.4.2 .La modulation et le codage adaptif 10

I.3.Troisième génération (3G) 11

I.3.1.L'architecture de l'UMTS.....11

I.3.1.1.Le réseau d'accès radio(UTRAN).....12

I.3.1.2.Le mobile (UE).....13

I.3.2.Les fréquences et le débit de l'UMTS.....13

I.3.3. Le mode de transmission dans le réseau UMTS.....14

I.3.4. Le multiplexage et le codage dans l'UMTS.....15

I.3.5.Le Handover.....17

SOMMAIRE

I.3.6.Les évolutions de HSPA.....	17
I.3.6.1.L'évolution de HSDPA.....	17
I.3.6.2.L'évolution de HSUPA.....	19
I.4.Quatrième génération (4G).....	24
I.4.1.Présentation de la LTE.....	24
I.4.1.1.Le réseau LTE.....	24
I.4.1.2.L'architecture LTE.....	24
I.4.2.L'interface Air.....	26
I.4.2.1.Principe de l'OFDMA et SC-FDMA.....	26
I.4.2.2.Comparaison entre OFDMA et SC-FDMA.....	26
I.4.3.Structure de la trame LTE.....	27
I.4.4.LTE Ressource bloc.....	28
I.4.5.Modulation et codage adaptif	28
I.4.6.La technologie MIMO.....	29
I.4.7.Calcul du débit en Downlink et Uplink.....	29
I.4.8.Performances de la LTE.....	30
Chapitre II : L'accessibilité aux trois technologies et la mobilité inter système	
II.1. Préambule.....	31
II.2. L'accessibilité aux trois technologies	31
II.2.1. La synchronisation.....	31
II.2.1.1. La synchronisation en 2G	31
II.2.1.2. La synchronisation en 3G	32
II.2.1.3. La synchronisation en 4G	32
II.2.2. Sélection de cellule	34
II.2.3. demande de service	35
II.3.Gestion de mobilité	36
II.3.1.Processus de mobilité	36
II.3.2.La mobilité en mode veille (re-sélection de cellule).....	37

SOMMAIRE

II.3.2.1.Procédure de re-sélection dans le GSM et le GPRS	37
II.3.2.2.Procédure de re-sélection dans l'UMTS	40
II.3.2.3.Procédure de resélection dans le LTE	41
II.3.3. La mobilité en mode connecté.....	42
II.3.3.1. Le handover	42
I. Le handover intra-système	44
a) Handover dans le réseau GSM.....	44
b) Handover dans le réseau UMTS	45
c) Handover dans le réseau LTE	46
II. Le handover inter-système	50
a) Le handover de l'UMTS à GSM.....	50
b) Le handover UMTS vers LTE.....	51
c) Le handover LTE vers le GSM/GPRS	52
II.3.3.2.La redirection.....	53
a) Le passage du LTE à l'UMTS.....	53
b) Différences entre handover et redirection	54
II.4. Discussion.....	55

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

III.1. Préambule	56
III.2. L'indicateur clé de performance (KPI)	56
III.3.L'accessibilité et la qualité de service data et voix	57
III.3.1. Comparaison du taux de réussite des appels en 2G (TCH) et en 3G (RAB)	57
III.3.2.Comparaison entre le taux de succès du SDCCH et le RRC CS	58
III.3.3.Comparaison entre le trafic CS en 2G et le trafic speech en 3G	59
III.3.4.Comparaison entre le taux de succès du RAB HSDPA et le taux de succès du ERAB	60
III.3.5. Comparaison entre le trafic data downlink en 2G et le HSDPA en3G.....	58

SOMMAIRE

III.3.6.Comparaison entre le trafic data uplink en 2G et le HSUPA en 3G	60
III.3.7.Comparaison entre le Volume HSDPA et le trafic volume dowlink en 4G.....	61
III.3.8.Comparaison entre le volume data en HSUPA et Uplink en 4G.....	62
III.4. La mobilité	63
III.4.1.Handover intra-système en 2G	63
III.4.2. Handover inter-système UMTS à GSM	64
III.4.3.Etude du taux de succès du CS FALL BACK	65
III.5. Discussion	66
Conclusion.....	67
Références bibliographiques.....	68

INTRODUCTION

De nos jours, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne. En effet, ils tendent à remplacer l'utilisation excessive de câbles, et procéder à l'amélioration de ces réseaux. Conçu initialement par le trafic de la voix avec 2G (GSM) puis l'apparition du GPRS et EDGE qui permettent un faible trafic de data, progressivement orienté vers le multimédia avec la 3G (UMTS) avec ces améliorations en HSPA+, ensuite vient la 4G (LTE) qui apporte un véritable tournant dans l'écrasement et les solutions existantes (2G, 3G) en augmentant le débit ainsi que les applications prises en charges par ces derniers.

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

Quelle est la meilleure technologie qui garantit une meilleure qualité de service que ce soit au niveau du trafic voix ou data.

Dans le premier chapitre nous allons présenter des généralités sur les différentes générations des réseaux mobiles détaillées avec leurs principaux services et caractéristiques.

Comme deuxième chapitre nous allons étudier l'accessibilité aux trois technologies et la mobilité inter-systèmes afin d'évaluer les performances basées sur les trois mécanismes de mobilité.

Enfin comme troisième chapitre nous allons faire une étude comparative des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G afin de comprendre qu'elle technologie nous permettra d'assurer une meilleure qualité de service.

I.1. Préambule :

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

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

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

I.2. Deuxième génération des réseaux mobiles (2G) :

La deuxième génération de systèmes cellulaires repose sur une technologie numérique a été développée à la fin des années 1980. Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal. Ce système apporte une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur.

Le réseau d'accès 2G est appelé BSS. Il est constitué de BTS et de BSC.

La 2G s'appuie sur la norme GSM, se caractérise notamment par la possibilité d'avoir un échange vocal pour un débit maximal théorique de 9.6Kbit/s. Elle a également permis à l'utilisateur équipé d'un terminal mobile de transférer des données numériques de faible volume (principalement de texte, avec les SMS ou des photos, avec les MMS)

I.2.1. Le réseau GSM :

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21^{ème} siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique.

La norme GSM prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 MHz :

1. la bande de fréquence 890 _ 915 [MHz] pour les communications montantes (du mobile vers la station de base).

2. la bande de fréquence 935_ 960 [MHz] pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

I.2.2. L'architecture du réseau GSM :

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes :

- 1) Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.
- 2) Le sous-système réseau ou d'acheminement.
- 3) Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

Les éléments de l'architecture d'un réseau GSM sont repris sur le schéma de la figure I.1. [11]

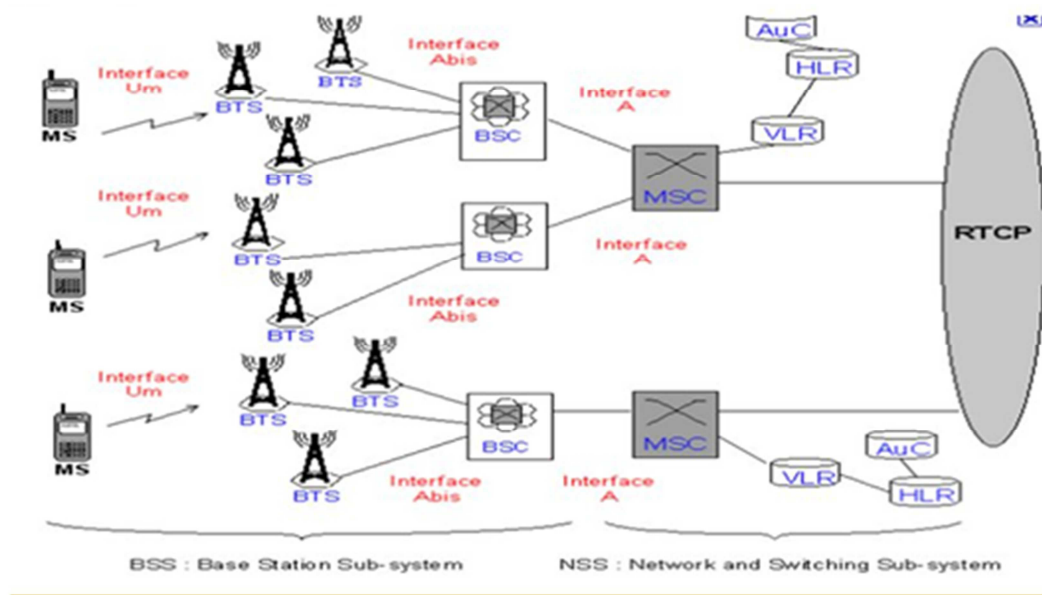


Figure I.1: Architecture du réseau GSM

I.2.2.1. Le sous-système radio BSS :

Il assure la transmission radio électrique avec le mobile, gère les ressources radio et permet la mobilité du mobile.

1. La station de base BTS:

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Il s'agit des antennes et des équipements électroniques (amplificateurs, alimentations, ...) installés à proximité de celles-ci. Chaque BTS réalise la couverture radio d'un certain territoire (appelé «cellule») dont le rayon varie entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes. Elles

doivent assurer la modulation, la démodulation, le codage correcteur d'erreur et l'estimation de canal et égalisation.

Les BTS diffusent des informations générales sur la cellule qui sont utiles aux mobiles et remontent aux BSC des mesures sur la qualité de transmission dans la cellule.

2. Le contrôleur de station de base (BSC) :

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles. Chaque BSC contrôle un certain nombre de BTS ; il constitue un nœud de communications vers et en provenance de ces BTS. La connexion entre les BTS et le BSC est une liaison à haut débit (2 Mbit/s) qui peut être réalisée par un câble (ligne louée) ou par un faisceau hertzien consistant en une transmission par ondes radio à une fréquence très élevée (supérieure à 15 GHz dans le cas des opérateurs de téléphonie mobile).

La BSC gère la ressource radio (Commande l'allocation des canaux, Utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et/ou de la BTS, Prend la décision de l'exécution d'un Handover).

3. Le MS ou Mobile Station :

Il s'agit d'un terminal mobile authentifié et autorisé à accéder au réseau mobile (RAN). Dans le GSM (ou l'UMTS), l'abonnement étant séparé du terminal utilisé, ce terminal est l'association des deux éléments suivants :

- le terminal physique, appelé Mobile equipment (ME) : il s'agit habituellement d'un téléphone mobile ou d'un smartphone,
- une carte SIM représentant l'abonnement souscrit et qui contient les paramètres clés le concernant.

Cette séparation permet à différentes personnes d'utiliser le même Mobile Equipment avec différents abonnements ; et inversement, d'utiliser un abonnement dans plusieurs terminaux (par exemple, pour changer de téléphone en cas de panne).

Dans un réseau UMTS ou LTE, l'équivalent d'une MS s'appelle User equipment (UE) et se compose d'un ME et à une carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module).

I.2.2.2.Le sous-système d'acheminement NSS :

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutations et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

1. Le Commutateur (MSC) :

Un MSC traite le trafic « voix » et signalisation de plusieurs BSC. De même que chaque BSC concentre le trafic de plusieurs BTS, le MSC concentre les flux de données en provenance de plusieurs BSC. De plus, à chaque MSC est associé un VLR qui connaît les informations détaillées sur les usagers que le MSC doit gérer.

2. L'Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) :

Le VLR (Visitor Location Register) est une station de base donnée associée à un MSC. Il mémorise les informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans une zone du réseau appelée zone de localisation (LA : Location Area). Cette gestion est importante pour connaître dans quelle cellule se trouve un abonné pour l'acheminement d'appel, et à chaque changement de la cellule par un abonné, le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité.

3. L'Enregistreur de localisation nominale (HLR) :

Le HLR est la base de données centrale contenant toutes les informations administratives relatives aux abonnés d'un réseau donné utilisant deux clés d'entrée :

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) : c'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.
- MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network) : c'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans l'HLR; les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

4. Centre d'authentification (AUC) :

Le centre d'authentification, désigne une fonction d'authentification, via leur carte SIM (Subscriber Identity Module) des téléphones mobiles et smartphones utilisés sur un réseau mobile GSM, UMTS ou LTE). L'AuC est souvent associé aux HLR de l'opérateur du réseau.

Cette authentification a lieu normalement après la mise sous tension du téléphone mobile.

Aussitôt que la carte SIM est authentifiée, le HLR est en mesure d'administrer la carte SIM et les services de téléphonie mobile associés.

5. Enregistreur des identités des équipements (EIR) :

L'EIR (Equipment Identity Register) est un équipement optionnel des réseaux GSM destiné à lutter contre le vol des terminaux mobiles. L'EIR est en fait une base de données contenant la liste des mobiles interdits. Lors de l'établissement d'un appel, le réseau demande au terminal son identité, ou IMEI. Si l'IMEI retourné par le terminal fait partie de la liste des mobiles interdits, l'appel ne peut être établi.

Bien entendu, pour être totalement efficace, cette fonction suppose que tout abonné ayant perdu son terminal signale à son opérateur la perte ou le vol de son équipement. Il faut également que l'opérateur effectue une mise à jour de la base de données de son EIR et active dans son réseau la procédure d'identification.

I.2.2.3. Le multiplexage FDMA et TDMA :

- **Accès multiple par répartition de fréquences ou FDMA (frequency Division Multiple Access):**

L'Accès Multiple par Répartition de Fréquences appelé aussi Frequency Division Multiple Access (FDMA), est une technique de multiplexage largement utilisée dans les systèmes de communications radiofréquences. Le FDMA consiste à transmettre les signaux provenant de N utilisateurs différents sur des bandes de fréquences distinctes.

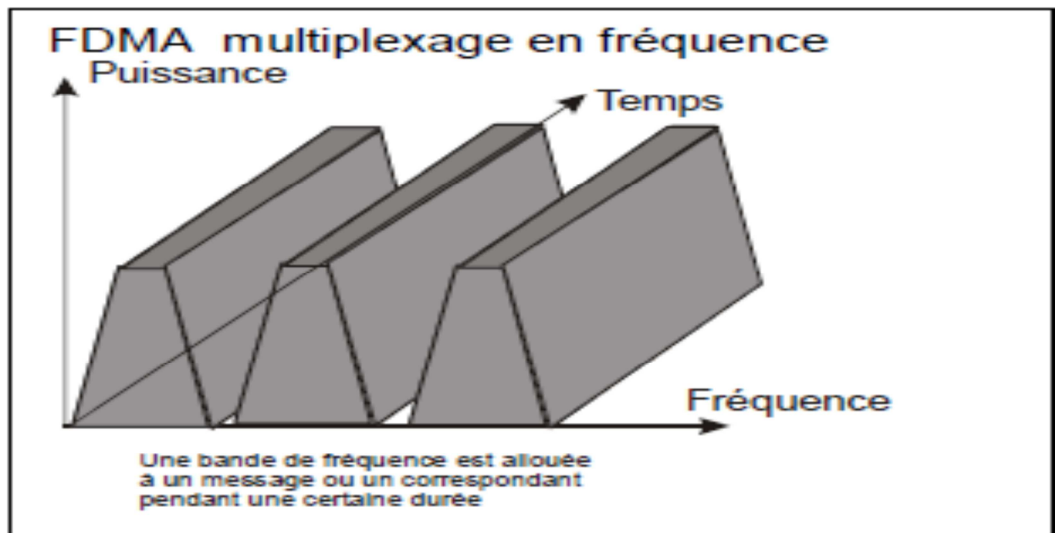


Figure I.2 : Multiplexage en fréquence FDMA

Un filtre passe bas est utilisé au niveau de l'émetteur afin de s'assurer que la bande passante du message à transmettre est limitée à une largeur définie au préalable. Chaque signal module une porteuse différente dont la fréquence est fixée par le synthétiseur. Les signaux issus des N modulateurs sont superposés et transmis par le canal.

A la réception des filtres isolent les différentes porteuses qui sont démodulées. Si les fréquences porteuses sont parfaitement connues ou restituées, il est possible d'effectuer une démodulation cohérente (synchrone). [5]

- **Accès multiple par répartition dans le temps ou TDMA (Time Division Multiple Access) :**

Le time division multiple access (TDMA) ou accès multiple à répartition dans le temps, est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs flux de trafic sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il utilise une division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée, à tour de rôle (quasi simultanément), à plusieurs abonnés.

Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et émettre sans interférer avec les autres abonnés.

La Porteuse du signal est divisée en plusieurs séquences appelées «burst», Sachant qu'un burst est envoyé par intervalle de temps appelé time slot de durée T_s . Il En résulte que les données émises peuvent être transmises à la même fréquence sans entraîner d'Interférences d'Accès Multiple (IAM). [5]

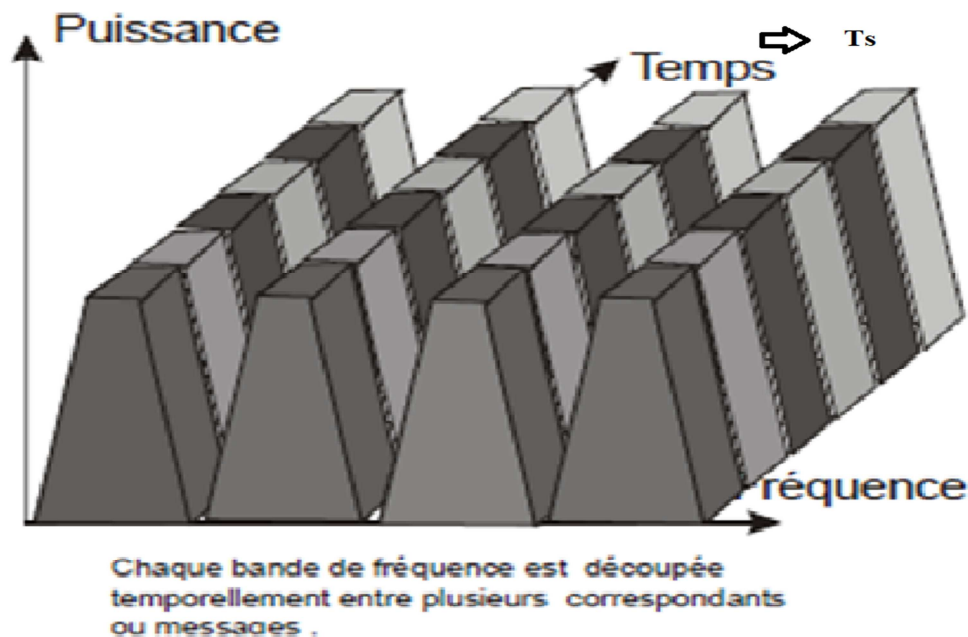


Figure I.3 : Multiplexage en temps TDMA.

I.2.3. Le réseau GPRS (General Packet Radio Service) (2.5G) :

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau I. Le réseau est donc constitué de routeurs IP.

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

Nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS. La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type "Data" à ses clients.

I.2.3.1. Les équipements d'un réseau GPRS:

1. Le nœud de service (SGSN) :

Le nœud de service dénommé SGSN (Serving GPRS Support Node) est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio : BTS, BSC, HLR ...

Le SGSN joue un rôle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. Le SGSN est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

2. Le nœud de passerelle (GGSN) :

Le nœud de passerelle GPRS dénommé GGSN (Gateway GPRS Support Node) est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS ...). Le GGSN est un routeur qui permet de gérer les transmissions de paquets de données :

- Paquets entrants d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire.
- Paquets sortants vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

La figure ci-dessous nous montre l'architecture du réseau GPRS et ces équipements.

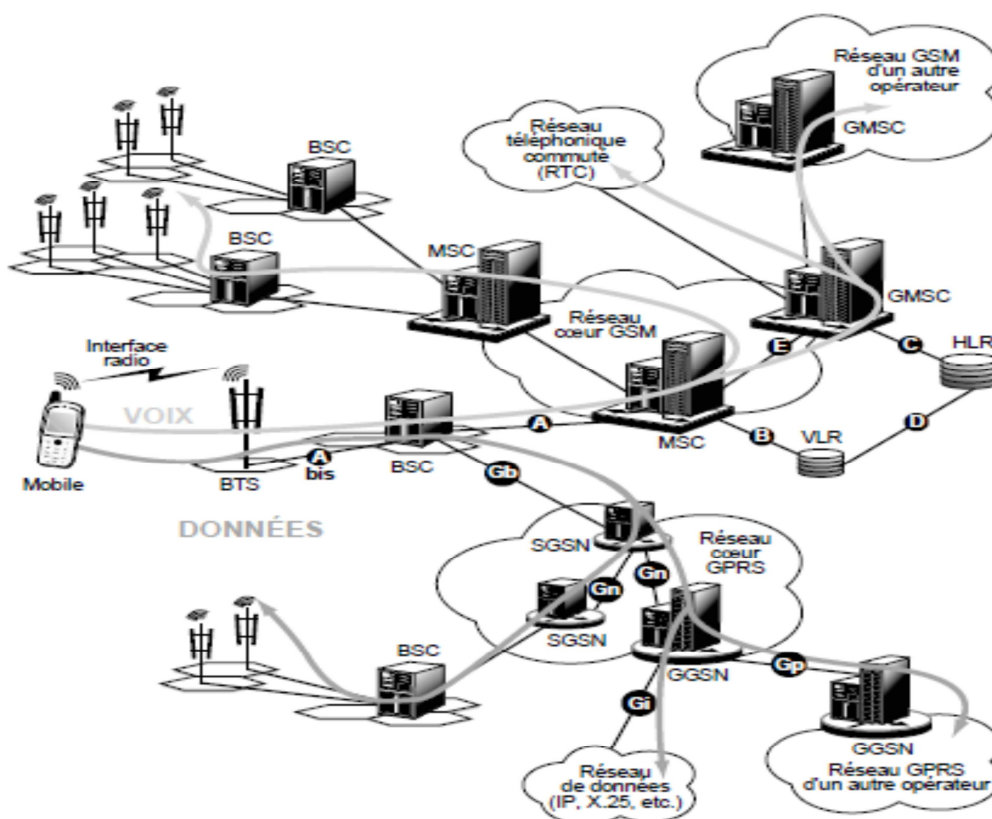


Figure I.4 : architecture du réseau GPRS.

I.2.3.2. L'état du mobile :

La gestion de l'itinérance reprend les principes du réseau GSM avec le regroupement de cellule en zone. Le terminal GPRS peut se faire dans trois états :

- En <<**REPOS**>>, le mobile est en veille.
- En <<**SURVEILLANCE**>>, le mobile est localisé au niveau de la zone de routage. Le mobile peut être appelé par le **SGSN**.
- Etat <<**PRET**>>, le mobile est localisé au niveau de la cellule. Le mobile peut recevoir des informations, dans cet état le terminal est localisable à la cellule prés.

Une zone de routage est un regroupement de cellules (cellules réseau GSM). En état de <<**SURVEILLANCE**>> puis de <<**PRET**>>, le terminal ne monopolise pas de canal radio s'il n'y a pas de transmission ou de réception de données. [13]

I.2.3.3. Le Handover :

Le handover ou transfert intercellulaire est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires (GSM, CDMA, UMTS ou LTE par exemple).

Le handover désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un smartphone (dénommés station mobile - MS en GSM, ou user equipment dans les réseaux 3G et 4G) change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données.

Ce mécanisme peut être complété par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours.

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

Le handover peut également avoir lieu entre des canaux ou cellules radio gérés par une seule BTS ou un node B (on parle alors de handover intracellulaire). [11]

I .2.4. l'évolution du EDGE (2.75G) :

I .2.4.1. l'impact sur le réseau GSM/GPRS :

EDGE est introduit dans les réseaux GSM et GPRS pour offrir :

- Soit un service en mode circuit ECSD (Enhanced Circuit-Switched Data).
- Soit un service en mode paquet EGPRS (Enhanced GPRS).

L'objectif de la fonction EDGE est l'augmentation du débit sur l'interface radioélectrique en conservant la même largeur de canal radioélectrique de (200KHz).

Le débit maximal offert est égale à 384Kbit/s lorsque les huit intervalles de temps sont concaténés. Cette augmentation de débit est rendue possible grâce à un nouveau type de modulation 8-PSK et à un nouveau mécanisme d'adaptation de la liaison vis-à-vis des perturbations.

I .2.4.2.La modulation et le codage adaptif:

Le débit maximal descendant a été fixé à 384 kbit/s dans le but de respecter une certaine norme.

Chaque bloc de transmission composé de quatre séquences est analysé et la probabilité d'erreur est estimée. En cas de problème, une adaptation automatique de la modulation et du schéma de codage (donc du débit) est effectuée.

EDGE est quatre fois efficace que le GPRS. Ce dernier utilise la méthode de codage –CS-1 à 9), or que EDGE utilise neuf modulation et codage (MCS-1 à 9).

La modulation utilisée est de type 8PSK. C'est à dire la porteuse radioélectrique transmise à 8 états de phase, chaque état de phase (symbole) représentant un triplé du signal binaire à émettre.

Codage	Modulation	Débit (kbits/s/slot)
MCS-1	GMSK	8.80
MCS-2	GMSK	11.2
MCS-3	GMSK	14.8
MCS-4	GMSK	17.6
MCS-5	8-PSK	22.4
MCS-6	8-PSK	29.6
MCS-7	8-PSK	44.8
MCS-8	8-PSK	54.4
MCS-9	8-PSK	59.2

Tableau I.1 : La modulation et le codage adaptif

Les quatre premiers schémas de modulations utilisent la modulation GMSK (Gaussian minimum-shift keying) alors que les cinq derniers utilisent la modulation 8-PSK.

Le nombre de symboles transmis dans une certaine période est le même que pour le GPRS mais cette fois, chaque symbole transmis contient 3 bits, donc le débit est accru.

Cependant, la différence est que la distance entre symboles est moindre qu'avec le GPRS. Le risque d'interférence inter-symbole s'en trouve accru. Si les conditions de réception sont bonnes, cela ne pose pas de problèmes mais dans le cas contraire, il y aura des erreurs. Des bits supplémentaires sont utilisés pour ajouter plus de codes de corrections d'erreurs afin de recouvrer les données. [1]

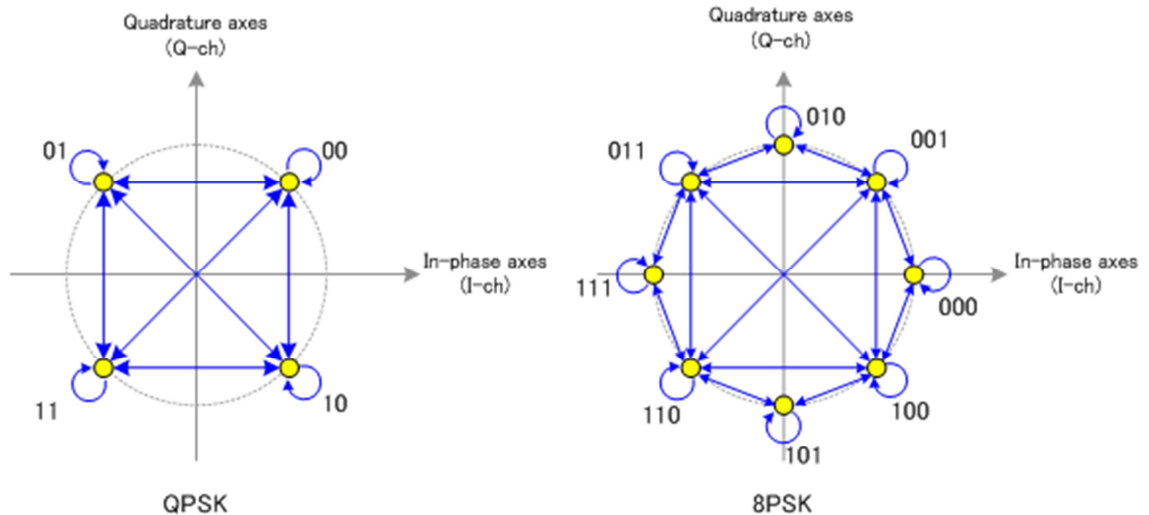


Figure I.5 : diagramme de constellation QPSK et 8PSK.

I.3.Troisième génération (3G) :

La 3G est la troisième génération de téléphonie mobile. Elle englobe notamment les technologies Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), celle-ci étant utilisée dans un très grand nombre de pays, et CDMA2000, qui existe notamment aux Etats-Unis.

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

I.3.1.L'architecture de l'UMTS :

L'architecture générale de l'UMTS est divisée en trois domaines :

- Equipement usager (User Equipment UE).
- Réseau d'accès radio (Terrestrial Radio Access Network UTRAN).
- Réseau cœur (Core Network CN).

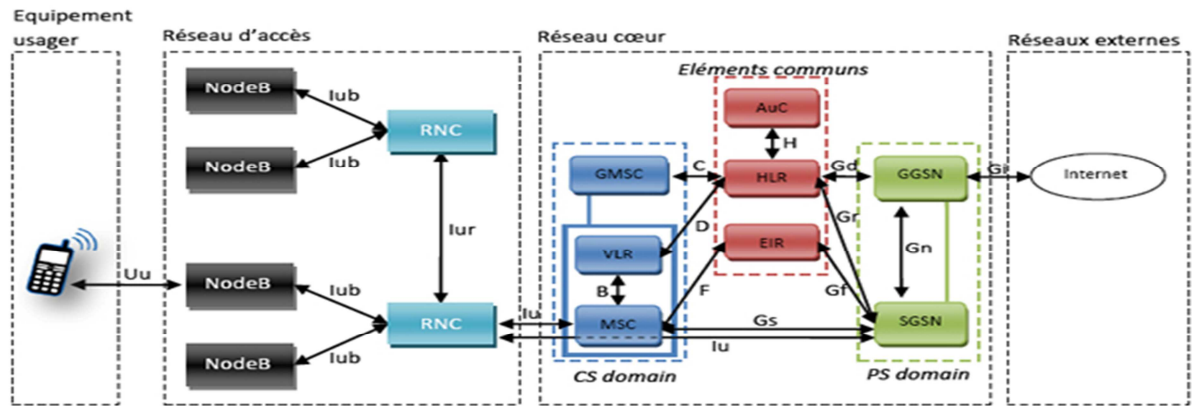


Figure I.6 : l'architecture de l'UMTS.

I.3.1.1. Le réseau d'accès radio (UTRAN) :

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Un UTRAN est constitué d'un ou plusieurs RNS. Le RNS a pour rôle de gérer l'allocation et la libération des ressources radio pour autoriser la connexion entre l'UE et l'UTRAN. Chaque RNS est formé d'un RNC et d'un ou plusieurs Node B qu'il les contrôle via l'interface Iub.

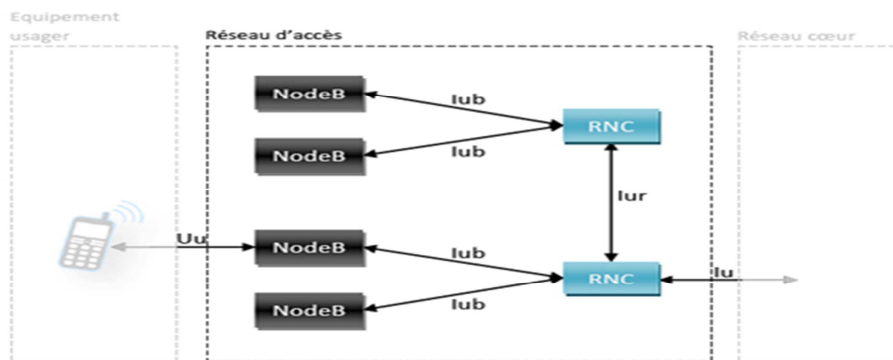


Figure I.7 : Architecture du réseau d'accès.

❖ Node B :

Les Nodes B sont au réseau UMTS l'équivalent de la BTS dans les réseaux GSM. Le rôle principal du Node B est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Le Node B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). On trouve deux types de NodeB :

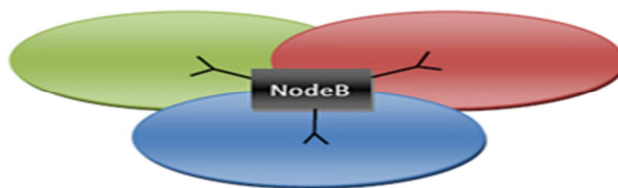


Figure I.8 : NodeB avec antennes sectorielles.



Figure I.9 : NodeB avec antenne omnidirectionnelle.

❖ RNC :

C'est un organe très important de l'UTRAN, il permet de gérer les ressources radio du réseau d'accès et gère le protocole RRC définissant les procédures et les messages entre le mobile et l'UTRAN. Il est en liaison avec le réseau cœur pour les transmissions en mode paquet à travers l'interface Iu-PS et en mode circuit à travers l'interface Iu-CS.

Le RNC est directement relié à un Node B par l'interface Iub est un CRNC. [14]

❖ Les interfaces :

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS :

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.
- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC. [14]

I.3.1.2.Le mobile (UE) :

Désigne la station mobile, il se compose de deux parties :

L'équipement mobile : assure la transmission, génération et traitement des données de l'utilisateur.

USIM (UMTS Subscriber Identity Module) conserve les informations liées à l'abonné.

I.3.2. Les fréquences et le débit de l'UMTS :

Les fréquences allouées à l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

L'UIT a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel TDD : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35MHz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz).

- Duplex fréquentiel FDD : 1920 à 1980 MHz (uplink bande de 60MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60MHz).

La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685MHz. L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbit/s, fin 2004 les débits offerts par les opérateurs dépassent rarement 384 kbit/s. Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 kbit/s.

Le débit est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de l'utilisateur.

Grace à son débit, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux, permettant en particulier de transférer, dans des temps relativement court, des contenus multimédia tels que les images, les sons et les vidéos (visiophonie, MMS vidéo, vidéo à la demande, télévision). [14]

I.3.3.Le mode de transmission dans le réseau UMTS :

Dans l'UMTS la transmission repose sur deux modes :

a. Le mode circuit :

Ce mode permet de gérer les services temps réel dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications multimédia).

Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode circuit sera de 384 kbit/s.

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

b. Le mode paquet :

Ce mode permet de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur internet, de la gestion de jeux en réseau ainsi que l'accès et l'utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquets. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2 Mbits/s.

L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (base de données existantes) en mode paquet GPRS, équivalent des MSC/VLR en réseau GSM et le GGSN(équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau internet et les autres réseaux publique ou privés de transmission de données. [14]

I.3.4. Le multiplexage et le codage dans l'UMTS :

W-CDMA (multiplexage par code à large bande), est une variante de la technique CDMA, utilisée dans la partie radio (UTRAN) des réseaux de téléphonie mobile UMTS, de troisième génération. Elle permet à plusieurs liaisons numériques d'utiliser simultanément la même fréquence porteuse.

❖ L'organisation en fréquence et en temps :

- L'organisation fréquentielle :

Le groupe 3GPP a normalisé deux modes d'accès en duplex pour le système UMTS à savoir le mode FDD et le mode TDD.

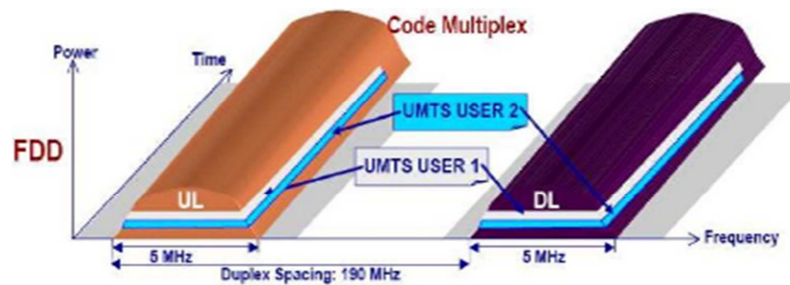


Figure I.10 : Le mode FDD de WCDMA.

- L'organisation temporelle :

L'organisation temporelle de l'UMTS est basée sur une super trame de 720 ms, Comportant elle-même 72 trames de 10 ms. Chaque trame de 10 ms est divisée en 15 slots de 667 μ s. cette organisation est présentée par la figure suivante :

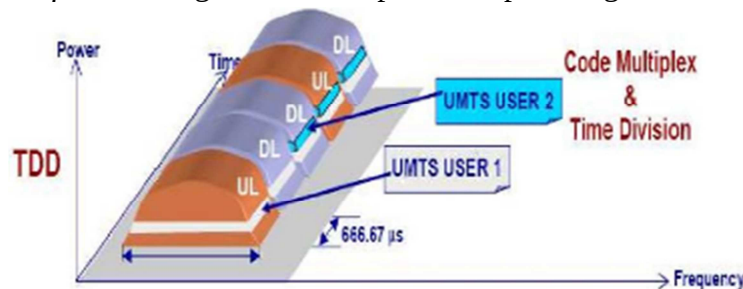


Figure I.11 : Le mode TDD de WCDMA.

Le codage en 3G est basé sur deux technique appelée Codes de canalisation ou codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) et codes d'embrouillage utilisés pour identification des cellules et les utilisateurs dans une cellule. [14]

Les codes OVSF sont utilisés pour réaliser des connexions entre différents débits en variant le SF de 4 à 256 pour le sens montant et de 4 à 512 pour le sens descendant.

Pour connecter différents débits, il faut des règles pour maintenir l'orthogonalité, les ancêtres et les descendants d'un code donné ne sont pas orthogonaux à ce code.

Règle de blocage : Si un code est utilisé pour une connexion, alors il ne faut pas le réutiliser ni utiliser ses ancêtres ni ses descendants pour une autre connexion.

L'affectation de ces codes est gérée par l'RNC selon le type de service demandé par l'abonné, tel que :

- SF 256 : utilisé pour la signalisation
- SF 128 : utilisé pour la voix
- SF 64 : utilisé pour la vidéo call

La taille de l'information est inversement proportionnelle à la taille des codes.

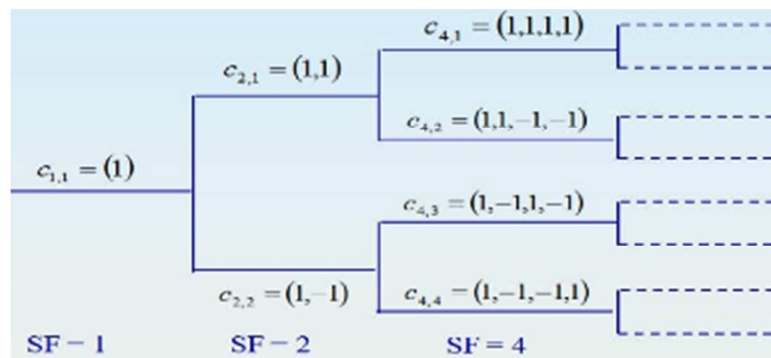


Figure I.12 : L'arbre des codes de canalisation OVSF

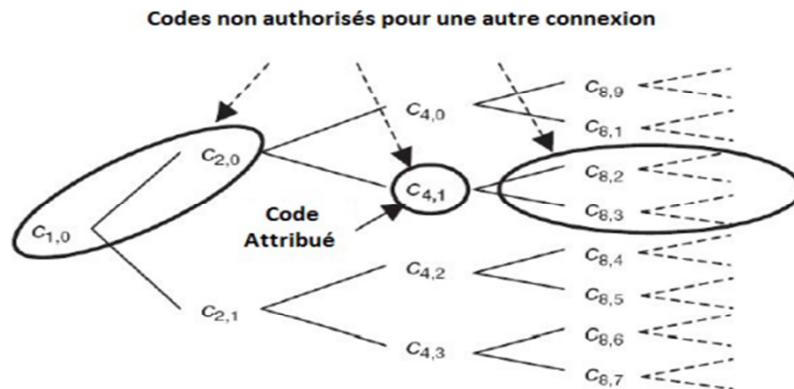


Figure I.13 : les codes non autorisés.

Codes d'embrouillage :

Le signal étalé par les codes de canalisation est multiplié chip par chip par un autre code dit d'embrouillage, 1 code par cellule.

En DL codes d'embrouillage identifiant une cellule.

En UL permettant d'améliorer les propriétés statistiques des codes de canalisation et différencier chacun des utilisateurs présents dans une cellule.

I.3.5. Le handover :

Les handover dans les systèmes WCDMA peuvent être classés suivant plusieurs modes.

Nous distinguons le soft/softer et le hard handover.

❖ Le softer handover :

Il se produit quand les Nodes B sont sectorisés. Ainsi, quand le terminal mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux secteurs adjacents d'un même Node B, les communications avec le Node B empruntent simultanément deux canaux radio, un pour chaque secteur. Deux codes d'étalement doivent alors être utilisés dans le sens DL afin que le terminal mobile puisse distinguer les deux signaux issus des deux secteurs, on a donc deux connexions simultanées pour cet usager.

❖ Le soft handover :

Durant un soft handover, le terminal mobile se trouve dans la zone de couverture commune à deux Node B. les communications entre le terminal mobile et les Nodes B utilisent simultanément deux canaux radio, un pour chaque Node B. Du point de vue du terminal mobile, il existe très peu de différence entre le softer et le soft handover.

❖ Le hard handover :

Il consiste à libérer l'ancienne connexion avant qu'une nouvelle connexion radio entre le mobile et le réseau soit établie. Un mobile qui passe dans une nouvelle cellule provoque la rupture de l'ancienne connexion avant qu'une nouvelle connexion soit établie dans la cellule visitée, ce type de handover n'est souhaitable dans la transmission des paquets puisqu'il entraîne la perte des paquets pendant la coupure. [14]

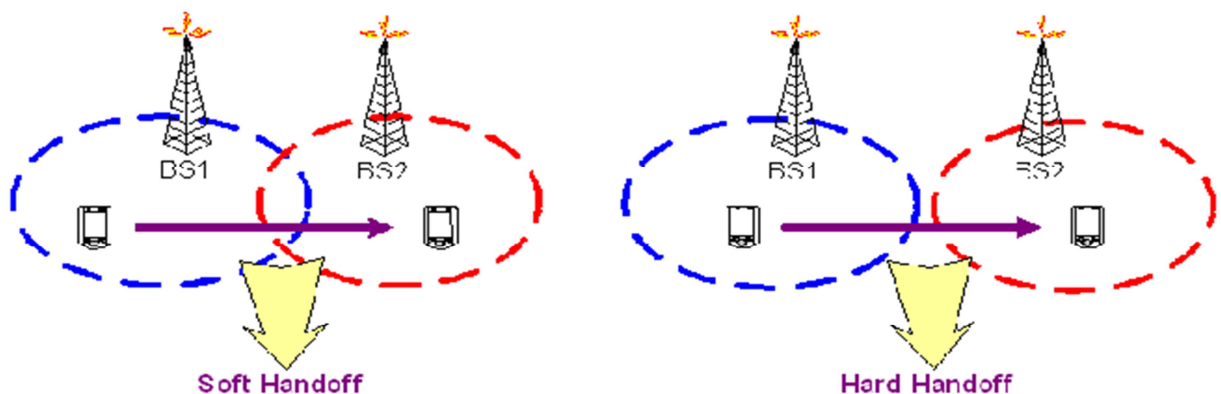


Figure I.14 : le soft et le hard handover.

I.3.6. Les évolutions de HSPA :

I.3.6.1. L'évolution de HSDPA :

Le HSDPA représente la première étape d'évolution de la méthode d'accès mobile de troisième génération UMTS. Cette technologie permet d'obtenir des débits théoriques

supérieurs à 10Mbps sur le lien descendant et supporter des services à valeur ajoutée, tels que l'accès internet à haute vitesse, le téléchargement de fichiers audio et vidéo, la réception de programmes télévisés et la visiophonie. Ces améliorations sont rendus possibles grâce une combinaison de propriétés qui sont à la base du HSDPA, et que l'on résume par les points suivants : [14]

- La technique de modulation et de codage adaptifs AMC.
- Une méthode de transmission hybride rapide appelée H-ARQ.
- Des algorithmes d'ordonnancement rapide de paquets.

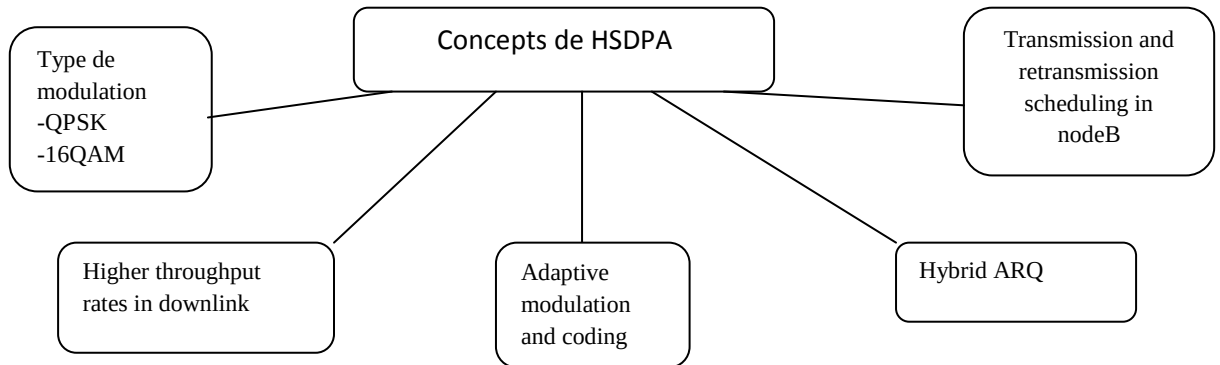


Figure I.15 : Concepts du HSDPA.

❖ La modulation adaptée en 3G:

L'AMC fournit la flexibilité d'adapter la combinaison modulation-codage aux conditions moyennes du canal radio pour chaque utilisateur.

Avec l'AMC, la puissance du signal transmis est maintenue constante pendant toute la durée de la trame, en faisant varier le nombre de codes parallèles pouvant être supportés par un terminal et le taux de codage en fonction de la qualité actuelle du signal reçu.

L'utilisation d'un ordre de modulation plus important avec la 16-QAM permet aussi d'augmenter le débit d'une manière significative. Cette nouvelle modulation a été proposée dans la release 5, mais son utilisation est, contrairement à la modulation QPSK, optionnelle et dépend du type de terminal utilisé.

QAM ou modulation d'amplitude en quadrature est une forme de modulation d'une porteuse par modification d'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature.

Cette technique permet la transmission d'un nombre de bit important en une fois.

Un ensemble des combinaisons d'amplitudes représentées sur un diagramme en (x, y) est un ensemble de points appelé diagramme de constellation QAM.

Le nombre de points de constellation est indiqué avant le type de modulation QAM, c'est une puissance de 2. [14]

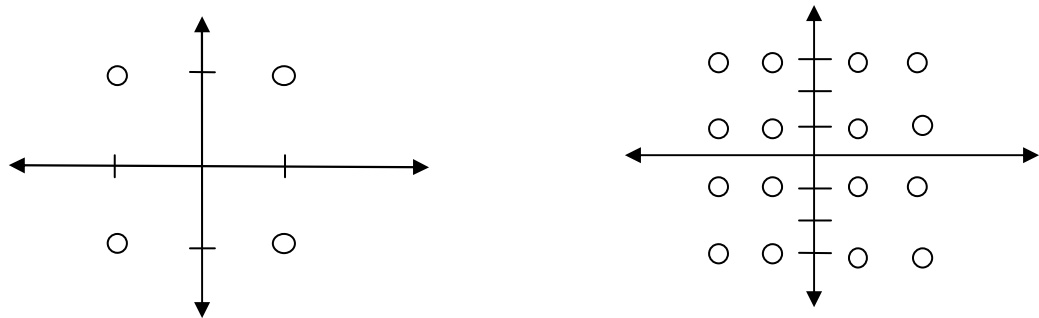


Figure I.16 : Constellation de la modulation 16QAM et QPSK.

❖ Canaux HSDPA:

Dans le but d'implémenter la technologie HSDPA, trois nouveaux canaux ont été introduits dans les spécifications de la release 5 : le HS-DSCH, le HS-SCCH et le canal physique HS-DPCCH. Le HS-DSCH est un canal partagé qui transporte les données des utilisateurs sur le lien descendant, avec un débit pic allant au-delà des 10 Mbps. Le canal HS-SCCH prend en charge l'information de contrôle nécessaire de la couche physique afin de permettre le décodage des données sur le canal HS-DSCH. Enfin le canal HS-DPCCH transporte l'information de contrôle nécessaire sur le lien montant, notamment les acquittements ACK (positifs ou négatifs) ainsi que l'information sur la qualité du lien radio. [14]

❖ Ordonnancement rapide :

L'ordonnancement permet de déterminer à quel utilisateur il convient de transmettre dans un intervalle de temps donné. C'est un élément déterminant dans la conception puisqu'il répartit l'allocation du canal entre les utilisateurs et ainsi, d'une manière générale, détermine le comportement global du système. L'HSDPA utilise la méthode de maximum C/I (signal sur interférence). En effet, le max C/I dessert l'utilisateur tous les TTI avec le débit supportable instantané le plus élevé.

Pendant chaque TTI (transmission time interval), le canal HS-PDSCH est alloué à l'utilisateur ayant les meilleures conditions de canal. En fait, le Node B utilise l'indicateur de qualité de canal (CQI) rapporté par la procédure d'adaptation de lien et alloue le canal HS-PDSCH à l'utilisateur avec le meilleur SIR (signal sur référence). Ce principe de service possède des avantages évidents en terme de capacité de cellule, mais il en résulte une absence d'équité de débit car les mauvaises conditions radio de canal sont desservies d'une manière moins fréquente. [14]

I.3.6.2.L'évolution de HSUPA:

Les services de multimédia et de l'internet à haut débit imposant au système UMTS d'augmenter le débit dans le sens montant avec une qualité de service acceptable. Le sens montant reste, donc, insuffisant en termes de débit pour certains services. Dans ce contexte, le groupe 3GPP a développé le système HSUPA dans la spécification technique "Release 6". Ce système a introduit des nouveaux canaux physique tels que l'E-DPCCH

pour l'acheminement des informations utilisateurs dans le sens montant et les canaux physiques de contrôle E-HICH, E-AGCH et E-RGCH dans le sens descendant.

L'introduction de ces canaux permet d'obtenir un débit théorique qui peut atteindre le 8 Mbps. L'implémentation de ce système introduit des techniques de codage et de modulation tels que l'utilisation de la modulation 4-PAM avec la modulation BPSK, la technique de retransmission hybride (HARQ) et l'utilisation d'un mécanisme d'ordonnancement rapide des ressources. [

Le système HSUPA fait appel à des faibles facteurs d'étalement variables. En effet, pour transmettre avec des débits élevés, un utilisateur HSUPA utilise des facteurs d'étalement qui prennent des valeurs entre 2 et 256. De plus, le système HSUPA offre la possibilité d'utiliser une durée de trame de données de 2 ms optionnellement avec 10 ms. [14]

❖ Les canaux physiques de la voie montante :

Dans la liaison montante, le système HSUPA utilise deux types de canaux physiques dédiés : l'E-DPDCH et l'E-DPCCH. Ces canaux sont une amélioration des canaux physiques DPDCH et DPCCH de la liaison montante du système UMTS. Ils sont séparés sur les deux voies en phase (I) et en (Q). Le canal E-DPDCH est utilisé pour transporter les données utilisateurs issues du nouveau canal de transport dédiés E-DCH. Quant au canal E-DPCCH montant, il convoie les données de contrôle générées au niveau de la couche physique. Les informations contenues dans l'E-DPCCH sont : le RSN (retransmission sequence number) qui est nécessaire pour le mécanisme de retransmission des paquets HARQ, l'E-TFCI (Enhanced Transport Format Combination Indicator), qui indique la taille du bloc de transport E-DCH et le bit 'happy' qui indique la satisfaction du mobile par les ressources allouées par le node B. le standard 3GPP a normalisé un seul canal physique dédié de contrôle et un, deux ou quatre canaux physiques dédiés de données. [14]

❖ Les canaux physiques de la voie descendante :

Dans le sens descendant, le HSUPA introduit trois nouveaux canaux physiques de contrôle qui sont l'E-AGCH, RGCH et l'E-HICH. Ces nouveaux canaux ont pour rôle l'attribution rapide des ressources de la liaison montante, à savoir la puissance d'émission maximale, la taille de bloc de transport E-DCH et les paramètres de la technique HARQ.

Cette attribution des ressources est évaluée par le Node B qui la communique au mobile sur les deux canaux E-AGCH (Enhanced Uplink Absolute Grant Channel) et E-RGCH (Enhanced Uplink Relative Grant Channel). Ces deux canaux sont étalés par un facteur d'étalement de 256.

Le processus de retransmission des paquets hybrides HARQ qui est déjà utilisé par le système HSDPA est appliqué pour le système HSUPA. La voie de retour qui correspond à l'acquittement positif ou négatif, est transmise sur la voie descendante par le canal E-

HICH (Enhanced Uplink HARQ Indicator Channel). Ce canal est étalé par un facteur d'étalement de 256. [14]

- **Les états de connexions du protocole RRC :**

En GSM, il existe deux états de connexion : l'état connecté et l'état de veille. En GPRS, il existe trois états de session : l'état de veille (état d'inactivité), l'état ready (état correspondant à la transmission de données) et l'état standby (état suivant l'arrêt de transmission de données). En UMTS, il existe les états suivants :

Etat non connecté, un seul état de veille.

Etat connecté, les états CELL-DCH, CELL-FACH, CELL-PCH, URA-PCH.

CELL-DCH : c'est un état similaire à l'état connecté en GSM. Dans cet état, les canaux dédiés sont alloués pour les deux sens de communication et la mobilité du terminal est contrôlée par le réseau.

Dans l'état CELL-PCH et URA-PCH : aucune ressource dédiée n'est allouée au mobile. Dans l'état

CELL-PCH, la position du mobile est connue au niveau de la cellule. Dans l'état URA-PCH, la position du mobile est connue dans une zone. Les deux états de localisations donnent une souplesse supplémentaire dans la gestion de la localisation :

-un mobile lent utilise CELL-PCH.

-un mobile rapide utilise URA-PCH.

CELL-FACH : aucune ressource dédiée n'est allouée au mobile. Le mobile a la possibilité de transmettre des données sur les canaux de transport RACH.

RTWP représente le niveau total de bruit dans la bande de fréquences UMTS de n'importe quelle cellule.

- **RTWP : Le niveau de puissance de liaison montante totale (interférence) :**

Cette mesure est liée à l'interférence de liaison montante, et sa surveillance aide à contrôler les baisses d'appels - principalement CS. Il a également une importance dans la gestion de la capacité, car il fournit des informations pour le contrôle de congestion en ce qui concerne l'interférence de liaison montante.

L'interférence de liaison montante peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que le nombre d'utilisateurs dans la cellule, le service, les types de connexion et les conditions de radio, etc.

La figure suivante nous montre les valeurs typiques de RTWP :

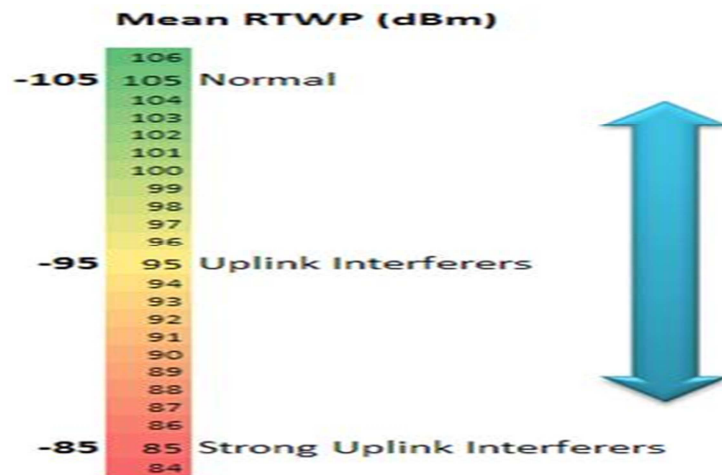


Figure I.17 : Les valeurs de RTWP.

La valeur moyenne de RTWP est généralement autour de -104,5 et -105,5 dBm.

Les valeurs autour de -95 dBm indiquent que la cellule possède des interférences de liaison montante.

Si la valeur se situe autour de -85 dBm, la situation est mauvaise, avec de puissantes interférences de liaison montante.

- **Channel Element(CE) Ressource de l'élément de canal :**

Les ressources CE sont un type de ressource matérielle NodeB. Le nombre de CE pris en charge par NodeB unique indique la ressource de capacités de démodulation de canal du NodeB. Plus il y a de CE supportés par NodeB, plus la démodulation des canaux et les capacités de traitement des services sont puissantes pour servir les clients. Les services à des débits différents nécessitent des nombres d'CE différents pour assurer une démodulation correcte des canaux.

Dans un RAN, les ressources CE sont gérées par le RNC et le NodeB. Le NodeB signale sa capacité CE au RNC. Le RNC détermine s'il convient d'admettre un nouveau service en fonction du nombre d'entités de configuration qui doivent être consommées et contrôle les ressources CE pendant l'encombrement CE. Cela garantit l'utilisation appropriée des ressources CE. Le NodeB gère dynamiquement les ressources CE et ajuste rapidement le nombre de CE qui peuvent être consommés en fonction du taux de service réel. Cela augmente l'utilisation des ressources CE.

Les concepts d'élément de canal de base est :

CE est une unité de base qui mesure les capacités de démodulation des canaux d'un NodeB. Les CE sont classés en CE de liaison montante (UL) et en CE de liaison descendante (DL).

- Un UL CE doit être consommé par un service vocal UL à 12,2 kbit / s (SF = 64) plus une signalisation à 3,4 kbit / s.
- Un seul CE doit être consommé par un service vocal DL à 12,2 kbit / s (SF = 128) plus une signalisation à 3,4 kbit / s.

Le nombre de CE UL et DL pris en charge par un NodeB est déterminé par **les capacités matérielles NodeB et la capacité CE autorisée**. Le nombre de CE ULPLINK (UL) et DOWNLINK (DL) pris en charge par le matériel NodeB est appelé **capacité CE physique**. La capacité CE autorisée peut différer de la capacité CE physique. Le plus petit détermine le nombre de CE qui peuvent être utilisés par un opérateur.

CE est un concept du côté NodeB. Du côté RNC, il s'appelle **NodeB credit**. Le RNC effectue le contrôle d'admission et de congestion sur la base du crédit NodeB. Dans l'UL, le nombre de ressources de crédit Node est deux fois supérieur à celui des CE. Dans le DL, le nombre de ressources de crédit NodeB est égal à celui des CE.

- **Le processing (code de traitement) :**

Le traitement est effectué avec différents taux de traitement à différentes étapes. Les taux sont classés en tant que traitement de débit de symboles et traitement de débit de puce. Taux de symbole correspond au débit des bits d'information. Autrement dit, chaque bit traité dans le physique la couche correspond à un symbole d'information (par exemple 1 ou 0) dans la charge utile. La technologie WCDMA utilise l'étalement du code pour permettre la transmission de plusieurs canaux sur la même bande de fréquence.

Les symboles sont répartis en utilisant des codes de canaux orthogonaux. Un code de canal est une séquence finie de 1 et 0, qui sont notées puces, et ces séquences sont sélectionnées de sorte qu'ils sont orthogonaux les uns aux autres. Chaque symbole est étalé sur une séquence de puces et le taux de traitement est plus élevé après cette propagation, puisque chaque symbole logique est maintenant représenté par une séquence de symboles plus longue.

Ce taux est appelé taux de puce. Dans la liaison descendante, toutes les fonctions de bande de base de la pièce jointe CRC à travers le mappage des canaux physiques est traité au débit symbole. L'opération d'épandage est effectuée après la cartographie physique des canaux et la sortie après l'étalement sont le taux de symboles. Dans la liaison montante, les parties du récepteur RAKE et les fonctions précédentes sont traitées au taux de puce.

Les fonctions passant au récepteur RAKE sont traitées au débit symbole. Le débit de puce sur un canal physique en UMTS est de 3,84 Mchips et ce taux est constant. Une trame radio est transmise pendant un intervalle de 10 ms, ce qui correspond à une longueur de 38400 jetons. Chaque trame radio est divisée en 15 emplacements et chaque emplacement correspond à 2560 chips. La longueur du facteur d'étalement (SF) détermine la vitesse à laquelle les symboles sont mappés sur les canaux physiques. Le facteur d'écart est toujours un multiple de 2 et dans le downlink le SF peut varier entre 4

et 512. Les débits binaires dynamiques peuvent être attribués par configuration de la longueur du facteur d'étalement et utilisation de codes à plusieurs canaux.

I.4. Quatrième génération (4G) :

I.4.1. Présentation de la LTE :

I.4.1.1. Le réseau LTE :

La LTE désigne une norme spécifiée réalisée par l'organisme de standardisation 3GPP pour améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux évolutions technologiques. Les buts de LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permet le transfert de données à haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevée que dans l'UMTS avec latence plus faible.

La LTE est basé sur des techniques radios telles que la technique OFDMA pour le sens descendant, la technique SC-FDMA pour le sens montant et la technique MIMO pour l'émission-réception. Les largeurs de la bande de cette norme peuvent s'étendre de 1.25 à 20 MHz en liaison descendante, ce qui permet à un opérateur d'adapter cette technologie aux bandes de fréquences qu'il possède.

I.4.1.2. L'architecture LTE :

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA.

L'architecture du réseau LTE comprend les parties suivantes :

- E-UTRAN : qui est le réseau d'accès.
- EPC/SAE : qui est le cœur du réseau.
- HSS

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture connus aussi sous le nom d'EPS, sont : l'EPC et l'UTRAN.

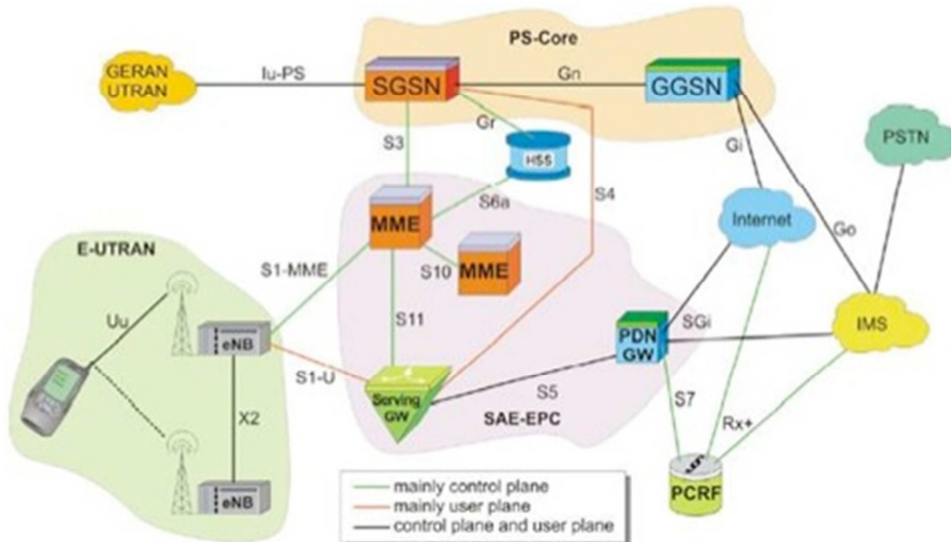


Figure I.18 : L'architecture LTE.

➤ Le réseau d'accès radio E-UTRAN :

Le terme E-UTRAN désigne la partie radio d'un réseau de téléphonie mobile LTE, il assure la connexion via des ondes radio entre les terminaux mobiles et le cœur de réseau d'un opérateur mobile.

Un EUTRAN est constitué d'antenne radio, de stations de base « eNode B », ainsi que des liaisons fibre optique, cuivre ou faisceau hertzien raccordant ces équipements entre eux et avec le cœur de réseau.

-Entité eNode B :

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

➤ Les interfaces :

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

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

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

I.4.2. L'interface Air:

Le LTE a intégré de nouvelles technologies concernant la réception et l'émission de données. Le système de transmission de liaison descendante (downlink) est basé sur la technologie OFDMA, et celui de la liaison montante (uplink) est basé sur la technologie SC-FDMA. Ces deux transmissions prennent en charge le FDD et TDD qui sont des modes de duplexages temporelles et fréquentielles. LTE intègre également la technologie MIMO, afin d'améliorer la couverture de la cellule, et l'utilisation de HARQ qui garantit un faible temps de latence et une transmission rapide. [12]

I.4.2.1. Principe de l'OFDMA et SC-FDMA :

➤ OFDMA :

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisé notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE.

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaire pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antenne radio, réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception. Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre.

➤ SC-FDMA :

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de télécommunications mobile de 4^{ème} génération LTE. Comme pour d'autre technique à schéma d'accès multiple (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique. [12]

I.4.2.2. Comparaison entre OFDMA et SC-FDMA :

La figure suivante permet de relever les points communs entre l'OFDMA et le SCFDMA:

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

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse. [12]

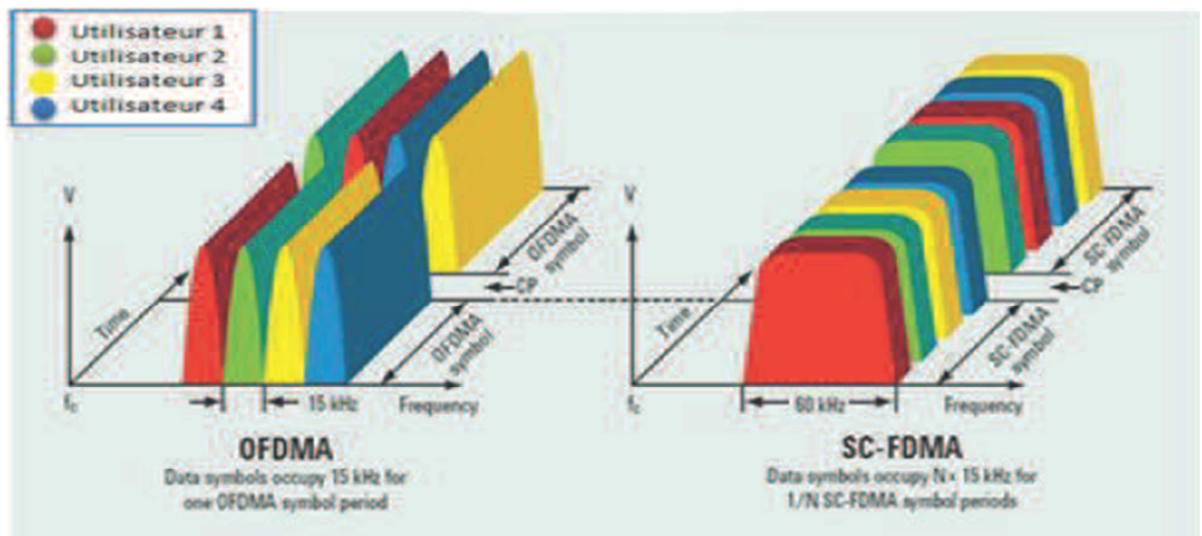


Figure I.19 : Comparaison entre OFDMA et SC-FDMA.

I.4.3. Structure de la trame LTE :

La figure suivante représente la structure générale de la trame LTE qui a une durée de 10ms, elle est décomposée en 20 slots de 0.5ms chacun. Et dans chaque sous trame elle contient 2 slots, ce qui crée les 20slots.

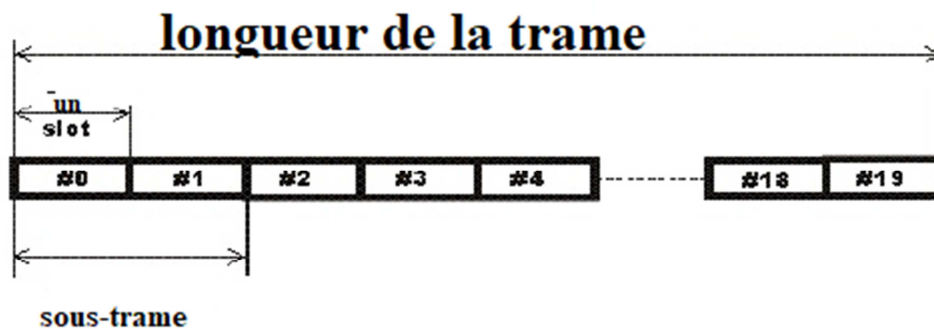


Figure I.20 : Structure de la trame LTE.

Pour que le LTE maintienne la synchronisation entre l'e NodeB et l'UE, il définit deux structures de trames l'E-UTRAIN. Ces dernières se différencient entre les modes duplex TDD et FDD, car il y a des exigences différentes sur la séparation de données transmises. Les deux types de trames sont :

- ❖ Type 1 : utilisé par les systèmes opérant en mode LTE FDD.
- ❖ Type 2 : utilisé par les systèmes opérant en mode LTE TDD.

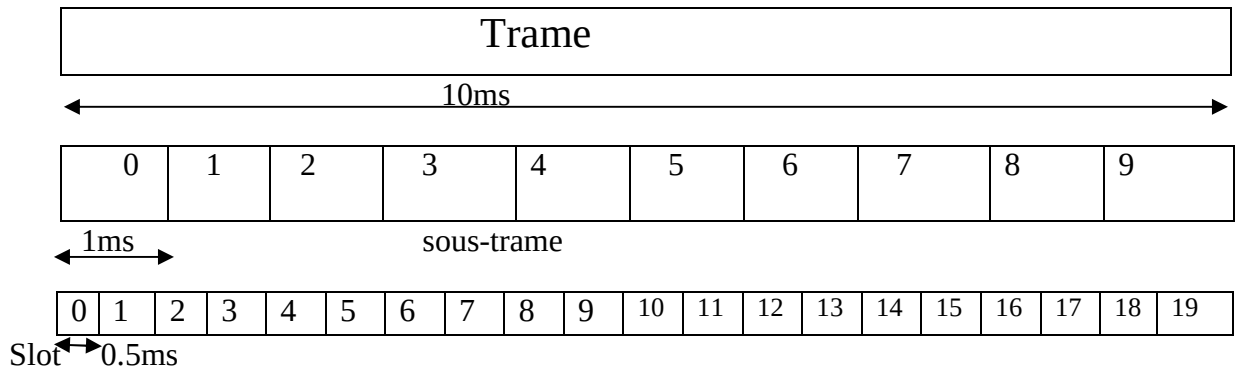


Figure I.21 : la structure de la trame en mode FDD.

I.4.4. LTE Resource Bloc :

En LTE, l'espace temps/fréquence est divisé en PRB (Physical Resource Bloc). Chaque PRB est composé de 12 sous-porteuses consécutives d'une largeur de 15KHZ chacune, pour un slot (0.5ms). Un PRB est le plus petit élément d'allocation des ressources affectées par le planificateur de la station de base.

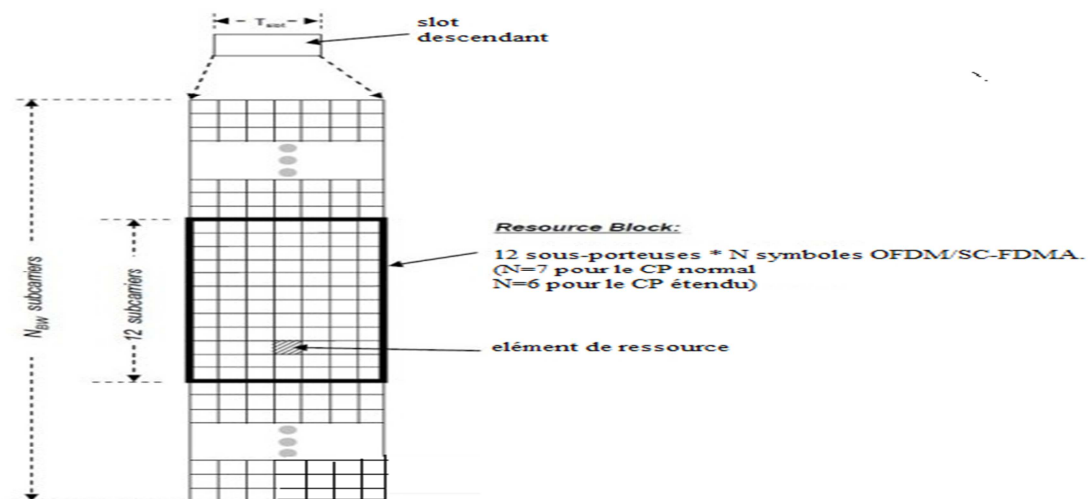


Figure I.22 : bloc de ressource LTE.

Le nombre de sous porteuse disponibles dépend de la largeur de bande de transmission globale du système. Les spécifications LTE les paramètres de bande passante à partir de 1.4MHZ jusqu'à 20MHZ.

I.4.5. Modulation adaptive :

La modulation d'amplitude en quadrature est utilisée dans les différentes technologies sous plusieurs variantes citant 16 QAM, 32 QAM, et le 64 QAM. Ces modulations permettent de doubler la capacité de transfert par rapport aux modulations utilisées pour les technologies inférieures, exemple de 8QAM, on fait donc l'hypothèse de 3 bits transmis par symbole, soit $2^3=8$ combinaisons en faisant l'hypothèse de deux

amplitudes différentes. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit $2^4 = 16$ états d'information et $2^6 = 64$ états d'information pour la 64QAM. Chaque une de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM.

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM. [13]

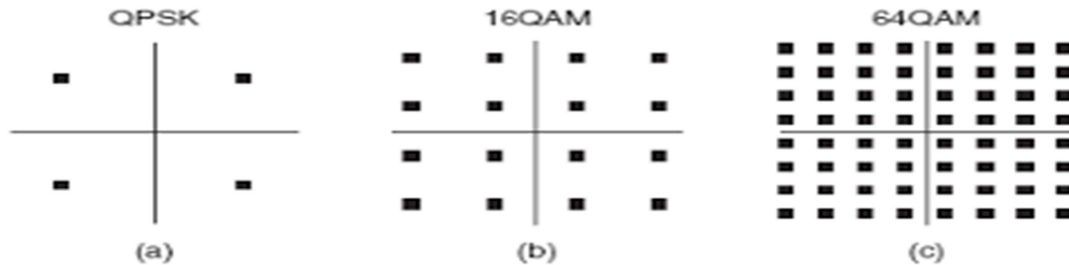


Figure I.23 : Les différentes modulations.

I.4.6. La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) :

Le MIMO permet d'envoyer plusieurs signaux différents sur des antennes différentes à des fréquences proches pour la portée du réseau. Sa particularité passe donc par l'utilisation simultanée de plusieurs antennes, émettrices et réceptrices. Ainsi il permet d'améliorer les performances des appareils, tel que l'amélioration du débit, augmenter l'efficacité spectrale, et diminuer la probabilité de coupure du lien radio, etc.

Cette technologie permet de régler le problème du besoin de la norme LTE-Advanced en termes de capacité de transmission qui limite à utiliser en raison de contrainte technologies exigées.

MIMO permet d'émettre dans un même canal des signaux transmis sur des antennes différentes. A la réception aussi et avec un certain nombre d'antennes et des traitements adéquats, il s'agit de simuler cette réception dans une même bande de N canaux différents.

La technologie MIMO profite de ces différents canaux pour améliorer la rapidité de transmission des données. On peut considérer trois catégories de MIMO :

- La diversité spatiale MIMO.
- Le multiplexage spatiale MIMO.
- Le MIMO-Beamforming (formation de faisceau). [13]

I.4.7. Calcul du débit en Downlink et Uplink :

En LTE pour 20MHz, on a 100PRB, et chaque PRB contient 12 sous-porteuses x 7 symboles (normal CP) soit 84 symboles. Un PRB contient 84 symboles dans un slot de 0.5ms. On parle de mbs/s donc dans 1ms, on a $84 \times 2 = 168$ symboles/1ms.

Donc dans 100PRB on a $168 \times 100 = 16800$ symboles/ms = 16800000 symboles/s = 16.8Msp/s.

Si on utilise une modulation 64 QAM, chaque symbole est codé sur 6 bits, on aura un débit de $16.8\text{Msps} \times 6 = 100.8\text{Mbps}$.

Pour un système LTE avec MIMO 4x4, le débit sera multiplié par 4 soit 403.2Mbps.

Si on utilise une modulation 64 QAM, chaque symbole est codé sur 6bits, on aura un débit de $16.8\text{Msps} \times 6 = 100.8\text{Mbps}$. Pour un système LTE avec MIMO 4x4, le débit sera multiplié par 4 soit 403.2Mbps. [13]

I.4.8. Performances de la LTE :

- ❖ **Débit sur l'interface radio** : amélioration de l'interface radio afin d'augmenter le débit montant/descendant, et la capacité, ainsi que les performances en bordure de cellule. En utilisant l'OFDMA et SC-FDMA ainsi employer de nouvelles technologies tels que MIMO, il est prévu d'obtenir un débit descendant de 100 Mbps, et un débit montant maximal de 50 Mbps sur une bande passante de 20Mhz.
- ❖ **Efficacité spectrale** : (nombre de bit transmis par seconde par hertz) efficacité spectrale meilleure qu'UMTS avec une amélioration de 3 à 4 fois dans la voie descendante et de 2 à 3 fois dans la voie montante et ceci est rendu possible grâce à l'utilisation de l'OFDMA.
- ❖ **Connexion permanente** : principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet.
- ❖ **Délai pour la transmission de donnée.**
- ❖ **Mobilité** : assurer à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.
- ❖ **Interfonctionnement avec la 3G.**
- ❖ **Largeur de bande** : E-UTRAN doit opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.25, 2.5, 10, 15 et 20 Mhz.
- ❖ **Faible latence.** [13]

I.5. Discussion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une généralité sur les différents standards de téléphonie mobile et leurs principales services et caractéristiques, ainsi le développement de chaque standard afin de répondre au besoin des utilisateurs, celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile, pour cela on va étudier le principe de l'accessibilité et de la mobilité dans le chapitre prochain.

II.1. Préambule :

A la mise sous tension d'un mobile, l'abonné cherche à s'enregistrer sur une cellule.

Une fois la liaison à été établie, il commence à faire des mesures radio pour la mise en œuvre du mécanisme de la mobilité que se soit en mode connecté ou en mode veille, afin de rependre aux besoins de l'utilisateur en le basculant vers la meilleure cellule qui peut l'accueillir.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'accès du mobile au réseau, et les performances de la qualité de service des différentes technologies basées sur le processus de mobilité.

II.2. L'accessibilité aux trois technologies :

II.2.1. La synchronisation :

Pour tous les traitements basés sur des mesures de temps et nécessitant une coordination des processus, la synchronisation est alors capitale pour éliminer les erreurs de résultats liées aux dérives des horloges individuelles mises en jeu.

Dans les dispositifs de transmission du signal par exemple, on peut transmettre des paquets d'échantillons à des fréquences beaucoup plus élevées, mais la restitution doit être faite à la bonne cadence pour ne pas distordre le signal. Si des échantillons étaient perdus, ou si leur valeur est corrompue, on peut calculer très rapidement des valeurs de remplacement à condition d'être capable de restituer le signal à la bonne cadence, c'est-à-dire d'avoir le bon rythme.

En téléphonie mobile, les messages sont des suites de symboles binaires dont la durée est égale à la largeur symbole et qui sont souvent multiplexés avec les messages d'autres abonnés. Leur interprétation correcte en réception exige que le récepteur se synchronise sur le début de chaque mot et de chaque symbole

II.2.1.1. La synchronisation en 2G :

- 1) **Le canal SCH (Synchronisation Channel):** fournit au mobile tous les éléments nécessaires à une synchronisation complète avec la station de base.

On peut alors distinguer deux types de synchronisations :

a) Synchronisation fine :

La BTS effectue une estimation du temps de propagation aller-retour à partir du Burst RACH émis par le mobile.

b) Synchronisation logique :

La récupération du SCH permet de calculer le numéro de la trame FN (Frame Number).

2) Le canal BCCH (Broadcast Control Channel) :

Le BCCH permet de diffuser des données caractéristiques et des informations système de la cellule, cette diffusion est plus ou moins rapide suivant la nécessité du mobile.

Ces informations déterminent les règles d'accès à la cellule : paramètres de sélection de cellule, numéro de zone de localisation et les paramètres RACH.

II.2.1.2. La synchronisation en 3G :

La synchronisation en 3G est totalement différente des autres technologies, elle est basée sur un paramètre appelé PSS.

Il est à base de 512 codes de brouillage primaire de liaison descendante. Chaque code de brouillage primaire comporte 15 codes de brouillage secondaires.

Chaque code de brouillage primaire et secondaire a un code de brouillage alternatif gauche et un code de brouillage alternatif droit. Des codes de brouillage secondaires peuvent être utilisés pour la formation de faisceau, tandis que des codes de brouillage alternatifs gauche et droit peuvent être utilisés par le mode compressé SF / 2.

- 1) Le P-SCH est utilisé pour réaliser la synchronisation de l'emplacement.
- 2) Le S-SCH est utilisé pour synchroniser les trames et identifier le groupe de code de brouillage primaire.
- 3) Le CPICH est utilisé pour identifier le code de brouillage primaire.

La première étape est relativement indépendante du plan de code de brouillage, bien qu'il existe un certain potentiel pour améliorer les performances si les codes de brouillage attribués à chaque cellule d'un nœud B proviennent du même groupe de codes de brouillage.

L'étape 2 de la procédure de synchronisation implique la sélection d'un groupe de code de brouillage sur 64, tandis que l'étape 3 implique la sélection d'un code de brouillage sur 8. L'étape 3 est susceptible d'être plus fiable car il y a moins d'alternatives. L'étape 3 est également susceptible de nécessiter un traitement plus important de l'UE et donc d'avoir un impact plus important sur la durée de vie de la batterie UE.

II.2.1.3. La synchronisation en 4G :

La synchronisation en 4G est un peu similaire à la synchronisation en 3G.

Le PCI (Physical Cell ID), c'est un ensemble de 504 identifiants (dérivés de 3 séquences de synchronisation primaires et de 168 séquences secondaires) utilisés pour brouiller certaines transmissions de liaison descendante afin que l'UE puisse distinguer des signaux provenant de différentes cellules.

La séquence de synchronisation primaire (PSS) est constituée de 3 codes de 62 bits, ces codes sont orthogonaux entre eux, le mobile détermine la séquence affectée à la cellule pour obtenir la synchronisation de l'heure principale.

Pour décoder la séquence de synchronisation secondaire(SSS), on utilise la séquence primaire.

Après décodage des deux séquences, on déduit l'identificateur physique de la cellule (PCI) qui est égal à : PSS+ 3SSS.

Ces deux séquences sont répétées deux fois dans la trame 4G, cela est dans la 1^{ère} et la 6^{ème} sous trame.

-Après la synchronisation on passe à la lecture du MIB qui se situe juste après le PSS, il nous renseigne de la bande passante du système et le mode de transmission dans ce processus ainsi le nombre d'antennes utilisé(MIMO), il est répété qu'une seule fois dans la trame.

-On passe maintenant à la lecture du signal référence de la cellule (RS). Ce dernier nous renseigne de la qualité et niveau de signal, on verra les barres d'antenne commencer à apparaître.

-Décodage de l'information contenu dans le canal PDCCH :

C'est le canal physique de contrôle dans le sens descendant qui porte les informations permettant à l'UE de connaître les ressources qui lui sont allouées dans cette sous-trame (position des RB, format MCS) et des informations de contrôle permettant à l'UE de connaître les ressources et le schéma de modulation qu'il utilisera 4 TTI plus tard pour émettre ses données vers l'eNb.

Exemple d'information : le nom de l'opérateur de réseau.

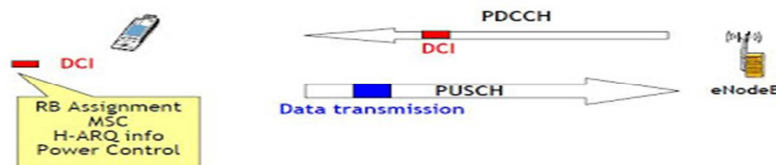


Figure II.1: Schéma général d'un échange d'information de contrôle

L'eNb doit donc transmettre de nombreuses informations vers chaque UE par un message nommé DCI.

Le DCI est transmis soit à un groupe d'UE, soit spécifiquement à un UE afin de lui porter à connaissance l'attribution des ressources pour la transmission de ses données.

Dans ce cas, l'information portée par le PDCCH (et transmis en broadcast) est destiné à un seul UE. Pour savoir si le PDCCH lui est destiné, l'UE doit décoder le CRC avec ses identifiants RNTI.

Maintenant on passe au découplage de SIB pour lire les informations système (sélection de cellule, paramètre RACH....).

Après toutes ces configurations l'UE passe à une opération très importante qui est la sélection de cellule. Ce processus consiste à choisir une cellule offrant une qualité de service acceptable puis à se caler sur cette dernière. L'UE peut trouver plusieurs cellules appropriées, mais elle essaie de se placer sur une seule. Cette dernière prendra en charge tous services demandés par l'UE.

II.2.2. Sélection de cellule :

La sélection se fait suivant deux critères qui sont :

Critère radio : critère d'affaiblissement C1 et critère de re-sélection C2.

Critère administratifs : le mobile doit se raccorder à son PLMN nominal ou à un PLMN autorisé.

Le critère d'affaiblissement C1 :

Assure la bonne qualité de communication entre un MS et une BTS en absence des interférences.

Lors de la sélection de cellule, vérification du critère C1, la MS doit vérifier si la cellule dont la fréquence balise présente le plus fort niveau de champ RXLEV_{dl} est convenable.

Re-sélection de cellule si le critère C1 n'est pas satisfait.

- Calcul du critère C1 :

La MS recueille sur la voie balise (canal de diffusion BCCH) les valeurs des paramètres suivants :

- RXLEV-Access-Min : niveau minimal de réception requis pour accéder à la cellule.
⇒ Niveau nécessaire pour que la MS reçoive correctement la BTS, ce niveau doit être supérieur à la sensibilité de la MS.
- MS_TXPWR_MAX_CCH :

Puissance maximale à laquelle le mobile doit émettre lors de l'accès initial au réseau.

⇒ Puissance nécessaire pour que la BTS reçoive correctement le mobile quelle que soit sa position dans la cellule.

Pour assurer la qualité de la liaison descendante, il faut que le niveau du signal RXLEV reçu par le mobile soit supérieur au minimum exigé :

$$A = \text{RXLEV} - (\text{RXLEV-Access-Min}) (\text{en dbm}) \geq 0 \rightarrow (1)$$

Pour assurer la qualité de la liaison montante, il faut que le mobile puisse fournir la puissance exigée par la BTS :

$$B = \text{MS_TXPWR_MAX_CCH} - P (\text{en dbm}) \leq 0 \rightarrow (2)$$

Avec P la puissance d'émission Max de la MS.

Cette 2^{ème} condition impose un niveau minimal de puissance à la MS. Cependant, si la MS est proche de la BTS, il est possible d'établir une communication de bonne qualité avec une puissance plus faible.

- ✚ Le déficit de puissance peut être compensé par un faible affaiblissement, d'où le recours à un paramètre global $C1$:
$$C1 = A - \text{Max} | (B, 0) | \rightarrow (3)$$
- ✚ Critère d'affaiblissement satisfait si : $C1 \geq 0$

Le critère d'affaiblissement $C2$:

Assure le rattachement constant à la cellule la plus favorable en l'absence d'interférences. Ce critère intervient dans le processus de re-sélection de cellule.

II.2.3. Demande de service :

RACH signifie Random Access Channel. C'est le premier message de l'UE à eNB lorsque vous l'allumez. Même s'ils utilisent un nom un peu différent, dans toute la technologie cellulaire (CDMA, GSM, WCDMA, LTE) il existe un signal spécifique qui remplit la même fonction. En CDMA, ils l'appellent 'Access Probe', en GSM ils l'appellent 'Channel Request', et en WCDMA / LTE ils l'appellent 'RACH'.

RACH est le premier canal de signalisation à travers lequel le réseau est informé qu'un utilisateur mobile veut être connecté en mode **ALOHA** pour accéder au réseau lorsqu'il veut s'enregistrer dans une cellule ou passer un appel. Le protocole d'accès dit ALOHA consiste à émettre un appel sur le canal d'accès sans précaution particulière. Si un autre mobile utilise le même canal au même moment, il y a risque de collision et de perte des messages émis. C'est un point faible du GSM.

- En 2G le PRACH: Il s'agit d'un canal de liaison montante qui permet au mobile d'initier une suite de données dans la liaison montante. Il y a deux types de séquences de PRACH, l'un est une séquence standard de 8 bits, et un second utilisant 11 bits a ajouté des données pour permettre le réglage de la priorité. Les deux types de séquences permettent le réglage d'avance de synchronisation.
- En 3G le PRACH est composé de deux parties différentes: la partie préambule et la partie message qui porte le message RACH. Le préambule est un identificateur composé de 256 répétitions d'une signature longue de 16 jetons (total de 4 096 jetons). Il y a 16 signatures possibles, l'UE sélectionne aléatoirement l'un des 16 préambules possibles et le transmet à puissance croissante jusqu'à ce qu'il reçoive une réponse du réseau.

Ce préambule est brouillé avant d'être envoyé. C'est un signe que le niveau de puissance est suffisamment élevé et que l'UE est autorisé à transmettre, ce qu'il fera après l'accusé de réception du réseau. Si l'équipement d'utilisateur n'obtient pas de réponse du réseau, il doit sélectionner une nouvelle signature à transmettre.

- En 4G le PRACH est utilisé pour transporter les préambules d'accès aléatoires utilisés pour la procédure d'accès.

Les préambules sont générés à partir des séquences de l'algorithme Zadoff-Chu. Les 64 préambules ne sont pas implicitement communiqués aux UE par l'eNodeB, c'est plutôt l'UE qui est informée du processus et de la façon de génération via des paramètres diffusés dans le message SIB2.

UE sélectionne un des 64 préambules RACH disponibles

Maintenant UE doit aussi donner sa propre identité au réseau afin que le réseau puisse l'adresser dans prochain pas.

L'identité que l'UE utilisera est appelée RA-RNTI. Fondamentalement il est déterminé du nombre de la fente du temps dans lequel le préambule est envoyé.

Le RACH est envoyé avec une puissance minimale, si l'UE ne reçoit pas toute réponse du réseau, il augmente la puissance avec pas fixe et renvoie RACH.

II.3.Gestion de mobilité :

La mobilité d'un utilisateur dans un réseau cellulaire correspond à un changement du canal radio utilisé par son terminal mobile. Afin de maintenir la connexion d'un mobile lors de sa mobilité, le réseau mobile met en œuvre des mécanismes basculant l'UE vers la meilleure cellule qui peut l'accueillir. Ces mécanismes reposent généralement sur des mesures radio effectuées par l'UE sur la cellule serveuse et des cellules voisines. Le réseau choisit alors, essentiellement en fonction de ces mesures, la cellule cible et la façon de faire basculer l'UE vers cette cellule.

Trois types de mécanismes peuvent être distingués pour la mobilité :

En mode veille :

- La re-sélection.

En mode connecté :

- Le handover.
- La redirection.

II.3.1. Processus de mobilité :

Le processus de la mobilité entraîne le mécanisme de sélection de cellules celui-ci permet à une station de base de laisser un UE de choisir une cellule du réseau pour enregistrer les informations diffusée par le réseau, le mobile doit être prêt à se connecter au réseau dans le cas où une communication doit être établie. Signaler ses déplacements au réseau. Le mobile en veille doit écouter en permanence des stations de base de voisinage, dans le cas où plusieurs réseaux peuvent être sélectionnés des opérateurs concurrents dans la même zone, le mobile peut choisir le meilleur.

Dans une zone de localisation constituée de quelques cellules, à l'initialisation du mobile l'enregistrement de la zone commence, le réseau suit le mobile au cours de son itinérance par des messages de recherche (paging), le mobile effectue ces mises à jour de localisation à chaque changement de cellule à l'aide de l'identifiant d'une cellule s'il y a aucune communication. Si aucun appel n'a été effectué pendant une période déterminée, le mobile déclenche une mise à jour de localisation pour signaler qu'il est toujours présent en état de veille.

Les informations de localisation telle que le numéro identifiant, le type de service sont stockées dans les bases de données. On distingue deux types de base de données intervenant aux processus de la mobilité :

- ❖ La base de données nominale (HLR) : elle consiste à enregistrer toutes les informations d'un abonné.
- ❖ La base de données visiteurs (VLR) : stockent les informations concernant tous les mobiles dans les zones de localisation.

Les échantillons de base de données sont organisés par signalisation.

Enfin, la gestion de la mobilité consiste à concevoir un processus de handover ou localisation ou association lié à plusieurs parties d'un réseau : détection de la qualité de service, sélection de cellule, signalisation et gestion de la base de données.

II.3.2. La mobilité en mode veille (re-sélection de cellule):

Qui repose sur les mêmes principes que ceux utilisés en mode veille, est employée par exemple en GPRS et en UMTS dans des états transitoires ou dormants. L'UE envoie ou reçoit peu de données (faible activité) et les périodes d'inactivité lui permettent alors de réaliser des mesures sur des cellules voisines. Lors d'une re-sélection, le réseau n'effectue aucune préparation sur la cellule cible ce dernier va décider de changer de BTS pour assurer la continuité de service.

II.3.2.1. Procédure de re-sélection dans le GSM et le GPRS :

La reselection de cellule s'effectue dans le réseau GSM, une fois la MS sélectionne une cellule, elle écoute régulièrement la voie balise et surveille constamment son environnement pour détecter une éventuelle sortie de la cellule, alors la MS déclenche, s'il est nécessaire, la procédure de ré-sélection de cellule. La MS calcule la moyenne d'au moins cinq échantillons de niveau du signal reçu de chacune de six cellules voisines plus la cellule serveuse. La station mobile écoute la voie balise et lit les informations diffusées en BCCH concernant la cellule serveuse et les voisinages. Elle décode aussi le paramètre BSIC (Base Station Identity Code) de chacune des cellules voisines pour voir si elle contrôle les mêmes cellules précédentes. Le paramètre BSIC est composé d'un code couleur du réseau (NCC) et du code couleur de la base station (BCC). Si elle détecte un différent NCC (numéro du PLMN), elle ignore les informations portées. [5]

Critère de ré-sélection de cellule GSM :

Pour distribuer le trafic entre les cellules, l'opérateur peut ramener les MS à changer la cellule donc, il joue sur les paramètres de ré-sélection de cellule (CELL_RESELECT_OFFSET,

TEMPORARY_OFFSET, PENALTY_TIME) diffusés dans le BCCH. La MS doit lire les paramètres de la cellule désirée avant de raccrocher à cette cellule. Le processus de ré-sélection de cellule utilise la quantité de ré-sélection de cellule C2 (GSM Phase1 utilise la quantité C1 pour le processus de ré-sélection de cellule) donc, la MS raccroche à la cellule qui a la plus grande valeur de la quantité C2. La valeur de la quantité C2 est calculée comme suivant :

$$C2 = C1 + \text{CELL_RESELECT_OFFSET} - \text{TEMPORARY_OFFSET} \times H(\text{PENALTY_TIME} - T)$$

pour $\text{PENALTY_TIME} \neq 31 \rightarrow (4)$

$$C2 = C1 - \text{CELL_RESELECT_OFFSET} \quad \text{pour } \text{PENALTY_TIME} = 31 \rightarrow (5)$$

Avec :

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0 \\ 1 & \text{pour } x \geq 0 \end{cases}$$

- **T** est un Timer initialisé à 0, lorsqu'une cellule est raccordée par la MS à la liste de six cellules adjacentes de niveau du signal le plus haut. Le Timer commence à compter par unité de trame TDMA (4.62 ms) jusqu'à la cellule soit supprimée de la liste, donc le Timer va être remis à 0 pour cette cellule.
- **CELL_RESELECT_OFFSET (CRO)** est utilisé pour corriger le paramètre C2 de sélection de la cellule. Ce paramètre est un nombre décimal, en Db, variant de 0 à 63 (0 à 126 Db), il est par défaut égal à 0.
- **TEMPORARY_OFFSET (TO)** donne le C2 une correction négative durant la période écoulée par le Timer (T) entre la valeur initiale et la valeur spécifiée du PENALTY_TIME. Ce paramètre est un nombre décimal, en Db, variant de 0 à 7 (0 à 70 Db), il est par défaut égal à 0.
- **PENALTY_TIME (PT)** est le temps lorsque le TO affecte le paramètre C2. Ce paramètre est un nombre décimal, en seconde, varie de 0 à 31 (20 à 620 secondes), il est par défaut à 0. La valeur 31 est réservée pour changer la direction de l'effet que CRO affecte C2.

Les paramètres de ré-sélection de cellule CRO, TO et PT. Lorsque l'indicateur des paramètres de sélection de cellule (PI), qui consiste d'un seul bit, est à 1, ces paramètres sont diffusés dans la cellule. Si le PI est à 0, la MS suppose qu'ils soient à 0 ($C2 = C1$), alors elle utilise C1 pour ré-sélectionner une cellule.

La resélection de cellule peut être contrôlée de manière autonome par le mobile ou par le réseau dans le mobile GPRS. Il est basé sur des mesures effectuées par le mobile.

Trois modes de resélection de cellule NC0, NC1 et NC2 ont été définis:

- **NC0.** Dans ce mode, le mobile GPRS effectue une re-sélection de cellule autonome sans envoyer de rapports de mesure au réseau.
- **NC1.** Dans ce mode, le mobile GPRS effectue une re-sélection de cellule autonome et envoie périodiquement des rapports de mesure au réseau.
- **NC2.** Dans ce mode, le réseau contrôle la re-sélection des cellules. Le mobile envoie des rapports de mesure au réseau.

Lorsque le mobile effectue une re-sélection de cellule autonome, il choisit une nouvelle cellule et déclenche une nouvelle sélection de cellule. Le mode NC2 permet au réseau de contrôler la mobilité des utilisateurs GPRS au sein du réseau.

Le mode de re-sélection de cellule GPRS pour une MS connectée au GPRS est donné par le mode de contrôle de réseau (paramètre NETWORK_CONTROL_ORDER), qui est diffusé sur le BCCH ou le PBCCH. Le comportement du mobile est déterminé à la fois par son état GMM et par le mode de contrôle du réseau. Quelle que soit la valeur du mode de contrôle du réseau, lorsque le MS est en état GMM STANDBY, il effectue une nouvelle re-sélection de cellule autonome et n'envoie pas de rapports de mesure au réseau. En état GMM READY, le mobile effectue une nouvelle sélection de cellule en fonction du mode de contrôle du réseau.

Deux critères sont définis pour la re-sélection de cellule autonome: l'un est basé sur les critères (C1, C2). Il correspond aux critères de re-sélection de cellule GSM. L'autre, basé sur les critères (C'1, C31, C32), a été introduit pour le GPRS. Tous ces critères sont basés sur des mesures de niveau de signal reçu (RXLEV) dans la cellule de desserte et dans les cellules voisines.

Dans une cellule où PBCCH n'existe pas (les paramètres de re-sélection de cellule GPRS ne sont pas diffusés), la MS effectue une re-sélection de cellule sur la base des critères (C1,C2) sauf si les paramètres de re-sélection de cellule sont envoyés explicitement au mobile dans un message de contrôle, auquel cas le mobile effectue une re-sélection de cellule autonome sur la base de critères (C'1, C31, C32). Dans une cellule où PBCCH existe, la MS effectue une re-sélection de cellule sur la base des critères (C'1, C31, C32). Ce tableau résume le mode de re-sélection et critères de re-sélection des cellules.

NETWORK_CONTROL_ORDER Valeur	ETAT GMM de la MS	Mode de resélection des cellules	Critères si PBCCH existe	Critères si PBCCH n'existe pas
NC0	Veille / Prêt	Reselection de cellule autonome	C'1, C31, C32	C1, C2
NC1	Etre prêt	Reselection de cellule autonome	C'1, C31, C32	C1, C2
	Prêt	Nouvelle sélection de cellule autonome avec des rapports de mesure	C'1, C31, C32	C1, C2
NC2	Etre prêt	Reselection de cellule autonome	C'1, C31, C32	C1, C2
	prêt	Nouvelle resélection de cellule contrôlée par reseau avec des rapports de mesure	-	-

Tableau II.1: Mode de re-sélection et critères de re-sélection des cellules.

II.3.2.2. Procédure de re-sélection dans l'UMTS :

Les procédures de re-sélection sont activées dans les états de veille et les états connectés CELL_FACH, CELL_PCH et URA_PCH. La re-sélection peut s'effectuer vers une cellule utilisant la même fréquence que la cellule source : il s'agit alors d'une re-sélection inter-fréquence.

Le terminal utilise deux critères pour déterminer si une re-sélection est nécessaire. Le premier est le critère **S** (*Srxlevel* et *Squal*) intervenant également dans la procédure de sélection de cellule. Il indique si la cellule cible apporte une qualité de réception radio suffisante. Le deuxième critère est appelé **R** (pour *ranking*). Il sert à classer les cellules par ordre de préférence. La cellule retenue pour la re-sélection sera celle qui vérifie : ***Srxlevel* > 0, *Squal* > 0** et qui a le critère R le plus élevé pendant une certaine période de temps **T re-sélection**.

Le critère R est calculé différemment pour la cellule courante (il est alors noté *Rs*) et pour les cellules voisines (il est noté *Rn*). Pour la cellule courante :

$$R_s = Q_{meas,s} + Q_{Hyst,s} \rightarrow (1)$$

Pour les cellules voisines:

$$R_n = Q_{meas,n} - Q_{offset\ s,n} - T_{On} * (1 - L_n) \rightarrow (2)$$

Où

$$T_{On} = TEMP_OFFSET_n * W (PENALTY_TIME - T_n)$$

ET $w(x) = 1$ pour $x > 0$.

0 pour $x \leq 0$.

Qmeas,s: est la qualité du signal reçu mesurée sur la voie descendante de celle courante. Peut, suivant les cas, être le CPICH Ec/No ou le CPICH RSCP. Si la mesure de la qualité retenue est le CPICH RSCP, la norme introduit une hystérésis particulière appelé *QHyst,s*. ce dernier sera appliquée si le CPICH Ec/No est utilisé comme critère de qualité.

QHyst,s: est un terme qui peut être interprété comme étant un niveau de priorité associé à la cellule courante.

Qmeas,n: est la qualité du signal reçu mesurée sur la voie descendante dans différentes cellules voisines.

Qoffset s,n: est un décalage en décibels appliqué aux cellules voisines.

Ln : fonction logarithmique.

La cellule choisie est celle qui admet le critère R le plus élevé pendant une durée minimale de **T** re-sélection secondes, à condition que le terminal ait déjà campé sur la cellule courante pendant au moins d'une seconde. Le paramètre **T** re-sélection est transmis dans les informations systèmes SIB de type 3 ou SIB de type 4.

Une re-sélection inter-fréquence peut être déclenchée si la qualité de la cellule courante est trop mauvaise.

II.3.2.3.Procédure de re-sélection dans le LTE :

Lorsque les règles de mesure sont satisfaites, un UE mesure une fréquence porteuse cible et vérifie si le seuil de re-sélection est rempli. Si oui, l'UE re-sélectionne la cellule correspondante à la fréquence porteuse. Après cela, l'UE lit les informations système diffusées par la cellule pour déterminer si elle peut être placée sur la cellule en fonction du critère.

Critères de ré-sélection des cellules inter-fréquences intra-fréquence et priorité égale - critère de classement des cellules R_s et R_n :

$$\begin{array}{l} R_s = Q_{meas,s} + Q_{Hyst} \Rightarrow (3) \\ R_n = Q_{meas,n} - Q_{offset} \Rightarrow (4) \end{array}$$

R_s : Critère de classement des cellules pour la cellule de desserte.
 R_n : Critère de classement des cellules pour les cellules voisines.
 Q_{meas} : Valeur de RSRP mesurée dans les re-sélections de cellules.
 Q_{hyst} : Hystérésis appliquée à une cellule dans la re-sélection de cellule. Il est configuré dans le NMS et diffusé dans SIB3. Ce paramètre est mis à l'échelle pour l'état de mobilité élevée.
 Q_{offset} : Décalage des niveaux de qualité de deux cellules adjacentes dans la re-sélection de cellules.

Pour intra-fréquence: Égale à $Q_{offsets,n}$ s'il est valide; autrement cela égale à zéro.

- Pour inter-fréquence: Égale à $Q_{offsets,n}$ plus $Q_{offset-frequency}$ si $Q_{offsets,n}$ est valide; autrement cela égale $Q_{offset-frequency}$.
- Les critères de re-sélection de cellules inter-fréquences ou inter-RAT de priorité différente :
 La re-sélection de cellule à une cellule inter-fréquence / inter-RAT ayant une priorité supérieure à la fréquence de la cellule desserte doit être effectuée si:
 pendant un intervalle de temps spécifié par **T reselection RAT : S non Serving Cell**, $x > ThreshX, HighP$
 La re-sélection de cellule dans une cellule inter-fréquence / inter-RAT de

priorité inférieure à la fréquence de desserte doit être effectuée si: pendant un intervalle de temps spécifié par T reselection RAT :

Pour la cellule de desserte: **S serving Cell < Thresh Serving, LowP**

ET :

Pour la cellule cible: **S non serving cell,x > ThreshX, LowP**

- **T re-sélection RAT** : Minuteur de resélection de cellule. Celui-ci peut être configuré en fonction de différentes fréquences ou RAT (Radio Access Technologie) dans le NMS, et est diffusé dans les informations système (dans SIB6 pour UMTS et SIB7 pour GSM).
- **Thresh X, HighP Threshold (en dB)** : utilisé par l'équipement d'utilisateur lors de la resélection vers une fréquence / fréquence RAT supérieure à la fréquence de service actuelle. Cela peut être configuré dans le NMS et diffusé dans les informations système (dans SIB6 pour UMTS et SIB7 pour GSM).
- **Thresh X, LowP Threshold (en dB)** : utilisé par l'UE lors de la resélection vers une fréquence / RAT de priorité inférieure à la fréquence de service actuelle. Cela peut être configuré dans le NMS et diffusé dans les informations système (dans SIB6 pour UMTS et SIB7 pour GSM).
- **Thresh Serving, LowP Threshold (en dB)** : utilisé par l'UE sur la cellule de desserte lors de la resélection vers une fréquence / RAT de priorité inférieure. Cela peut être configuré dans le NMS et diffusé dans les informations système (dans SIB6 pour UMTS et SIB7 pour GSM).
- **SnonServingCell, x** : Valeur utilisée pour évaluer une cellule GERAN, UTRAN ou E-UTRAN.

II.3.3. La mobilité en mode connecté:

II.3.3.1. Le handover :

Le handover ou transfert automatique d'une zone à l'autre est une fonction permettant d'assurer la continuité de communication entre le terminal mobile et le réseau. Avoir le besoin de le quitter pour aller se connecter à une autre cellule, soit du même réseau, soit d'un nouveau réseau. Il joue un rôle particulièrement important dans la qualité de service (Qos) offerte à l'abonné. Parmi les causes qui sont à l'origine d'un besoin de Handover nous pouvons citer :

- **Rescue Handover** : la station mobile quitte la zone couverte par une cellule pour une autre. C'est la qualité de transmission qui détermine la nécessité du handover, qualité

mesurée par le taux d'erreur, l'intensité du signal reçu, le niveau d'interférences et le délai de propagation.

- **Confinement handover** : la station mobile subirait moins d'interférences si elle changeait de cellule (les interférences sont dues en partie aux autres stations mobiles actives dans la cellule). La station mobile écoute en permanence d'autres antennes pour mesurer la qualité d'une connexion à ces dernières. De plus, chaque station mobile est synchronisée avec plusieurs BTS (2G) ou Node B (3G) pour être prête en cas de handover.
- **Traffic Handover** : le nombre de stations mobiles est trop important pour la cellule, et des cellules voisines peuvent accueillir de nouvelles stations mobiles. Cette décision nécessite de connaître la charge des autres BTS

Le protocole radio ménage au mobile en communication des instants où il peut effectuer des mesures sur son canal radio et détecter un affaiblissement du signal ou la dégradation de la qualité de la communication. Il recherche alors une autre solution qui peut être un handover intercellulaire ou un handover intracellulaire.

❖ **Le handover intracellulaire:**

Il est mis en œuvre quand le niveau du signal est suffisant mais que la qualité est médiocre. Ceci peut être dû à des interférences sur le canal radio utilisé. Il suffit, sans changer de cellule, de simplement changer de fréquence/code.

❖ **Le handover intercellulaire:**

Il est mis en œuvre quand le niveau du signal devient insuffisant. La communication doit alors être basculée sur la BTS d'une cellule voisine.

Un handover intercellulaire peut aussi être déclenché par le réseau pour délester une BTS trop chargée. Le handover revient à préparer l'accueil du mobile (réservation du canal logique, entre autres). Il ne reste ensuite qu'à « passer la main » pour basculer la communication dans un temps très court, inaudible par l'utilisateur.

La procédure du handover se déroule en trois phases principales suivantes :

- **Phase de mesure:** La phase de réalisation des mesures et de supervision sur la cellule serveuse et sur les cellules voisines.
- **Phase de décision** : La phase de détermination de la cellule cible, qui met en jeu des échanges entre les contrôleurs de stations de base source et destination, ainsi qu'entre ces contrôleurs et le réseau cœur, ainsi le déclenchement du handover.
- **La phase d'exécution**, c'est-à-dire la bascule de l'UE et des flux de données, puis la relâche des ressources dans la cellule d'origine. Du handover (transfert effectif des liens) soit par Hard handover ou Soft handover.

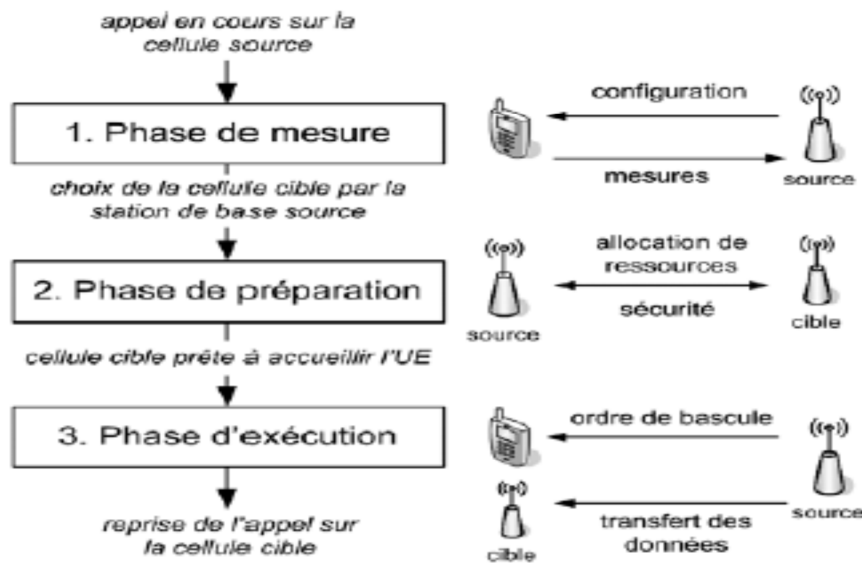


Figure II.2 : montre les trois phases du handover, les nœuds impliqués et les principales actions réalisées.

Ainsi, le handover doit assurer que la période de mesure doit être inférieure à la durée de traversée d'une cellule même pour la cellule de petite taille, les mesures de lien doivent être fiables, la durée de traitement pour la décision doit être courte pour que la décision n'intervienne pas trop tard, le transfert effectif des physiques doit être réalisé le plus rapidement possible afin de minimiser d'une part la perte du lien radio et d'autre part les dégradation de qualité qu'entraîne le changement de lien.

I. Le handover intra-système :

❖ Handover dans le réseau GSM:

La procédure de Handover dans un réseau GSM est appelée Mobile Assisted Handover (MAHO). Elle est de type Hard Handover car le nœud mobile coupe la connexion avec sa station de base actuelle (Make-Before-station BTS avant de se connecter à la prochaine station BTS). Il existe quatre types de transfert intercellulaire (handover) en GSM :

❖ **Handover Intra-Cellulaire:** Dans une même cellule, une interférence peut rendre impossible la transmission à une certaine fréquence. Le BSC peut alors décider de libérer le canal radio courant et en établir un nouveau.

- 1) **Handover Intra-BSC:** Il s'agit d'un scénario de handover typique. La station mobile se déplace d'une cellule à l'autre mais reste sous le contrôle du même BSC. Le BSC affecte un nouveau canal radio dans la nouvelle cellule et libère l'ancien. Dans le cas d'un handover qui est interne à un BSS, le contrôle est donc assuré entièrement par le BSC, qui utilise les mesures effectuées par la station mobile et qui lui sont rapportées. Le MSC est juste informé du résultat de l'opération.
- 2) **Handover Intra-MSC :** Un BSC ayant la capacité de contrôler un nombre limité de cellules (généralement quelques dizaines), le réseau GSM doit permettre le handover entre cellules contrôlées par des BSCs différents.

- 3) **Handover Inter-MSC** : Un handover peut être nécessaire entre deux cellules appartenant à différents MSCs. Les deux MSCs réalisent alors le handover. Les deux types de handover (Intra MSC et Inter-MSC) sont contrôlés par le MSC. Les mesures radio effectuées par la station mobile sont reportées au BSC, prétraitées par celui-ci et transmises au MSC. Ayant reçu du BSC l'indication qu'un handover externe est nécessaire, le MSC décide du moment et de la destination de ce handover.

❖ Handover dans le réseau UMTS :

Comme indiqué dans le chapitre précédent, L'UMTS supporte deux catégories de handovers : soft handover et hard handover.

Un soft handover survient entre deux cellules ou deux secteurs qui sont supportés par différents Node B. L'UE transmet ses données vers différents NodeB simultanément et reçoit des données de ces différents NodeB simultanément. Dans le sens descendant, les données utilisateur délivrées à l'UE sont émises par chaque Node B simultanément et sont combinées dans l'UE. Dans le sens montant, les données utilisateur émises par l'UE sont transmises à chaque Node B qui les achemine au RNC où les données sont combinées.

Un hard handover survient dans différentes situations, telles que entre cellules utilisant des fréquences différentes (handover inter-fréquences) ou entre cellules rattachées à des RNCs différents sans que ceux-ci disposent d'une interface Iur entre eux ou lors d'un handover FDD/TDD puisque l'UE ne peut utiliser qu'une technologie d'accès à un instant donné. Le hard handover est aussi réalisé dans le cas d'un handover entre une cellule UMTS et une cellule GSM/GPRS (handover inter-système).

Dans tous les cas, la décision de handover est prise par le Serving RNC, sur la base des mesures radio qui lui sont rapportées par l'UE. Comme pour le GSM, il existe différents types de handover en UMTS.

- **Handover inter-cellulaire, intra-Node B** : La session radio est transférée d'une cellule à une autre, les deux étant sous la responsabilité du même Node B. Dans le cas, d'un Node B fonctionnant en dual mode, le handover intra Node B inclut le changement de mode (TDD↔FDD). Ce type de handover peut être un soft ou hard handover.
- **Handover inter-Node B, intra-RNC** : Ce type concerne un changement de Node B. Ce type de handover peut être soft ou hard. Handover inter-Node B, inter-RNC avec interface Iur : Il s'agit d'un changement de cellules sous le contrôle de différents RNC. Ce scénario nécessite deux procédures, celle de handover et celle de "SRNS Relocation". Ce type de handover peut être soft ou hard.

- **Handover inter-Node B, inter-RNC sans interface Iur** : Il ne peut être réalisé qu'à travers un hard handover.
- **Handover Inter-CN** : Il s'agit d'un changement de cellules appartenant à des réseaux de base différents (exemple: inter-PLMN handover). Il ne peut être réalisé qu'à travers un hard handover.

❖ **Handover dans le réseau LTE :**

On définit deux processus de mobilité dans le réseau 4G qui sont : la redirection et le handover.

Le réseau 4G LTE est plus simple qu'un réseau UMTS la voix (VoLTE) et données utilisent les mêmes chemins (IP) et il n'y a plus de RNC (ses fonctions sont intégrées au eNode B). Un user equipment (généralement un smartphone) a déjà des ressources radio dans une cellule radio (gérée par un eNode B) ; lorsqu'il se déplace et que le signal reçu s'affaiblit, il migre vers une nouvelle cellule ; la décision est prise par l'eNode B. Il n'existe plus que deux types principaux de handover :

- **Handover intra-eNode B :**

De nouvelles ressources radio (resource blocks) sont attribuées au terminal mobile dans une autre cellule radio (une autre bande de fréquence) ou un autre « secteur » gérés par le même eNode B.

- **Handover inter-eNode B :**

De nouvelles ressources radio (resource blocks) sont attribuées au terminal dans une cellule gérée par un autre eNode B. le dialogue entre les 2 eNode B se fait par les liens X2 du réseau EUTRAN de l'opérateur mobile.

Comme les autres technologies c'est trois phases décrivent la procédure du handover:

- les mesures ;
- la préparation du handover.
- l'exécution du handover.

La phase de mesures :

En mode connecté, il faut considérer deux contraintes :

- Les informations dont l'UE a besoin pour détecter une cellule voisine. Ici, les capacités de l'UE sont identiques au mode veille : l'indication de la fréquence porteuse lui suffit pour détecter les cellules présentes sur cette fréquence dans le voisinage de la cellule serveuse.
- Le besoin ou non d'intervalles de mesures aménagés spécifiquement par l'eNodeB pour l'UE dans la trame radio.

Lors de la configuration d'une mesure, l'eNodeB associe un objet, c'est-à-dire l'élément sur lequel porte la mesure, à une configuration de remontée, c'est-à-dire la façon dont la mesure doit être remontée à l'eNodeB. L'objet de mesure peut être la fréquence LTE courante ou une autre fréquence LTE. L'UE mesure pour chaque cellule détectée le niveau de signal qu'il reçoit de la cellule. Cette mesure s'effectue à l'aide des signaux de référence communs à la cellule CRS et est appelée RSRP (*Reference Signal Received Power*).

La phase de préparation :

La préparation peut être réalisée entre les deux eNodeB via l'interface X2 si elle existe, ou par défaut défaut, par l'intermédiaire du MME via l'interface S1. Dans les deux cas, la procédure sur l'interface radio est identique. L'utilisation de l'interface S1 pour le handover est nécessaire lorsque l'opérateur ne peut mettre en oeuvre d'interface X2 entre certains eNodeB. Cependant, les délais de préparation et de transfert des données peuvent être plus longs puisque les messages transitent par le MME et traversent ainsi deux interfaces S1 (entre eNodeB source et MME, puis entre MME et eNodeB cible). Si la cellule cible appartient au même eNodeB, celui-ci n'engage aucune procédure de préparation.

La figure suivante représente la cinématique des flux de signalisation dans le cas d'une procédure de handover via l'interface X2.

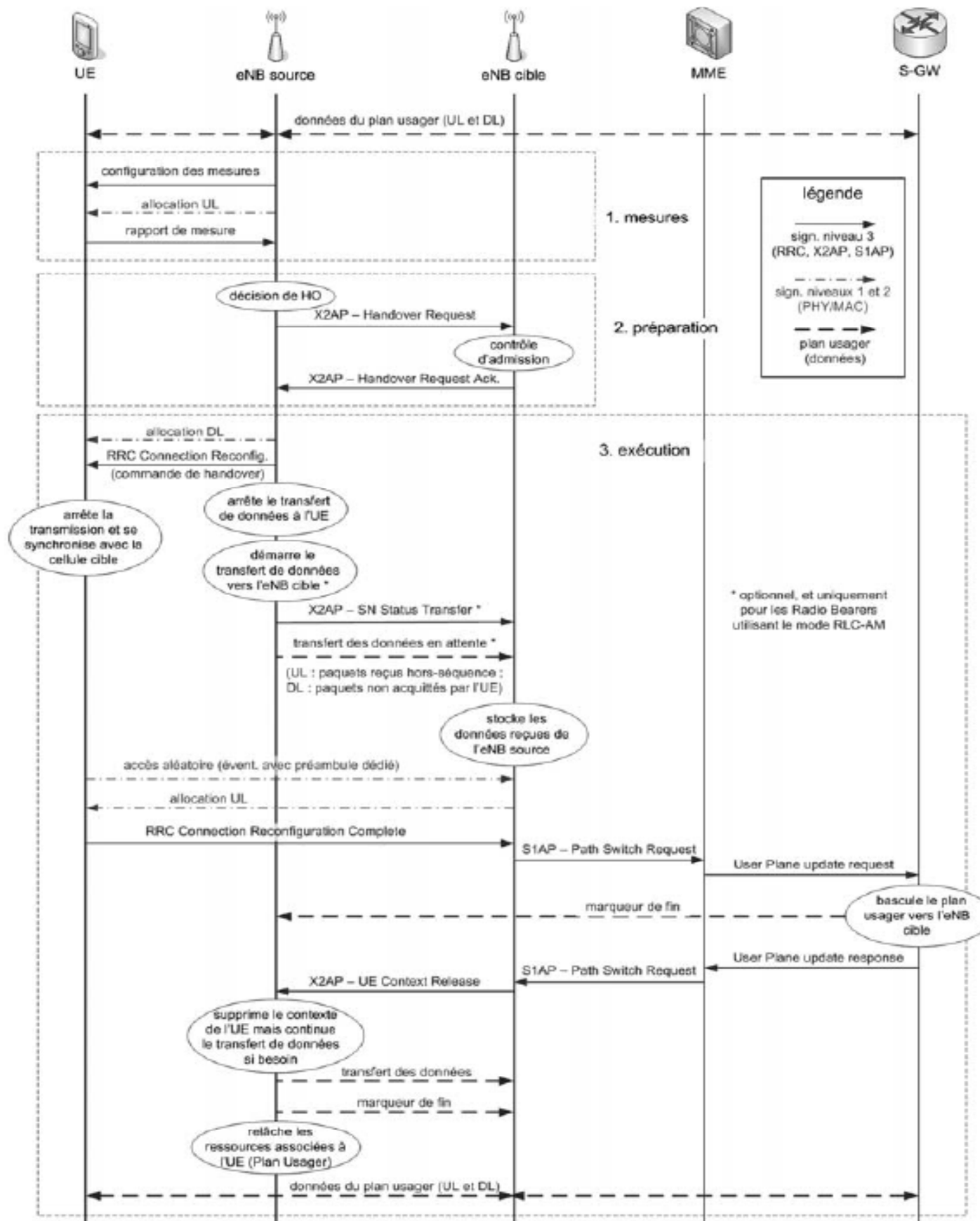


Figure II.3 : Diagramme de flux du handover LTE via l'interface X2

Lors de la préparation, l'eNodeB source fournit, entre autres, les informations suivantes à l'eNodeB cible :

- l'identifiant global de la cellule cible EGCI, permettant d'identifier la cellule cible sans ambiguïté ;
- la cause du handover (par exemple les conditions radio, la réduction de la charge, l'optimisation des ressources) ;
- les paramètres de sécurité.
- la liste et la description des E-RAB à configurer.
- le contexte RRC de l'UE, qui décrit notamment la configuration radio de la connexion RRC sur la cellule source, les paramètres du cycle DRX si utilisé.
- des informations sur l'historique de mobilité de l'UE, informant l'eNodeB cible de la liste des 16 dernières cellules visitées par l'UE, et, par exemple, de déplacements récurrents entre des cellules (« ping-pong »). L'eNodeB cible, à la réception du message X2AP (**Handover Request**), effectue le contrôle d'admission : il vérifie qu'il dispose des ressources radio et système pour accueillir l'UE et, en particulier, des E-RAB actifs sur la cellule source. S'il est capable d'établir au moins l'un de ces E-RAB, l'eNodeB doit répondre positivement à l'eNodeB source en lui indiquant le ou les E-RAB qui peuvent être maintenu(s). Il inclut dans sa réponse le message RRC destiné à l'UE et qui sera envoyé par l'eNodeB source lors de la commande du handover. Ce message contient la configuration que l'UE devra appliquer lors de son accès à la cellule cible, notamment les radios bearers associés aux E-RAB qui sont maintenus. L'eNodeB cible retourne également à l'eNodeB source, pour chaque ERAB, le point de terminaison du tunnel GTP entre les deux eNodeB, si un transfert de l'eNodeB source à l'eNodeB cible des données descendantes (reçues par l'eNodeB source de la S-GW) a été demandé par l'eNodeB source dans le message Handover Request.

La phase d'exécution :

Après la réception du message de réponse au Handover Request, l'eNodeB source déclenche le handover par l'envoi à l'UE du message RRC (Connection Reconfiguration), qui lui indique notamment :

- la cellule cible (sa fréquence, si différente, et son PCI) ;
- son identifiant C-RNTI dans cette cellule ;
- des paramètres de sécurité (par exemple l'algorithme, s'il doit changer) lui permettant de dériver les nouvelles clés de chiffrement et d'intégrité RRC.

Lorsqu'il reçoit ce message, l'UE doit immédiatement tenter de basculer sur la cellule cible, même s'il n'a pu acquitter la réception du message RRC (acquittements HARQ ou ARQ/RLC). Il réinitialise sa couche MAC et procède au rétablissement de ses couches RLC et PDCP. La couche RRC configure alors les couches PHY, MAC, RLC et PDCP suivant les paramètres fournis par l'eNodeB cible et transmis par l'eNodeB source dans le message RRC (Connection Reconfiguration).

L'UE dérive ensuite une clé K_{clé} qui lui sert pour la sécurité.

L'UE procède alors à l'accès aléatoire sur le canal RACH de la cellule cible et, en cas de succès, transmet à l'eNodeB le message *RRC Connection Reconfiguration Complete*, qui termine la procédure de signalisation. L'accès au canal RACH peut être réalisé avec un préambule dédié, si la cellule cible l'a fourni à la cellule source lors de la phase de

préparation. Ce mode présente l'avantage d'écartier un risque de collision avec des préambules d'autres UE, ce qui augmente donc les chances de succès de la procédure et tend à réduire son délai global.

Enfin, l'UE arrête les remontées périodiques de mesures activées sur la cellule source et supprime la configuration des intervalles de mesures utilisés pour les mesures interférences ou intersystèmes.

Cependant, dans le cas d'un handover interférence, l'UE conserve les événements préalablement configurés sur la cellule source, en intervertissant simplement les fréquences source et cible dans la configuration de mesure.

II. Le handover inter-système :

1. Le handover de l'UMTS à GSM:

Si le téléphone mobile quitte une cellule sans en trouver une autre dans le même système, la station de base peut transférer un téléphone mobile équipé en conséquence à l'une des cellules d'un autre système. **Le handover inter-système** est très complexe puisqu'il implique la combinaison de deux systèmes de technologies complètement différentes. Le transfert de UMTS à GSM offre en principe les deux possibilités suivantes :

- ❖ **Blind handover** : la station de base transfère simplement le téléphone mobile dans la nouvelle cellule avec tous les paramètres nécessaires. Le téléphone passe en «aveugle» dans la cellule GSM, ce qui signifie qu'il n'a pas encore d'informations sur le timing correspondant. Il commence par consulter le canal BCCH transmis et essaie d'atteindre la synchronisation fréquentielle et temporelle en moins de 800 ms. Il passe ensuite sur le canal téléphonique physique transmis puis effectue le même processus qu'avec un handover intercellulaire non synchronisé.
- ❖ **compressed mode** : qui implique des pauses d'émission et de réception dans le cadre de la transmission entre la station de base et le téléphone mobile. Ces pauses permettent au téléphone de mesurer et d'analyser les cellules voisines. La station de base met à disposition une liste des cellules voisines, comme dans le système GSM, tandis que le téléphone mobile lui transmet les résultats de mesure. Le handover en mode compressé fonctionne en principe exactement comme le blind handover.

Il existe également un handover inter-système de GSM à UMTS. Pour permettre ce transfert, une liste spécifique des cellules voisines correspondant aux cellules UMTS est définie dans le GSM.

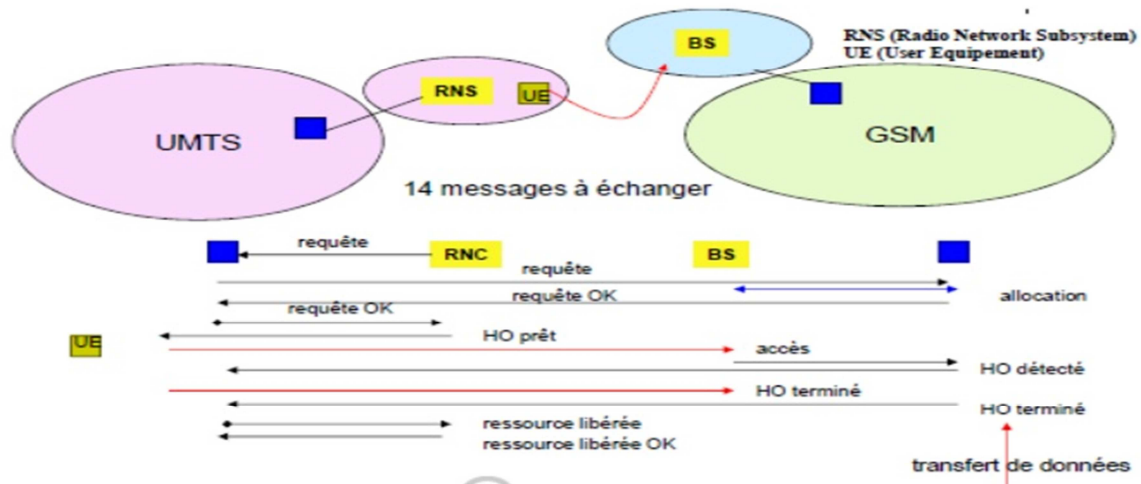


Figure II.4 : processus de Handover de l'UMTS vers le GSM

2. Le handover UMTS vers LTE :

Le handover UMTS vers LTE peut être réalisé pour les appels sur le domaine PS de l'UMTS, pour que l'utilisateur bénéficie d'un débit supérieur et d'une latence réduite en LTE. Les appels voix établis sur le domaine circuit (CS) ne peuvent être basculés sur le système LTE, d'abord parce qu'il n'existe pas de tel domaine en LTE/EPC et ensuite parce que la procédure de transfert d'appel CS vers VoIP n'est pas définie en Release 8.

Cela étant, si le réseau LTE/EPC ne permet pas de réaliser des appels VoIP, par choix de l'opérateur cette fois (pas d'infrastructure IMS déployée par exemple), les appels VoIP établis en UMTS ne devront pas non plus être envoyés sur le système LTE. On comprend qu'il est important que le système UMTS sache s'il peut basculer ou non un RAB vers le système LTE. C'est le rôle de l'indicateur E-UTRAN Service Handover, grâce auquel le réseau cœur indique au RNC que le RAB ne doit pas être basculé. Ce paramètre est par exemple signalé lors de l'établissement d'un RAB CS pour un appel voix, que l'opérateur souhaite maintenir en UMTS.

Le handover peut être utilisé lorsque l'UE est dans l'état Cell_DCH (un des états RRC du mode connecté en UMTS). Dans les états Cell_PCH et URA_PCH, l'UE utilise la resélection de cellule, comme en mode veille. Dans l'état Cell_FACH, l'UTRAN doit faire passer l'UE à l'état Cell_DCH avant d'effectuer le handover.

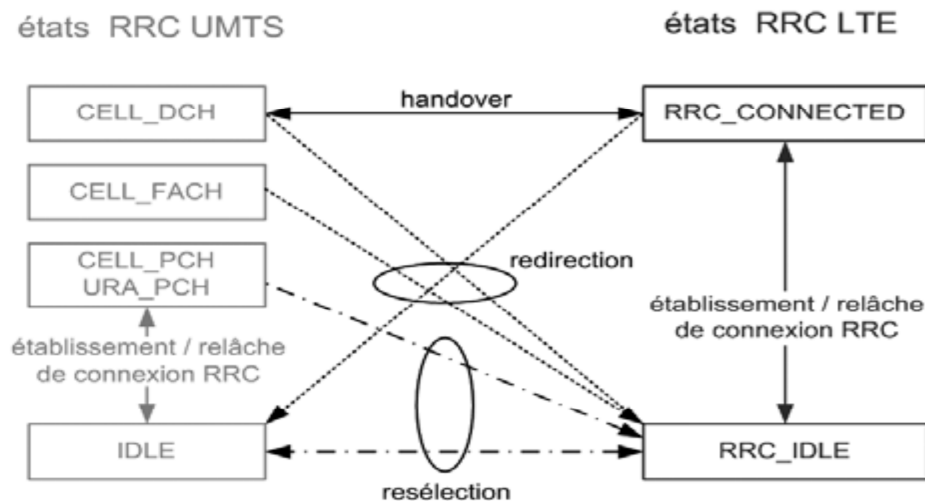


Figure II.5 : Le handover UMTS vers LTE.

3. Le handover LTE vers le GSM/GPRS :

Cette section présente le mécanisme du handover PS du système LTE vers le système GSM/GPRS, qui vise à assurer une continuité de service de données entre les deux systèmes, par exemple lorsque l'utilisateur quitte la zone de couverture LTE et que l'opérateur ne détient pas le réseau UMTS.

Si l'opérateur détient un réseau GSM/GPRS et UMTS, il peut choisir de privilégier le handover vers l'UMTS afin de retenir un débit et une expérience meilleur pour l'utilisateur.

Dans ce cas, si la couverture UMTS est satisfaisante le handover vers le système GSM/GPRS peut n'être que très rarement utilisé. L'opérateur fait parfois le choix de ne pas l'activer, ce qui limite les mesures inter-système en LTE à des cellules UMTS uniquement.

Ce handover est très semblable dans son déroulement et les messages échangés à celui du LTE vers l'UMTS.

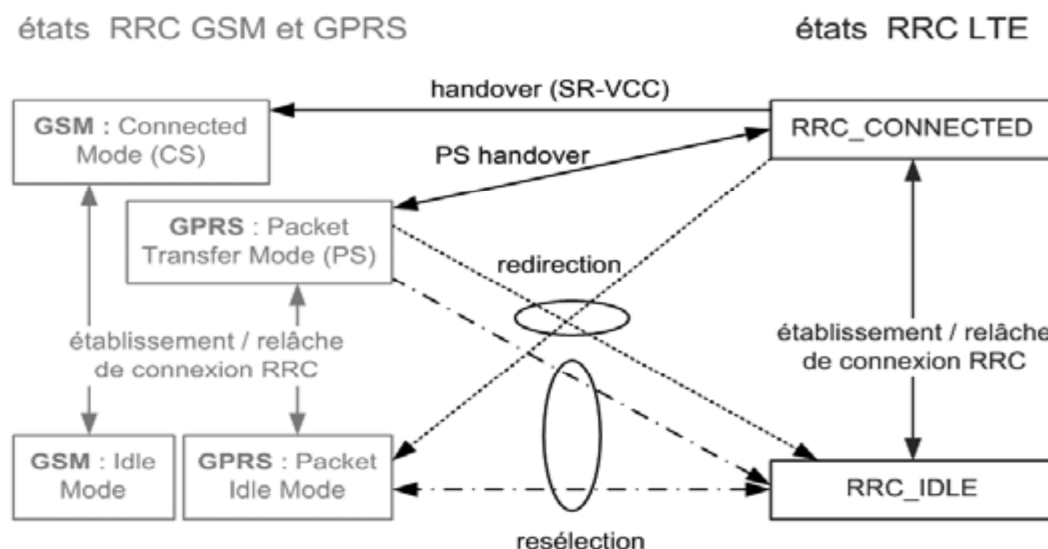


Figure II.6: Le handover LTE vers le GSM/GSPR.

II.3.3.2.La redirection:

Consiste à envoyer l'UE vers une cellule cible, sans dialogue préalable entre la station de base d'origine et celle de destination. Cette cellule cible peut se trouver sur une autre fréquence ou appartenir à un autre système. Aucune ressource radio, logique ou de transmission n'est réservée sur la cellule ou sur le système cible. L'UE est informé du réseau d'accès sur lequel il doit se re-connecter, mais le réseau n'est pas informé. Par conséquent, l'UE est dans l'obligation de trouver des informations sur sa nouvelle cellule. Ainsi, une fois sur la cellule, l'UE initie des mesures de puissance des fréquences balises puis, récupère les informations SIB diffusées en broadcast par la cellule cible.

❖ Le passage de LTE à l'UMTS/GPRS :

Pour permettre un appel dans la technologie LTE, il fait un saut vers une autre technologie GSM ou UMTS, ce passage qui est du non au handover mais à la redirection qui est appelé **CS FALLBACK (Circuit Switched Fallback)**. Le CSFB est un mécanisme permettant aux téléphones couverts par le 4G de se replier sur le réseau 2G/3G (généralement 3G) pour pouvoir passer un appel. La 4G étant un réseau tout IP, la voix est vue comme un service réseau, nécessitant la mise en place de l'IMS Mobile pour permettre la voix sur LTE dénommée VoLTE.

Le principe du CS FallBack est assez simple, lorsqu'un terminal mobile reçoit un appel téléphonique (Voix), il est informé via le message de Paging que le réseau auquel il doit accéder est le réseau de Commutation de Circuit (CS). Par conséquent, si le mobile était attaché sur le réseau 4G, il bascule vers le réseau 3G, et le mobile envoie une réponse d'acquiescement vers le cœur de réseau en commutation de circuit (CS-Core). A partir de ce moment, toute la signalisation pour la session d'appel téléphonique est prise en charge par le réseau 3G.

Pour que le Cœur de réseau 4G (EPC : Evolved Packet Core) soit compatible avec la technologie CSFB, il est nécessaire que ce dernier puisse communiquer avec le cœur de réseau en commutation de circuit CS-Core du réseau 2G/3G. En effet, le MME (mobility Management Entity) doit pouvoir contacter le MSC (Mobile Switch Center) et la VLR afin de donner procuration au réseau 2G/3G de la gestion de la mobilité. L'interface utilisée se nomme SG, et fait référence, en reprenant son rôle, à l'interface Gs existante entre le SGSN et le MSC dans le réseau 3G.

Lorsque l'appel est accepté, la technologie CSFB utilise à nouveau l'interface SG pour informer le réseau LTE de l'acceptation de l'appel. L'acquiescement est donc transmis par le réseau en Commutation de Circuit (CS) vers le réseau LTE en empruntant l'interface SG.

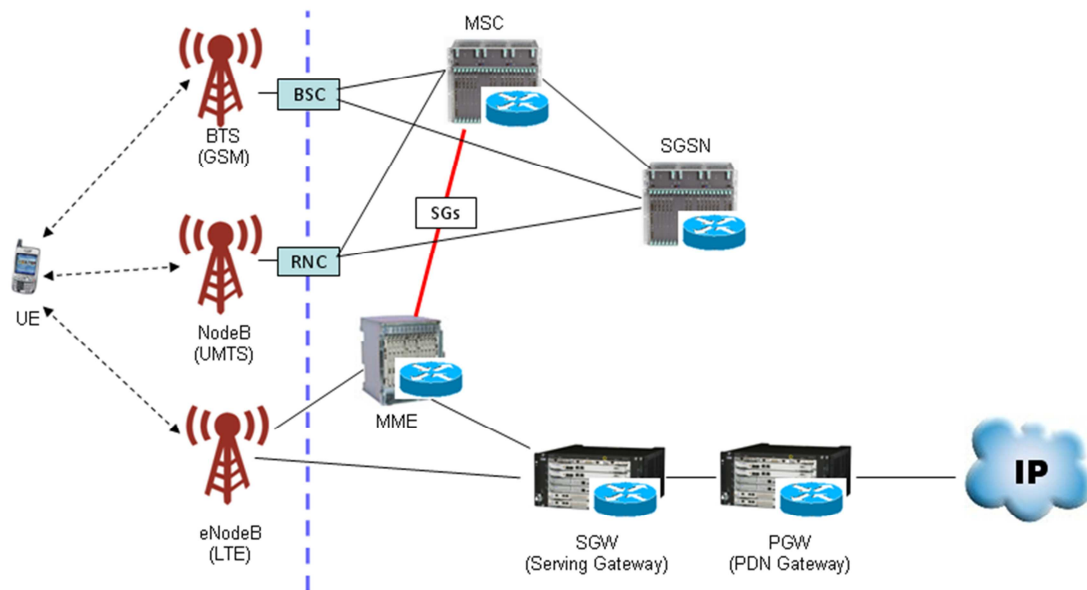


Figure II.7 : Principe de fonctionnement du CS fallback

Maintenant, le réseau LTE et 2G / 3G est connecté. Voyant maintenant, l'interaction des deux réseaux pour rendre l'appel vocal possible. La figure suivante montre les interactions des réseaux.

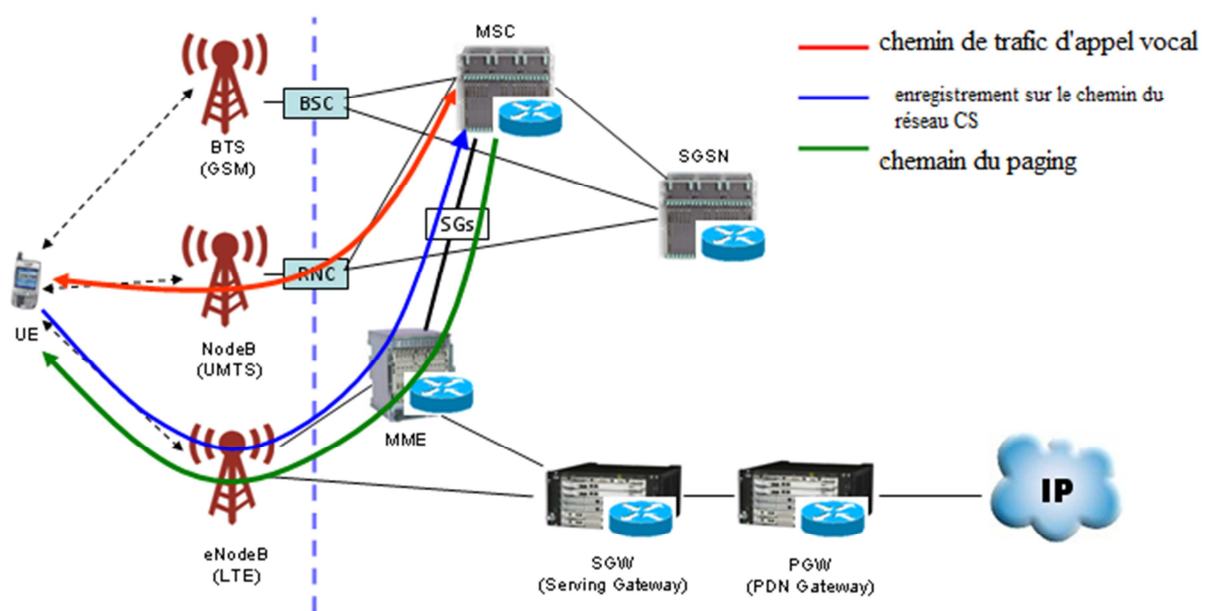


Figure II.8 : les interactions des réseaux.

❖ Différences entre handover et redirection :

Dans le cas de la **procédure de Handover**, la cellule cible Nb est informée (selon le type de Handover, soit par le RNC, soit par le MSC/VLR) de la prise en charge d'un UE. Des mesures inter-RAT permettent à l'UE de mesurer la puissance du signal des cellules pouvant prendre en charge l'UE afin de guider le HandOver (HO). C'est au cours de la requête *RRC*

Connection Reconfiguration (optional Measurement reports) que l'eNb demande à l'UE de lui fournir des mesures sur les cellules voisines.

Dans le cas de la **procédure de Redirection**, l'UE est informé du réseau d'accès sur lequel il doit se re-connecter, mais le réseau n'est pas informé. Par conséquent, l'UE est dans l'obligation de trouver des informations sur sa nouvelle cellule. Ainsi, une fois sur la cellule, l'UE initie des mesures de puissance des fréquences balises puis, récupère les informations SIB diffusées en broadcast par la cellule cible.

Parmi les deux technique, les mesures ont montrées que la procédure de redirection est plus rapide que le HandOver pour le GSM, mais à l'inverse est moins rapide en 3G.

II.4. Discussion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les éléments essentiels de l'accessibilité et de la mobilité, que se soit en mode veille ou connecter au sein de chaque technologie 2G, 3G et 4G ainsi l'interopérabilité entre ces différents systèmes par les trois types de mécanisme de mobilité (re-sélection, handover et la redirection).

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

III.1. Préambule :

Afin de comprendre les processus étudiés dans les chapitres précédents, on va interpréter des statistiques réelles afin d'évaluer les performances de chaque service (voix/data) dans chaque technologie, en faisant une étude comparative entre chaque indicateur.

III.2. L'indicateur clé de performance (KPI) :

Les indicateurs clés de performance KPIs (Key Performance Indicators) peuvent être définies comme un ensemble de résultats qui mesurent les performances d'un réseau entier. Des centaines de KPIs existent et concernent toutes les entités du réseau : radio et cœur. Le KPI est le résultat d'une formule qui est appliquée aux indicateurs de performance (Performance Indicators, PIs). Le PIs peut être extrait d'un secteur, une eNodeB, un TRX ou à un niveau d'une eNodeB adjacente. Ils emploient des compteurs d'une ou plusieurs mesures et peuvent être calculés à partir d'un compteur ou d'une formule de plusieurs compteurs pour évaluer la qualité. La période de l'observation se rapporte à la durée des échantillons rassemblés : heure, jour, semaine, mois, etc.

La qualité du service dans les réseaux des télécommunications reflète le niveau de la rentabilité et la fiabilité d'un réseau et de ses services.

La métrique est directement produite par le vrai trafic des abonnés. Chaque événement qui se produit dans le réseau (initiation/terminaison d'appel, l'échec de Handover, etc.) est rapporté à l'ingénieur radio. Ainsi les statistiques sont la manière la plus efficace pour surveiller les performances du réseau. La surveillance du réseau est un élément principal pour atteindre la meilleure qualité du service. La surveillance de QoS comporte l'observation, la qualification et l'ajustement permanent de divers paramètres du réseau.

➤ Les logiciels qui nous ont permis de faire les calculs des KPi sont:

Avec l'équipement zte on utilise le **Logiciel NETNUMEN**.

Et avec l'équipement huawei on utilise le **logiciel U2000** ainsi que le **PRS**.

❖ Définition du logiciel NETNUMEN :

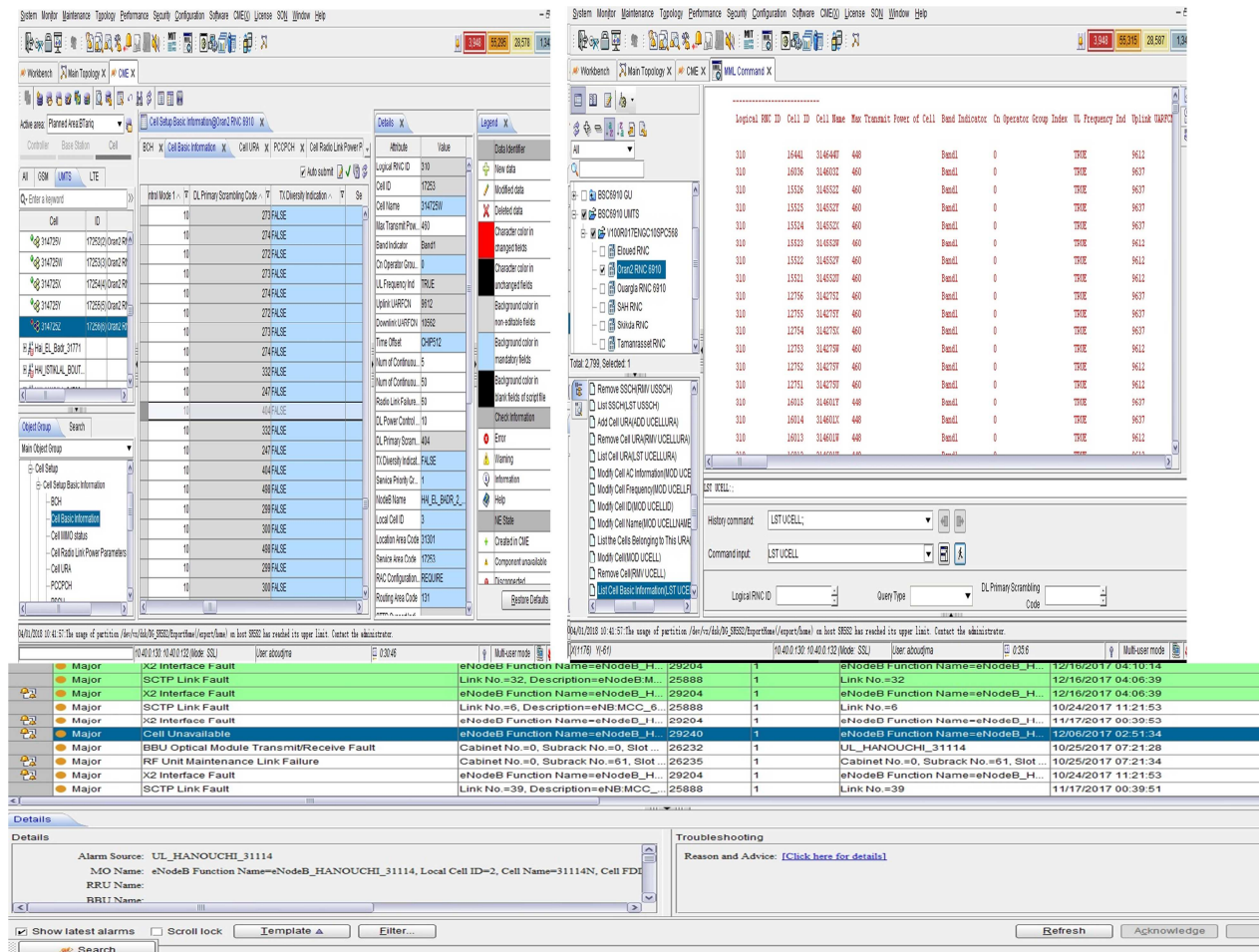
NetNumen intégré au réseau pour les systèmes de gestion développé par ZTE, utilisation mature et avancée du réseau de gestion de l'architecture et offre de nombreuses sortes d'interface nord sur la base de JAVA plate-forme. Donc il peut facilement intégrer avec le réseau gestion systèmes fournis par la troisième partie. Il est un client très-amical, transporteur-classe et croix-plate-forme système de gestion de réseau intégrée.

❖ Définition du logiciel U2000 :

U2000 est le logiciel de gestion des éléments de réseau fixe. Il fournit un plate-forme de gestion de réseau centralisée pour soutenir les opérateurs de télécommunications leur évolution à long terme du réseau et en protégeant les différences entre diverses technologies de réseau. Le U2000 se concentre sur des efforts continus les opérateurs de télécommunications ont fait pour le fonctionnement et la maintenance du réseau et hérite de l'expérience OM existante.

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

Les principales fonctionnalités de sécurité mises en œuvre par Huawei iManager U2000 et soumis à évaluation sont (la Gestion des rôles utilisateur, l'Authentification, le Contrôle d'accès ...ect).



III.3.L'accessibilité et la qualité de service data et voix :

III.3.1. Comparaison du taux de réussite des appels en 2G (TCH) et en 3G (RAB) :

TCH est le canal de trafic dans le GSM transporte la parole de l'utilisateur ou des données comme autre technologie. Il est utilisé à la fois dans la liaison montante et la liaison descendante après que le mobile a établi une connexion avec la cellule GSM (BTS).

RAB est utilisé pour le transfert de l'information en 3G qui est l'équivalent du TCH en 2G.

D'après la figure ci-dessous on voit que le taux de transfère d'information en 3G est meilleur par rapport à la 2G d'après le seuil fixé à 98%, le taux de succès du canal de trafic (TCH) connaît des dégradations qui vont conduire à des coupures des communications.

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

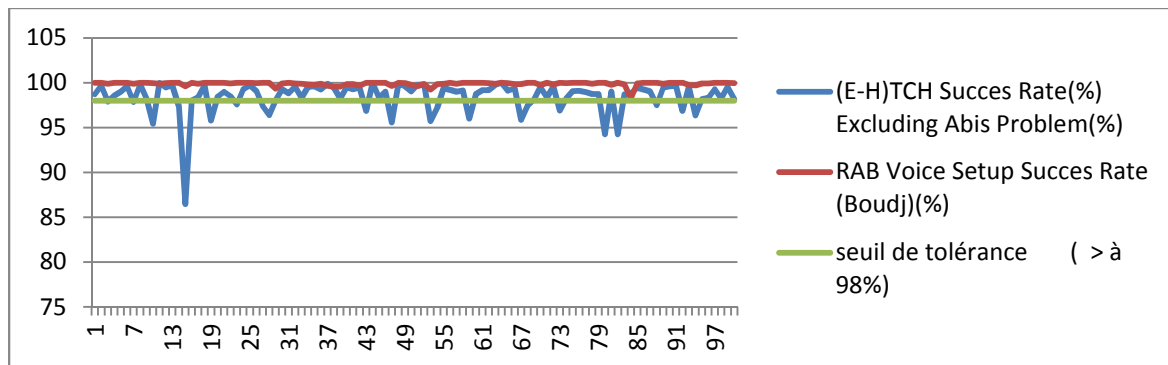


Figure III.1 : Comparaison du taux de succès du canal de trafic voix (TCH) et du canal RAB.

III.3.2.Comparaison entre le taux de succès du SDCCH et le RRC CS :

SDCCH : est un canal de signalisation utilisé pour les mises à jour de localisation dans la phase précédant l'allocation du canal de trafic TCH.

RRC CS : est le taux de succès d'établissement de connexions RRC pour des services conversationnels, il est similaire au canal SDCCH.

D'après la figure si dessous en remarque que le taux des deux paramètres n'a pas dépasser la valeur du seuil fixer à 98%, se qui nous renseigne sur le bon fonctionnement du système. C'est les ressources les plus importantes sur lesquelles le système s'appuie pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Un nouvel appel ne peut pas être lancé si les canaux **SDCCH** et **RRC CS** ne sont pas disponibles et il en est de même lorsque les canaux **SDCCH** et **RRC CS** sont disponibles mais que tous les canaux **TCH** et **RAB** sont bloqués.

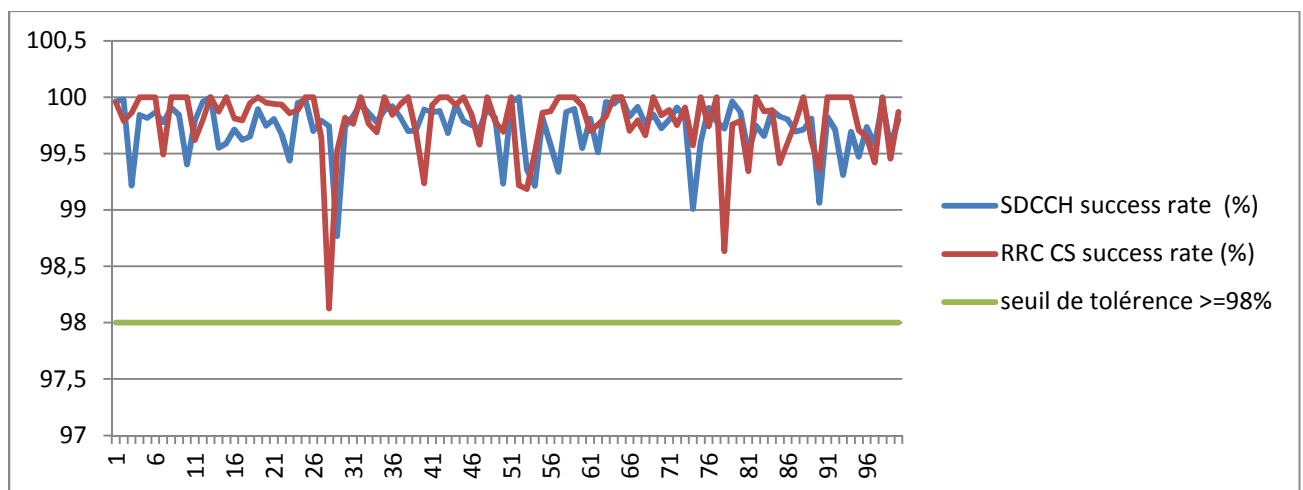


Figure III.2 : le taux de réussite du SDCCH et du RRC CS

III.3.3. Comparaison entre le trafic CS en 2G et le trafic speech en 3G :

La figure ci-dessous représente une comparaison du trafic voix en 2G et 3G.

Traffic volume CS et le trafic speech : c'est des indicateurs de la quantité des appels voix en 2G et 3G.

On constate que le trafic de la voix en 2G est meilleur qu'en 3G il atteint la valeur maximale de 200 erlang or que dans 3G il atteint la valeur maximale de 160 erlang.

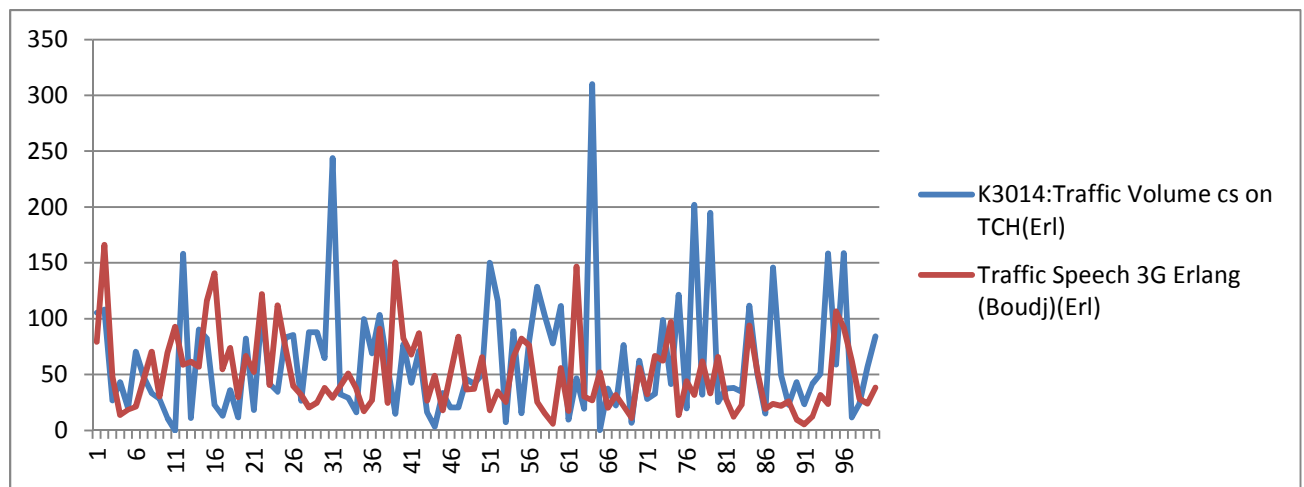


Figure III.3. Comparaison du trafic de la voix en 2G et 3G.

L'équation du trafic voix en Erlang :

On détermine le trafic offert pour 37 canaux : Trafic offert = 28.25 Erlang

Sachant que, le trafic par utilisateur = 1,01 Erl, et ayant l'équation suivante :

Nombre d'utilisateurs par secteur = trafic offert total / trafic offert par utilisateur . On calcule le nombre d'utilisateur par secteur comme suit :

Nombre d'utilisateur par secteur = $28.25 / 1,01$ 28 utilisateurs

Chaque site supporte 3 secteurs, donc : Nombre d'utilisateur par site = $28 \times 3 = 84$ users/site

Nombre d'utilisateurs par site = 84 utilisateurs/sites

Calcul du nombre de sites = nombre total d'abonné / nombre d'utilisateur par site Le nombre de sites requis = $2000 / 84 = 24$ sites

On aura par la suite : Nombre de sites = 24 sites

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

III.3.4. Comparaison entre le taux de succès du RAB HSDPA et le taux de succès du ERAB :

RAB HSDPA : Ce KPI décrit le pourcentage de tous les succès discours conversationnel liés aux établissements RAB liée à la parole. C'est la tentative d'établissement pour le réseau UTRAN et est utilisé pour évaluer l'accessibilité des services vocaux à travers l'UTRAN.

ERAB : Ce KPI peut être utilisé pour évaluer le taux de réussite de la configuration ERAB de tous les services y compris le service VOIP dans la cellule.

C'est un indicateur clé de performance pour le LTE est le taux de réussite LTE ERAB, qui fait également partie de l'accessibilité.

On a le seuil de tolérance du RAB est de 97%(>97%). Le taux de réussite du RAB HSDPA est presque idéal il atteint les 99%, or que le ERAB LTE ce dégrade à 92% puis se stabilise.

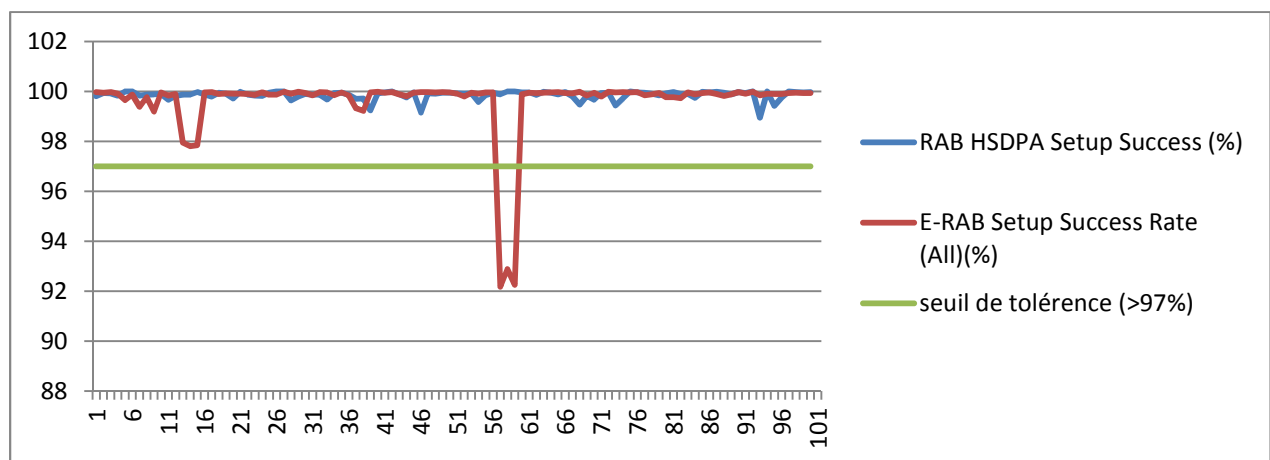


Figure III.4. La courbe suivante représente le taux de succès du RAB HSDPA et le ERAB.

D'après les trois figures précédentes on déduit que pour le service voix la 2G est la meilleure technologie pour acheminer le trafic vocal, car le taux de coupure des appels ainsi que le taux de coupure signalisation est faible par rapport à 3G et 4G.

III.3.5. Comparaison entre le trafic data dowlink en 2G et le HSDPA en 3G :

La figure dessous représente la taille de données communiquées entre la BTS et le mobile dans la voix descendante.

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

On constate que le taux de données data dowlink en 3G est meilleur qu'en 2G, il atteint la valeur maximale de 23198 **MBit** or qu'en 2G la valeur maximale est de 1139**MBit**. Le taux de données data dans la voix descendante est plus grand que le volume data en 2G.

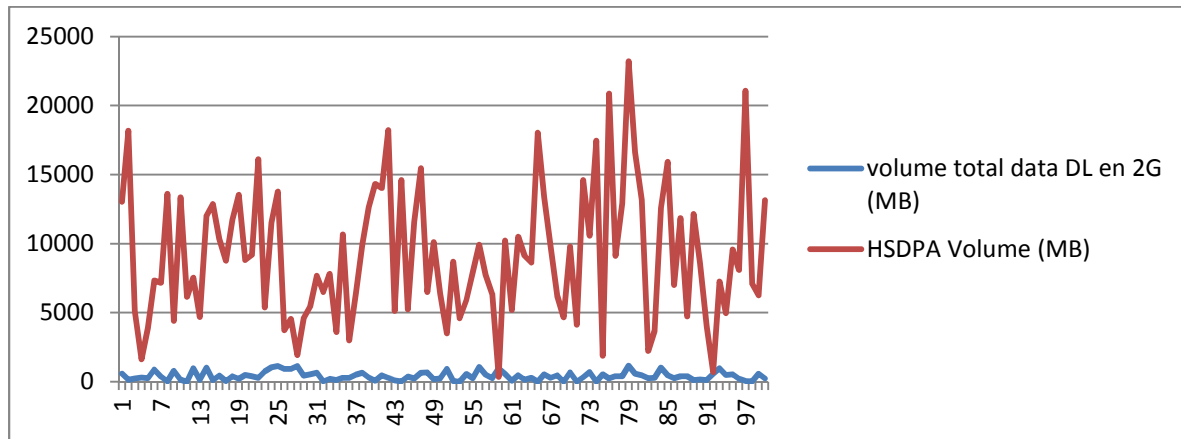


Figure III.5.Comparaison du trafic de données data dowlink en 2G et 3G.

III.3.6.Comparaison entre le trafic data uplink en 2G et le HSUPA en 3G :

La figure ci dessous représente le volume de données qui circule du mobile vers la BTS.

D'après la figure suivante on constate que le volume maximal data en 3G dans la voix montante est de 3042**MBit**, or en 2G le volume maximal est de 217**MBit**. Le taux de données data en 3G dans la voix montante est bien plus élevé ce qui permet d'offrir un meilleur service à l'abonné.

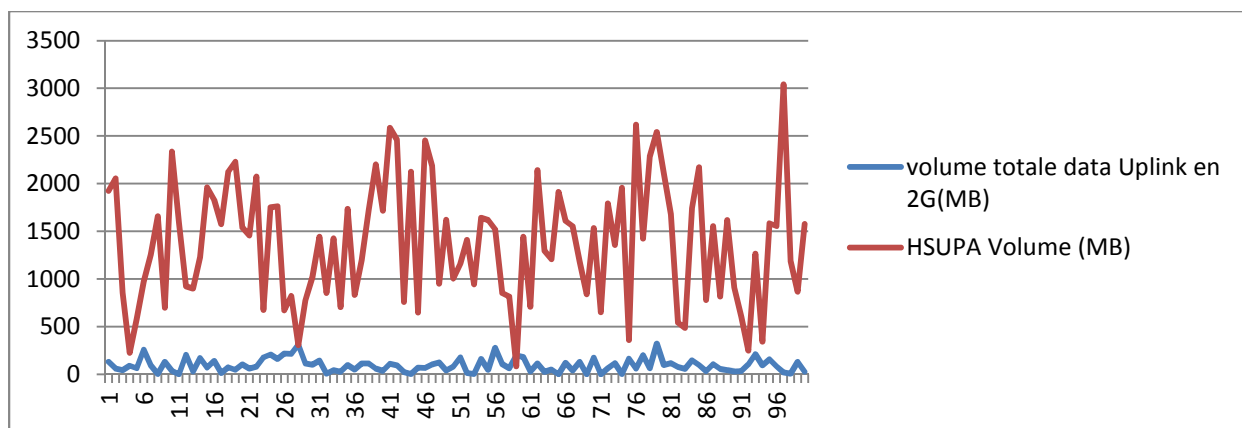


Figure III.6. Comparaison du trafic de données data uplink en 2G et 3G.

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

III.3.7. Comparaison entre le Volume HSDPA et le trafic volume dowlink en 4G:

On déduit de la figure dessous que le taux de données data dans la voix descendante en 4G atteint la valeur maximale de **169GBit**, or que dans HSDPA il atteint la valeur maximale de **23GBit**. Alors le volume data dans la voix descendante est bien meilleure en 4G qu'en 3G.

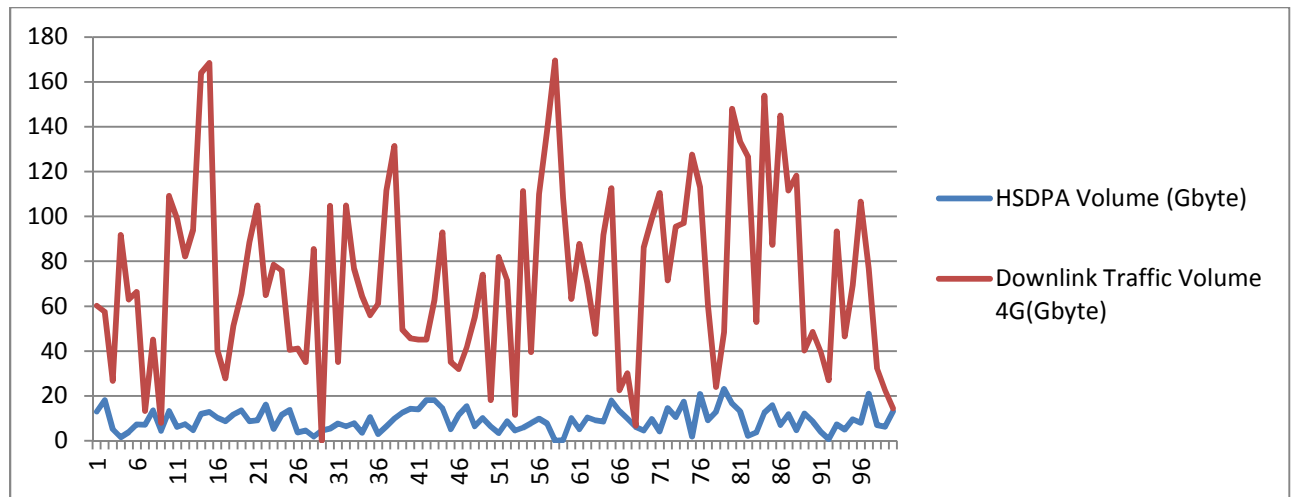


Figure III.7. Comparaison du volume de données entre 3G et 4G.

III.3.8. Comparaison entre le volume data en HSUPA et Uplink en 4G:

D'après la figure on voit que la valeur maximale de données data en 4G atteint **23GBit**, or qu'en 3G la valeur maximale est de **13GBit**. On déduit alors le data dans la voix descendante est meilleure dans la 4G.

En interprétant les résultats des figures concernant le data, 3G et 4G sont tous des services à forte intensité de données par rapport à 2G mais d'après les statistiques dans la voix montante et descendante c'est la 4G qui domine.

La 4G permet d'offrir un très haut débit pour garantir la meilleure qualité de service.

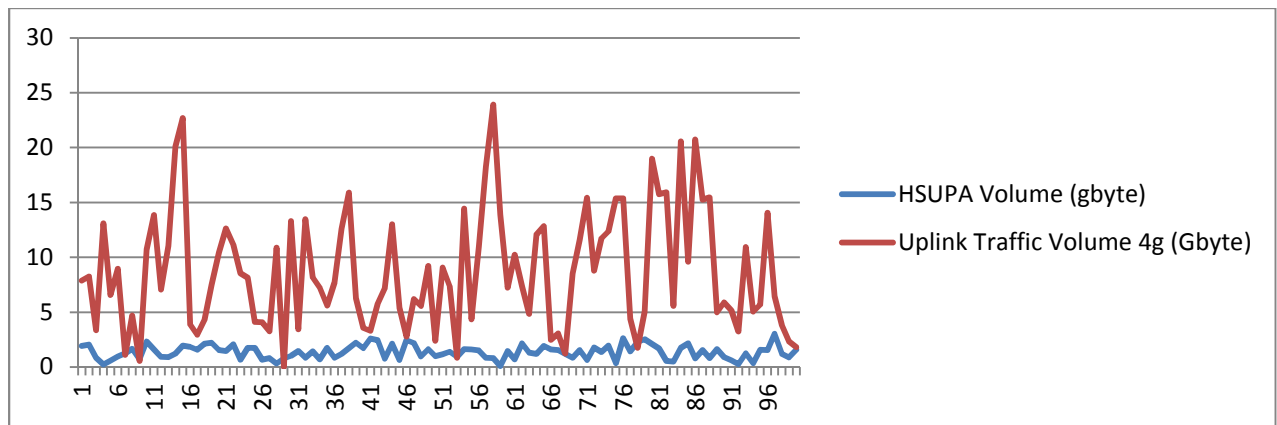


Figure III.8. Comparaison entre le volume data en 3G et en 4G en uplink.

III.4. La mobilité :

III.4.1. Handover intra-système en 2G :

Après l'analyse de la figure (III.9) on constate que le handover est au dessus du seuil de tolérance ce qui signifie qu'il est réussi et nous a permis de maintenir la plupart des communications mais à un certain moment il échoue mais il est rapidement récupéré.

Les causes d'échecs du handover sont :

- On a Les cellules cibles sont congestionnées. Au cas où le handover est dans la phase préparation.
- Connexions défectueuses sur les interfaces A au cas d'un handover inter-BSC.
- Dans le cas où l'échec se situe à la phase exécution (échec de handover sur les canaux alloués) la cause est l'échec radio ou BSS sur la cellule cible. Dans ce cas le mobile retourne à son ancien canal, l'appel n'est pas coupé mais le handover a échoué.

La courbe suivante représente le taux de réussite du handover en 2G :

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

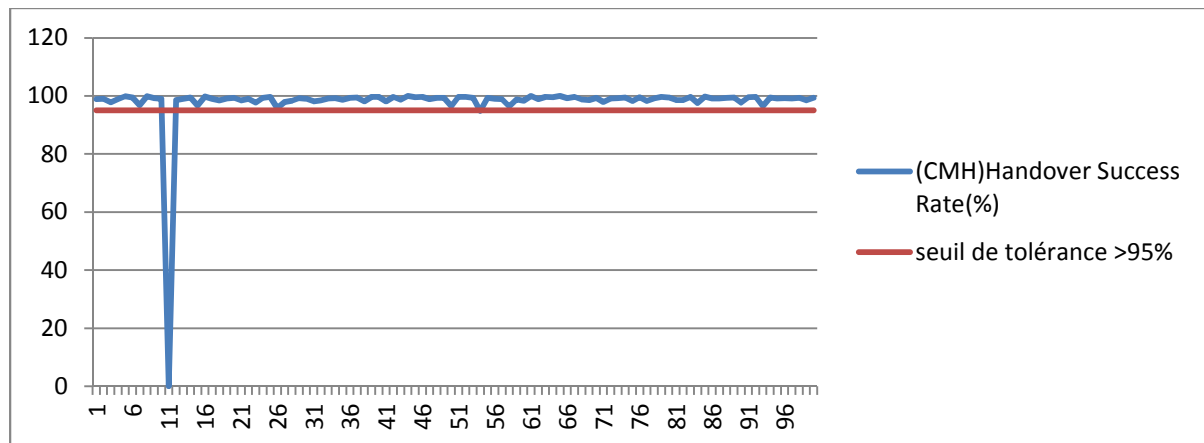


Figure III.9. Le taux de réussite du handover en 2G.

III.4.2. Handover inter-système UMTS à GSM :

❖ Inter RAT pour le domaine CS (Taux de réussite du transfert intercellulaire Inter RAT sortant (CS)):

Cet indicateur de performance clé décrit entre le nombre de transferts inter-RAT réussis et le nombre total de tentative de transfert inter-RAT de l'UMTS vers GSM pour le domaine CS. Et il représente le taux de réussite du handover durant un appel.

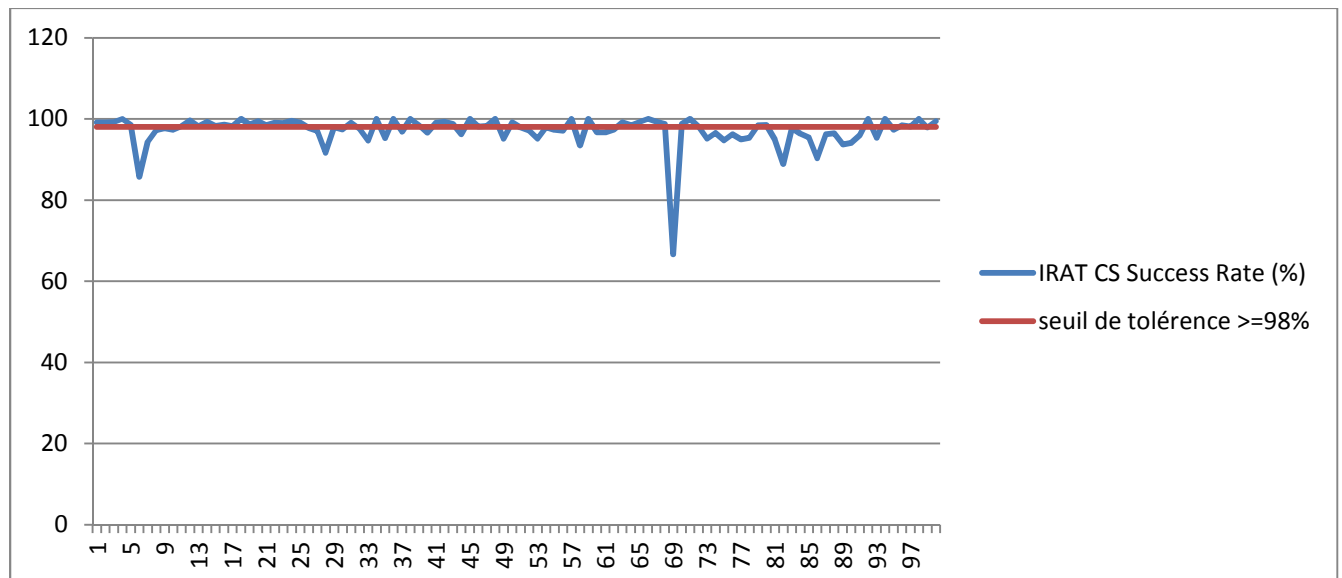


Figure III.10. Le taux de succès du handover inter-système en mode circuit.

En analysant la figure on constate que le taux de réussite d'inter-RAT CS contient certaines dégradation de service.

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

❖ Inter RAT pour le domaine PS (Taux de réussite du transfert intercellulaire Inter RAT sortant (PS)) :

Cet indicateur de performance clé décrit le rapport entre le nombre de transferts inter-RAT réussis et le nombre total de tentatives de transfert inter-RAT de l'UMTS vers GSM pour le domaine PS. C'est Le taux de réussite d'IRAT Handover durant une transmission data.

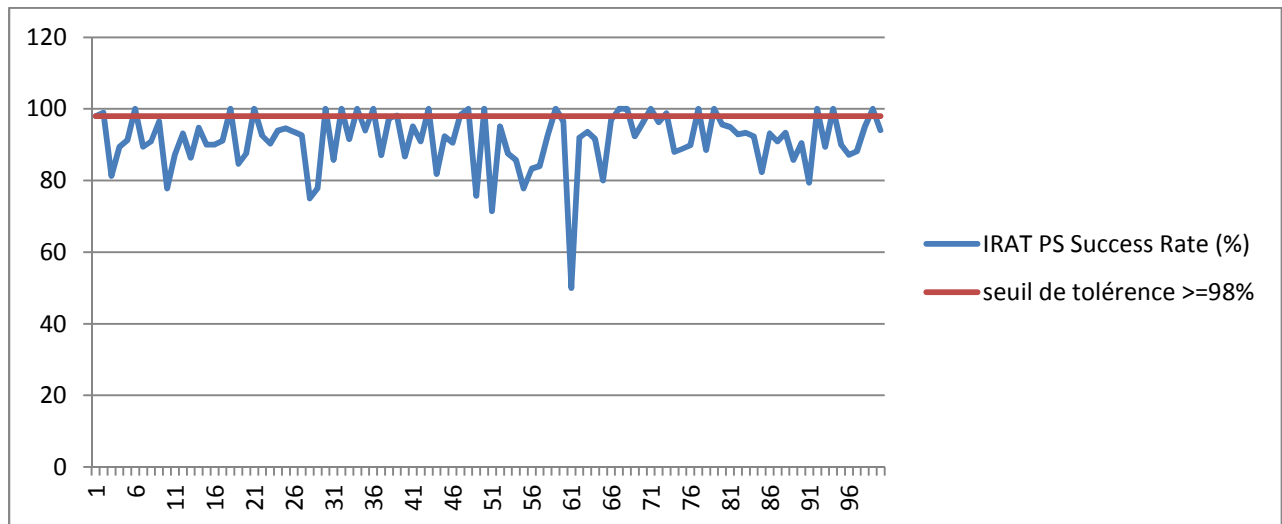


Figure III.11. Le taux de succès du handover inter-système en mode paquet.

On constate que le taux de réussite d'inter-RAT PS est médiocre car la majorité des points sont au dessous du seuil toléré ce qui signifie que ce processus n'a pas connu son succès.

La 2G est la technologie de basculement pour 3G et 4G. Dans la communication mobile, ce concept est connu sous le nom de transfert intercellulaire IRAT (Inter-Radio Access Technology). Lors de l'absence de la couverture du réseau 3G on peut toujours effectuer des appels ou même avoir une session de données désagréable et lente sur 2G.

III.4.3. Etude du taux de succès du CS FALL BACK :

D'après la courbe tracée en dessous on déduit que l'exécution du CSFB connaît quelques dégradations

Causée par les demandes d'origine mobile simultanée de masse pour CSFB et augmente la disponibilité des ressources E-UTRAN pour les UE accédant à d'autres services. Lorsqu'un opérateur détermine qu'il est approprié d'appliquer le contrôle d'accès à CSFB, le réseau peut diffuser les informations nécessaires pour fournir un contrôle d'accès à CSFB pour chaque classe aux UE dans une zone spécifique. Le réseau doit pouvoir appliquer séparément le contrôle d'accès pour CSFB et le contrôle d'accès sur E-UTRAN.

Ces dégradations mènent à :

Chapitre III : Etude des performances d'une BTS avec les trois technologies 2G, 3G et 4G

- L'indisponibilité du service.
- Manque de ressources radio.
- Congestion du réseau de secours.

La courbe suivante nous montre le taux de succès du CS FALL BACK de 4G à 3G :

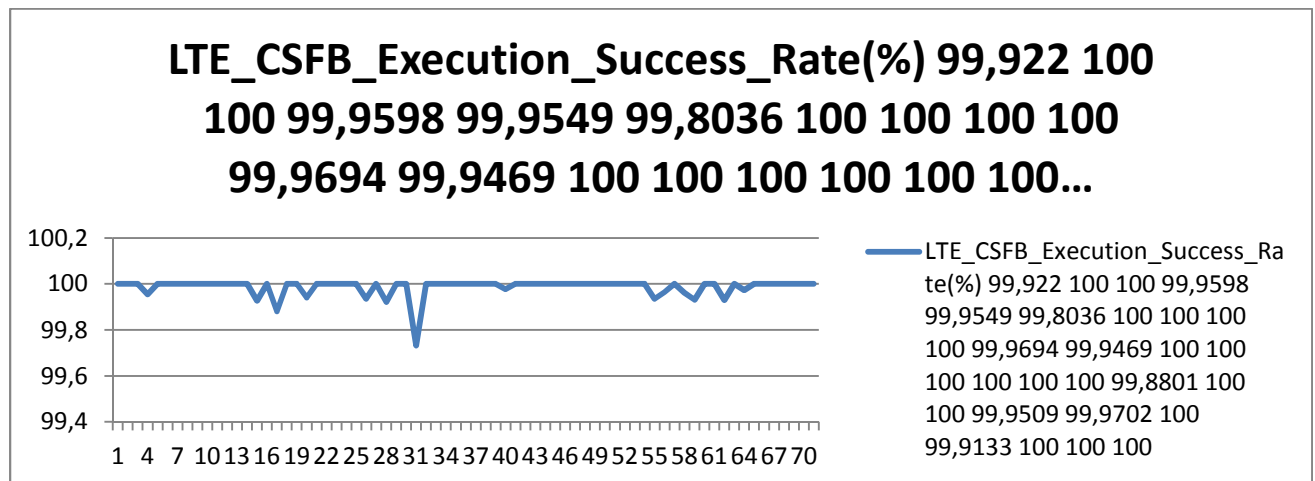


Figure III.12. Le taux de réussite d'exécution du CSFB.

L'exécution du CSFB est la meilleure solution pour pouvoir passer un appel voix en 4G. La 2G est le meilleur choix pour ce processus avec sa couverture omniprésente vu qu'avec la 3G il connaît beaucoup de dégradations.

III.5. Discussion :

Au cours de ce chapitre nous avons fait une étude comparative des indicateurs de performances des différents standards de la téléphonie mobile, ainsi l'importance de chacun des indicateurs cités, afin de tirer la qualité de service de chaque technologie.

CONCLUSION

Le progrès du monde des télécommunications est de plus en plus rapide. Aujourd'hui un abonné est susceptible non seulement d'établir une connexion en tout moment pour récupérer ce dont il a besoin mais en plus, il est capable de jouir d'une multitude de services à travers le même réseau. C'est le principe de la convergence des réseaux aux quels répondent les réseaux des nouvelles générations 2G 3G et en particulier LTE.

L'objectif principal de ce projet est de comparer les performances de ces trois technologies afin d'en déduire leurs qualité de services pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Dans ce travail après avoir donné un aperçu sur les réseaux cellulaires mobiles : GSM GPRS EDGE UMTS et LTE, nous avons étudié ensuite les performances des différentes technologies. L'évaluation de ces performances était notre but dans ce mémoire. Pour cela nous avons posés différents paramètres théoriques concernant l'accessibilité et la mobilité que nous avons prouvés à la fin en étudiant les différents indicateurs de performances.

Après les différentes comparaisons on a constaté que les réseaux 2G ont une connectivité omniprésente dans de nombreux pays en raison du fait qu'ils existent depuis un certain temps maintenant. Cela signifie que vous pouvez être dans une zone qui n'a pas de connectivité 3G ou 4G, mais vous pouvez toujours effectuer des appels ou même avoir une session de données rudimentaire, mais lente sur 2G.

Par contre la 3G a bénéficiée des deux trafics voix et data mais avec un débit meilleur pour le data.

Comparant la 4G aux générations qui la précède on a remarqué que le trafic voix n'est pas assuré par ce standard mais une autre technique est utilisée pour acheminer la voix sur LTE qui est le CSFB.

Par contre elle assure la transmission de données avec des débits beaucoup plus meilleurs jusqu'à trois fois plus que la 3G.

A nos jours, si tous les services de l'abonné sont satisfaits c'est grâce à l'interopérabilité qui existe entre ces différentes technologies (handover, CSFB, re-sélection).

Les améliorations qui peuvent être apportés aux lacunes de ces différentes technologies, c'est d'améliorer la couverture de toutes ces dernières, opter pour de nouvelles générations (5G) pour réduire la charge de congestion des cellules.

Références bibliographiques

Thèses :

- [1] : André Pérez « Architecture des réseaux de mobiles GSM/GPRS, EPS, NGN, IMS », 3^E EDITION REVUE ET AUGMENTEE, PARIS, LAVOISIER, 2008.
- [2] : S. OUDJELLAL et A.ABBAS « Minimisation de la probabilité d'échec de Handover en utilisant un modèle de multiples queues, M'SILA 2017 ».
- [3] : M. Yanis et B. Azeddine « Evaluation de qualité de service et Optimisation du réseau UMTS/AT Mobilis, Béjaia 2017 ».
- [4] : D.Schehrazed et T.Chafia « Contribution à l'optimisation d'un réseau LTE : Adaptation du HANDOVER, BOUMERDES 2017 ».
- [5] : Hicham Megnafi « Optimisation Radio dans le reseau GSM »
- [6] : M. Hocine « Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA, SETIF 2012 ».
- [7] : C.Lamia « Migration d'un réseau mobile 3G vers le 4G, Tunisie 2015 ».
- [8] : K.IBRAHIMI « Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs, Maroc ».
- [9] : « PLANIFICATION D'UN RESEAU DE QUATRIEME GENERATION A PARTIR D'UN RESEAU DE TROISIEME GENERATION, MONTREAL 2011 ».
- [10] : B.Hadjer et S.Riyad « ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE), Tlemcen 2013 ».
- [11] : S.Omar et Z.Youssouf « Etude de la liaison BTS/BSC du réseau GSM, TLEMEN 2013 ».
- [12] : H. Yahiaoui et R.Lounnas « Etude des performances des réseaux 4G LTE, Tizi-OUZOU 2017 ».
- [13] : D.Fatima et O.Faiza « Planification et optimisation d'un réseau 4G LTE, Tizi-Ouzou 2017 ».
- [14] : L.Ismail « Ingénierie d'un réseau mobile 3G/3G+ ».
- [15] : A.Naima et I.Djamila « Etude et simulation de la solution VoLTE (Voix sur LTE) sous logiciel OpenMSCore ».

Documentation de MOBILIS d'ALGER :

- [1] : << LTE Batna City 1 Cluster Analyses_DL, Mobilis Alger>>.
- [2] : << LTE Batna City 1 Cluster Analyses_DL, Mobilis Alger>>.
- [3] : << LTE Batna City1 Cluster Analyses_CSFB, Mobilis Alger>>.
- [4] : << LTE Batna City2 Cluster Analyses_CSFB, Mobilis Alger>>.
- [5] : << LTE Biskra Cluster Analyses_CSFB, Mobilis Alger>>.
- [6] : << 2G KPIs_Cell Level_Daily_Query_Result_20180612132312329, Mobilis Alger>>.
- [7] : << KPI Analysis Result_Query_Result_20180611113651430, Mobilis Alger>>.

Références bibliographiques

[8]: << ATM NPM LTE KPI Daily Check_Query_Result_20180612133415176, Mobilis Alger>>

[9]: << 07 FO_FC3140_E01_1 LTE Inter-RAT Interoperation_, Mobilis Alger>>.

[10] :<< 05 FO_NAST3101_C01_1 LTE Handover Analysis, Mobilis Alger>>.

Sites Web :

https://www.sop.inria.fr/members/Eitan.Altman/PAPERS/These_KhalilIbrahimi.pdf

<https://www.researchgate.net/publication/283423062>

<https://books.google.dz/books?id=sn0iBAAQBAJ&pg=PA61&lpg=PA61&dq=la+proc%C3%A9dure+de+reselection+dans+l%27UMTS&source=bl&ots=Hk86rTudUg&sig=Dq4BAvB0X4pDDd0p30eeWg2RMuY&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwiA6Mjv95HbAhVLvVMKHW-sA7gQ6AEwBHoECAEUQ#v=onepage&q&f=false>

https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-bilan-couverture-QoS-2g-3g-nov2012.pdf

<https://www.memoireonline.com/10/12/6366/Conception-et-developpement-dune-plateforme-pour-le-Monitoring-de-la-QoS-Quality-of-Service-Da.html>

<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001283/01/bchini.pdf>

https://www.sop.inria.fr/members/Eitan.Altman/PAPERS/These_KhalilIbrahimi.pdf

<http://pf-mh.uvt.rnu.tn/943/1/mobile3G-4G.pdf>

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01331804/document>

<https://fr.scribd.com/doc/61607777/04-GSM-BSS-Network-KPI-TCH-Call-Drop-Rate-Optimization-Manual>

<https://fr.scribd.com/doc/148108728/PFE-Reporting-Automatique-de-la-QoS-des-Reseaux-2G-3G-pour-Tems-Automatics>

http://sirtcom.fr/wp-content/uploads/2014/01/Drive_Test_QOS.pdf

http://www.osiris.sn//IMG/pdf/annexe_1_kpi_425.pdf

https://www.memoireonline.com/06/10/3545/m_Developpement-dune-plateforme-de-reporting-automatique-des-mesures-radio-et-des-etats-GOS-GSMGP34.html

<https://fr.scribd.com/document/98528347/pfekhaoulaelhabib>

<http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/bitstream/123456789/3782/1/HAMAMDJI%20Sami%20%20%20SEBA%20Nasreddine-Reda.pdf>

<https://fr.scribd.com/document/342865746/Analyse-Par-Les-Indicateurs-de-MAHAMAN-Moustapha-Kadri-497>