

République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de génie électrique et d'informatique
Département d'électronique



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME MASTER
ACADEMIQUE**

Spécialité : Electronique

Option : Microélectronique

Etude et optimisation des ressources d'un réseau LTE

Présenté par :

- **BELLIK Ghilas**
- **FAREZ Youva**

Soutenu le 27/09 /2018 devant les jurys suivant :

M^r. BELKAID.MS	Professeur	(UMMTO)	Président
M^{me}. HATEM.DJ	Maitre de conférence	(UMMTO)	Promotrice
M^r. AYOUNI.B	Ingénieure d'Optimisation	(Mobilis)	Co-prometteur
M^r. ATTAFA.Y	Maitre de conférence	(UMMTO)	Examineur

Promotion : 2018

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir offert l'opportunité de franchir ce stade du savoir et de nous avoir donné le courage et la patience de réaliser ce travail.

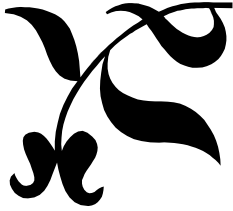
Nous adressons nos remerciements en particulier à nos familles d'abord, ensuite à notre promotrice M^{elle} HATEM Djedjiga, Maitre de conférence à la Faculté de Génie Electrique et d'Informatique « Département Electronique » pour ses grandes qualités humaines, pour nous avoir guidés tout au long de l'élaboration de notre travail. Qu'elle trouve dans ce travail l'expression de notre reconnaissance et nos plus chaleureux remerciements.

Nous tenons à remercier tout les membres de jury qui vont évaluer, mitiger et commenter notre étude afin qu'elle puisse être un produit complet.

Nous remercions également notre Co-promoteur M.AYOUNI Boudjemaa pour nous avoir guidés durant notre travail, pour tout l'aide qu'il nous à apporté et pour sa disponibilité, sa patience et ses précieux conseils, ses orientations et surtout ses encouragements.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribués, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Une fois encore, merci à tous.



Dédicaces :



*Je dédie ce modeste travail à :
Mes très chers parents sans eux rien n'aurait été
possible.*

*Jamais on n'oubliera, leurs amours, leurs dévouements,
tous leurs sacrifices. On espère pouvoir un jour les
remercier à la hauteur de ce qu'ils nous ont apportés.*

Mes frères : Sofiane et Hacene.

Mes sœurs : Hayet, Dehbia et Inas.

Mon oncle : Hacene

Mon Binôme Ghilas

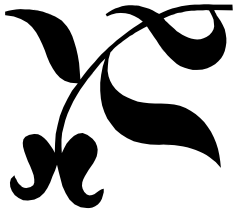
Mon amie : Lamia

Mes chers amis (es)

Et à tous mes camarades de la promotion.

Youwa.





Dédicaces :



*Je dédie ce modeste travail à :
Mes très chers parents sans eux rien n'aurait été
possible.*

*Jamais on n'oubliera, leurs amours, leurs dévouements,
tous leurs sacrifices. On espère pouvoir un jour les
remercier à la hauteur de ce qu'ils nous ont apportés.*

Mes frères : Moumouh, Lyes et Yacine.

Mes chères sœurs : Karima, Kahina

Ma nièce : Numidia

Mon oncle : Hani.

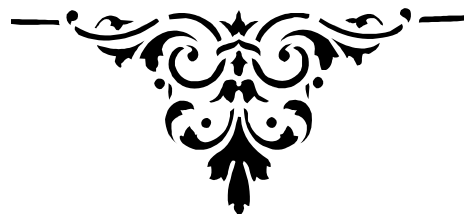
Ma tante Malika.

Mon Binôme Youwa

Et mon cher ami : Massil

Et à tous mes camarades de la promotion.

Ghilas.



Glossaire

- 1G :** 1 ère génération
- 2G :** 2 ème génération.
- 3G :** 3 ème génération.
- 4G :** 4 ème génération.
- 3GPP :** 3rd Génération partenership project.

A

- AuC :** Authentification Center.
- ARQ :** Automatic Repeat Request.
- AMC :** Adaptative Modulation et Coding.

B

- BSS :** Base station subsystem.
- BTS :** Base Transceiver Station.
- BSC :** Base station controler.

C

- CDMA :** Code Division Multiple Access.
- CN :** Core Network.

D

- DL :** Dowlink Link.
- DMRS:** Demodulation Refernce Signal.

E

- EDGE:** Enhaced Data rate For GSM Evolution.
- EnodeB:** Evolved NodeB.
- EPS:** Evolved Paket System.
- eRAB:** E-UTRAN Radio Access.

Glossaire

F

FDMA: Frequency Devision Multiple Access.

FDD: Frequency Devision Duplex.

G

GGSN: Gateway GPRS Support Node.

GSM: Global System for Mobile communication.

GMSC: Gateway MSC.

GPRS: General Packet Radio Service.

H

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.

HLR: Home Location Register.

HARQ: Hybrid ARQ.

HSS: Home Subscriber Server.

I

IP: Internet Protocol.

K

KPI: Key Performance Indicator.

L

LTE: Long Term Evolution.

M

MAC: Medium Access Control.

MME: Mobility Management Entity.

MSC: Mobile services Switching Center.

ME: Mobile Equipment.

Glossaire

MIMO: Multi-Input Multiple-Output.

N

NSS: Network switching Subsystem.

NBR: Nombre de blocs de ressources.

O

OSS: Operation SubSystem.

OMC: Operations and Maintenance Center.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

OFDM: Orthogonal Frequency division Multiplexing.

P

PCRF: Policy and Charging Rules Function.

PDN-GW: Packet Data Network Gateway.

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel.

PCCH: Paging Control Channel.

PBCH: Physical Broadcast Channel.

PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel.

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel.

PUCCH: Physical Uplink Control Channel.

PRACH: Physical Random Access Channel.

PDCCH: Physical Downlink Control Channel..

PRB: Physical Resource Blocks.

PSS: Primary Synchronization Signal

PCI: Physical Cell ID

Q

QoS: Quality of Service.

Glossaire

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

R

RB: Resource Blocks.

RRC: Radio Resource Control.

RNC: Radio Network Controller..

RTC : Réseau Téléphonique Control.

RS : Ressource Signal

S

SIMO: Single Input Multiple Output.

SISO: Single Input Single Output.

SAE: System Architecture Evolution.

SGSN: Serving GPRS Support Node.

SIM: Subscriber Identity Module.

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

S-GW: Serving Gateway.

T

TDMA: Time Division Multiple Access.

TDD: Time Division Demultiplexed.

TS: Time Slot.

U

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

UE: User Equipment.

UL: UpLink.

V

VLR: Visitor Location Register

INTRODUCTION

L'histoire des réseaux mobiles comporte d'importantes étapes, auxquelles on donne couramment le nom de génération. On parle de la première, deuxième, troisième et aujourd'hui, de la quatrième génération de réseaux mobiles, généralement abrégées respectivement en 1G, 2G, 3G et 4G. Ces générations diffèrent principalement par les techniques mises en œuvre pour accéder à la ressource radio.

L'évolution de ces techniques est guidée par la volonté d'accroître la capacité ainsi que les débits offerts par le système d'information.

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

Conçues à l'origine pour offrir un service de téléphonie mobile uniquement, les technologies de communications radio mobiles ont considérablement évolué et permettent désormais une connexion haut débits en situation de mobilité. Les utilisateurs de terminaux mobiles peuvent naviguer sur le web, utiliser leurs applications et services préférés, consulter leurs courriels, télécharger des vidéos, de la musique, partager des photos, tous cela sur le même terminal et en mobilité. Ainsi, la technologie mobile n'est plus un frein sur l'accès aux contenus numériques. Nous faisons face à une véritable révolution.

Dans le cadre de cette révolution, les technologies de télécommunications connaissent une évolution permanente depuis l'apparition des services de la radiotéléphonie cellulaire qui ont aboutis au GSM comme premier pas dans le passage de l'analogie vers le numérique. Dans le GSM contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique.

Ce premier pas a ouvert la porte à des améliorations, dont le but est de répondre aux besoins en termes de capacités de débits. Nous verrons ainsi l'avènement de la 3G qui sera illustré principalement par l'UMTS. Cependant chaque nouvelle génération

Introduction

permet une optimisation de ressources existantes mais se retrouve confrontée à de nouvelles limitations.

En effet. L'augmentation du débit de connexion est devenue nécessaire aux modes de consommation des usagers. Aujourd'hui, le volume des données, échangées par le réseau mobile avec des applications telles que whatsapp, viber et bien d'autres....dépasse de loin celui de la voix.

Par conséquent, les systèmes issus de la 4^{ème} génération devraient favoriser le transfert de données de plus longue portée et à plus grande vitesse. De même, ils permettraient de généraliser des usages tels que la télévision mobile, le téléchargement, le streaming, la vidéo conférence...

La solution pour répondre à ce besoin est d'innover, améliorer, faire de nouvelles découvertes tout en pensant à l'aspect sécuritaire pour le transit des données.

Notre mémoire sera donc scindé en trois chapitres. Le premier chapitre sera consacré sur une brève étude sur l'évolution des réseaux mobiles, l'architecture des réseaux GSM et UMTS et leurs fonctionnement ainsi leurs types de modulation, leurs technologie de transmission de données dans 2G et 3G en terminons avec une introduction sur le LTE, le 2^{ème} chapitre dans cette partie du mémoire nous ferons une étude détaillée sur la 4G nommée le LTE en explorant son objectif, présenter et étudier la trame physique en downlink et uplink puis enfin dans le 3^{ème} chapitre on s'atellera à optimiser les différentes ressources de la trame LTE avec des cas pratiques de chez l'opérateur Mobilis.

I.1-Évolution des Réseaux de Mobiles

La première génération des systèmes de communication mobiles sans fil 1G a été introduite dans les années 70 et la deuxième génération 2G dans les années 80 ont été principalement destinée à la transmission de la voix. Les premiers systèmes avaient utilisé la modulation de fréquence analogique alors que la seconde avait utilisé des techniques de communication numérique avec multiplexage temporel (TDM), multiplexage en fréquence (FDM) ou le Code Division Multiple Access (CDMA). Les systèmes sans fil de troisième génération qui sont juste introduites dans les marchés mondiaux offrent des débits de données beaucoup plus élevés, et permet des améliorations significatives par rapport aux systèmes 2G. Les systèmes sans fil 3G ont été proposées pour fournir des services vocaux, de radiomessagerie et fournir des interactifs multimédias, y compris l'accès à l'internet, la téléconférence et d'autres service. Toutefois, ces systèmes offrent un réseau (WAN) large de couverture étendue, de débit de 384 kbps à 2 Mbps. Ainsi la prestation de services à large bande serait l'un des principaux objectifs des systèmes sans fil 4G.

I.2- Préambule

Le Global System for Mobile Communications (GSM) est une norme internationale. Des réseaux utilisant le GSM dans différentes bandes de fréquence sont maintenant installés dans plus de 150 pays partout dans le monde. Les premiers réseaux GSM ont commencé à opérer en 1992 et la normalisation du système progresse encore.

Les progrès techniques au fil du temps ont permis d'introduire plusieurs nouvelles caractéristiques pour optimiser l'utilisation d'interfaces RF. GPRS, EGPRS (EDGE) et EDGE évolution ont été créés pour fournir des connexions de données à commutation de paquets en raison de la demande croissante de connexions de données et de débits de données plus élevés par connexion.

I-3-Deuxième génération des téléphones mobiles :

I-3-1 GSM

La 2G ou GSM est une norme numérique pour les téléphones portables. Pratiquement, il s'agit d'un réseau permettant une communication de type « voix ». Il est apparu dans les années 90. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage). Ainsi, il contient beaucoup de services tels que l'affichage d'appel, la conférence, ... Il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des mini messages (SMS ou Short Message Service, limités à 80 caractères). Aussi, il autorise le roaming entre pays exploitants le réseau GSM.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, qui permet la transmission de la voix et des données numériques de faible volume, des messages textes (SMS) ou des messages multimédias (MMS).

I-3-2 Les techniques de multiplexages

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

- **Le TDD**

Dans le mode TDD le transfert de données depuis le mobile vers la station de base (Uplink) s'effectue à la même fréquence qu'en sens inverse (Downlink), Les séquences Uplink et Downlink sont séparées dans le temps.

- **Le FDD**

Dans le mode FDD : les liaisons montantes UL (uplink) et descendantes DL (downlink) s'effectuent en même temps, mais sur des fréquences différentes.

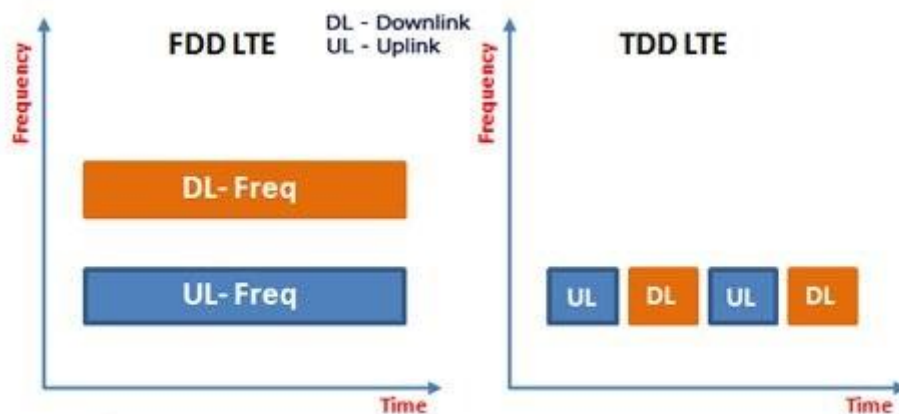


Figure I.1 : Multiplexages FDD , TDD

I-3-3 Architecture réseau GSM + GPRS + UMTS

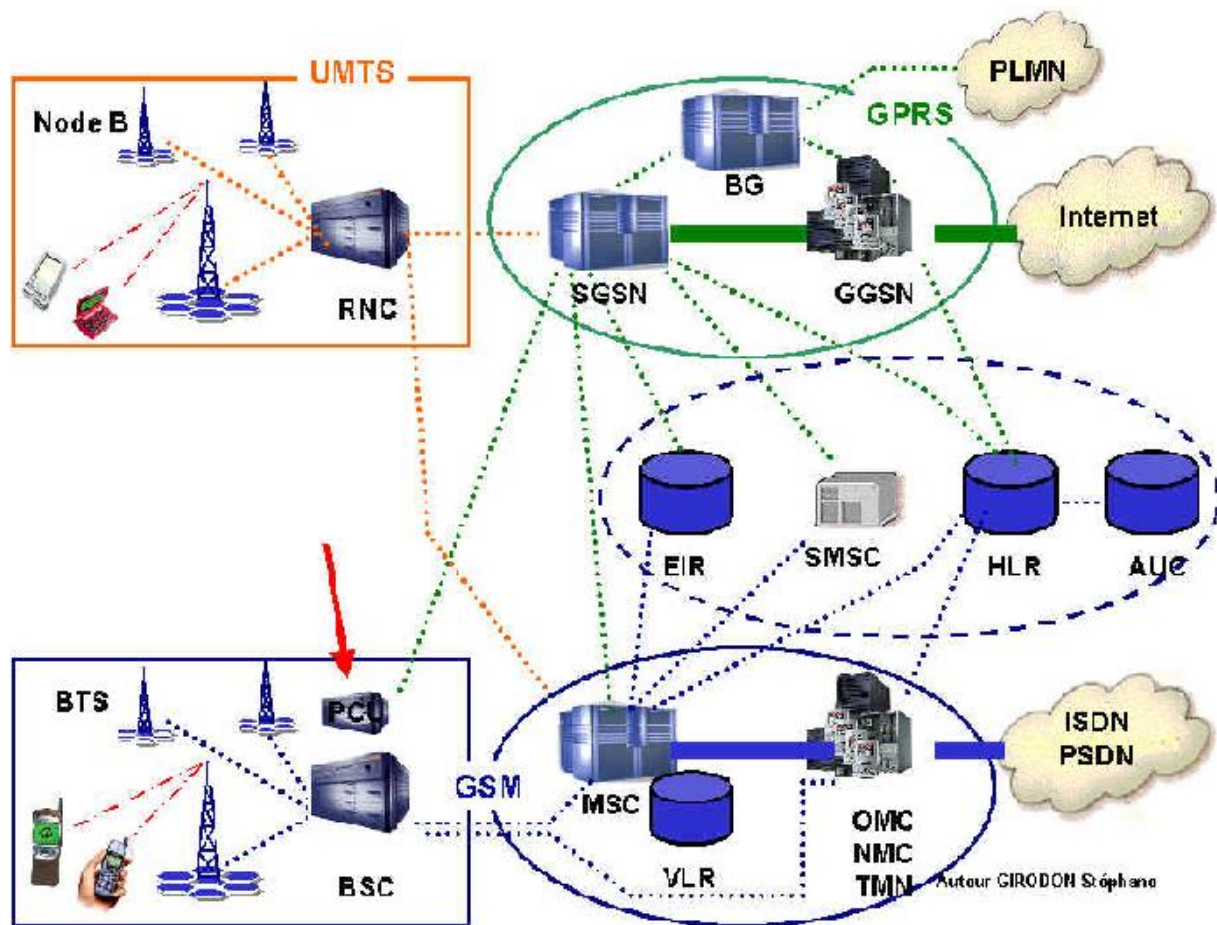


Figure I.2 : Architecture du réseau GSM+GPRS+UMTS

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.

Le réseau GSM est composé de trois sous ensembles :

- Le sous système radio - BSS Base Station Sub-system assure et gère les transmissions radios ·
- Le sous système d'acheminement - NSS Network Sub System (on parle aussi de SMSS Switching and Management Sub-System pour parler du sous système d'acheminement). Le NSS comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour appels et gestion de la mobilité.
- Le sous-système d'exploitation et de maintenance - OSS (Operation Sub-System) qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau.[1]

I-3-3-1 Le sous-système radio (BSS) dans le GSM

Le sous système radio gère la transmission radio. Il comprend les parties suivantes :

a. **Le mobile**

Le téléphone et la carte SIM sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a réalisé l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.

b. **Fonctions de la BTS (Base Transceiver Station)**

Une BTS est composée de plusieurs émetteurs récepteurs appelés <<carte TRX>>. Sa capacité maximale lui permet de gérer une centaine de communications en parallèle. La BTS s'occupe des aspects physique de la transmission : La modulation et démodulation des signaux, le codage correcteur d'erreurs... etc. Elle réalise un ensemble de mesures radio permettant le contrôle de la qualité d'une communication en cours.

Ces informations sont directement envoyées au BSC.

c. **Fonctions du BSC (Base Station Controller)**

Un BSC contrôle une ou plusieurs BTS. Il est chargé de la gestion de la ressource radio : allocations des canaux, procédure de handover.

I-3-3-2 Le sous système réseau NSS(network subsystem)

Le sous système réseau (NSS) est l'interface entre le réseau téléphonique public commuté et les BSCs. Il est constitué de commutateurs et de bases de données utilisateurs. Le NSS est composé des entités fonctionnelles suivantes :

a) **Le commutateur de service mobile (MSC)**

Sont des commutateurs mobiles chargés de l'interconnexion avec les autres réseaux et de la coordination d'appels. [2]

b) **L'enregistreur de localisation nominal (HLR)**

Le HLR (Home local Register) d'un opérateur, est une base de données de localisation des abonnés.

c) **L'enregistreur de localisation d'accueil(VLR)**

Cette base de données contient temporairement des informations sur les abonnés qui visitent une région desservie par un MSC autre que celui où ils sont abonnés.

d) **Le centre d'authentification (AUC)**

Le centre d'authentification AUC, mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer les communications.

I-3-3-3 Le sous système opération et maintenance OSS

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

I-4 Les méthodes d'accès

Les principales méthodes d'accès utilisées par les réseaux mobiles sont la FDMA (Frequency Division Multiple Access) la TDMA (Time Division Multiple Access).

I-4-1 Accès Multiple Par Répartition en Fréquence FDMA

- La bande passante deviser en sou- bandes(canaux).
- Un canal supporte un seul utilisateur.
- Utiliser dans les systèmes analogiques.
- Si un canal FDMA n'est pas utilisé par son utilisateur assigné, il reste idel perte de ressources .

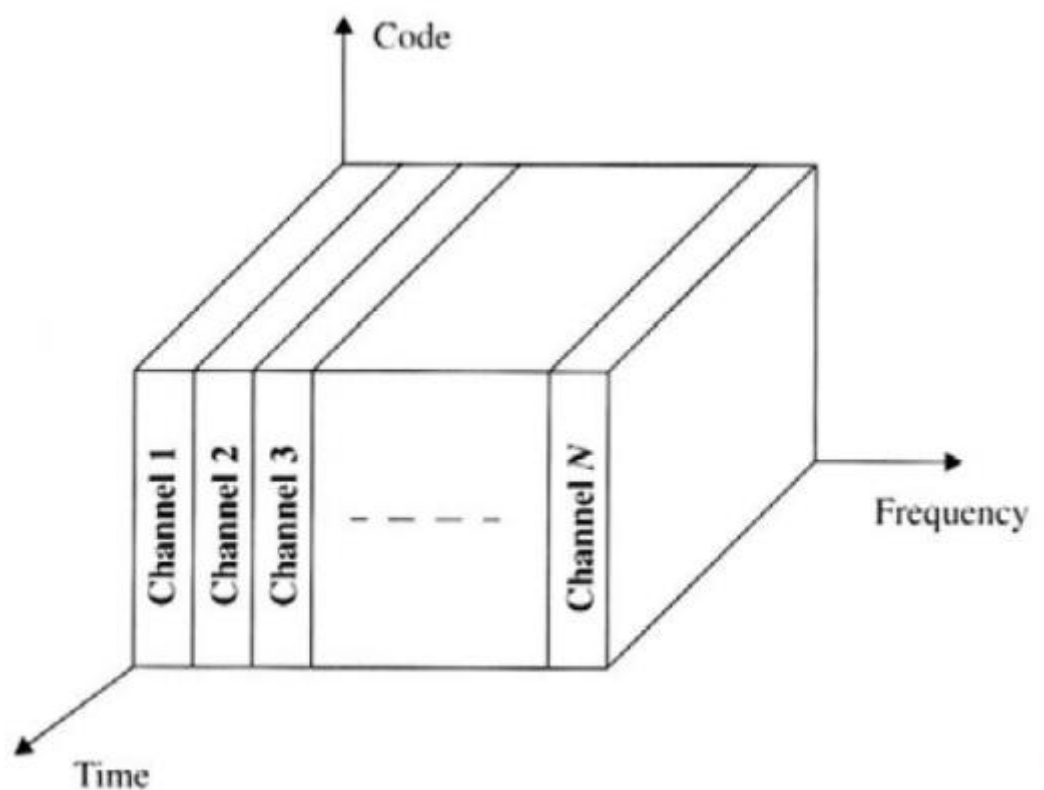


Figure I.3 : Multiplexage FDMA

I-4-2 Accès Multiple Par Répartition en TEMPS TDMA

➤ Principe de base

- Le temps est découpé en sous trames (trames temporelles) de même taille.
- Chaque sous trame est découpée en slots de taille fixe.
- Dans chaque sous trame, chaque station i a le droit d'utiliser N_i slots.
- Tout slot laissé libre par une station ne peut être utilisé par les autres stations.

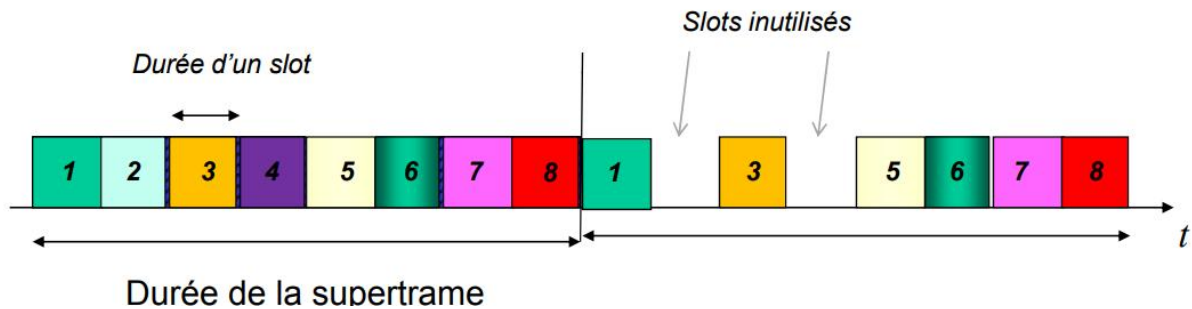


Figure I.4 : Multiplexage TDMA

I-5 La modulation

La technique de modulation utilisée par le GSM est la modulation GMSK, qui est le résultat du filtrage par un filtre gaussien d'une modulation MSK. La modulation GMSK utilise 1 bit pour 1 symbole, soit $12\text{kbps} + 8\text{b}$ de codage = 20kbps . Les données binaires (0 ou 1) à transmettre modulent la phase de la fréquence porteuse. La fréquence évolue plus lentement mais de façon plus lisse.

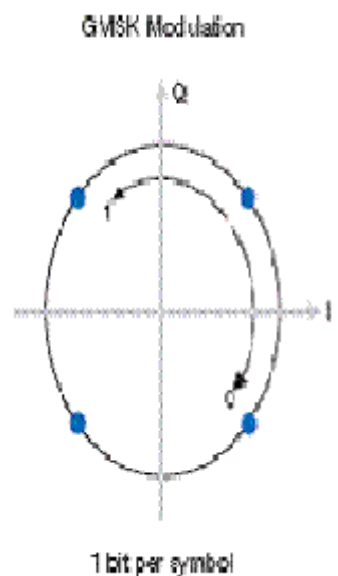


Figure I-5 : Modulation GMSK

Au bout du compte, il faut une largeur de 200 [kHz] par fréquence porteuse. Sachant que le débit atteint 270 [kb/s], on atteint un rapport du débit à largeur de bande, appelé efficacité spectrale, proche de 1. Cette valeur est typique pour des environnements mobiles, ce qui signifie que, pour doubler le débit, il n'y a d'autre solution que de doubler la largeur de bande.[3]

I-6 Système de radiocommunication cellulaire

I-6-1 Concept cellulaire

Un système de radiotéléphonie utilise une liaison radioélectrique entre le terminal portatif (mobile station MS) et le réseau téléphonique. La liaison radio entre le téléphone mobile et le réseau doit être de qualité suffisante, ce qui nécessite la mise en place d'un ensemble de stations de base (BTS) sur l'ensemble du territoire que l'on souhaite couvrir, de telle sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles.

Ce que l'on appelle une cellule, c'est la surface sur laquelle le téléphone mobile peut établir une liaison avec une station de base déterminée. Le principe consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules desservies par un relais radioélectrique (la BTS) de faible puissance, émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines. Ces cellules doivent être contiguës sur la surface couverte. Evidemment, le nombre de fréquences accordées au système GSM étant restreint, l'opérateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telle sorte que deux communications utilisant la même fréquence ne se brouillent pas.

I-6-2 Les fonctions du réseau cellulaire

- Gestion des ressources radio RRM(radio resource management).
- Sélection de la cellule (choix de la porteuse), ouverture d'une connexion, Handover, contrôle en cours de communication.
- Gestion de la mobilité MM(mobility management).
- Gestion de la sécurité.
- Etablissement et relâchement des appels .

I-7 Le Handover

Le Handover (HO)est un mécanisme de transfert automatique intercellulaire qui assure la continuité de service aux mobiles. Il permet d'éviter les coupures de communication en bordure de cellule et réduit significativement l'interférence créée par le réseau.

I-7-1 Les types de Handover

- Le softer\soft handover

Le softer Handover se passe quand le mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux secteurs adjacents d'un même Node B. Quant au soft Handover, c'est une transition entre deux cellules de deux stations de bases différentes.

Le mécanisme de softer\soft handover consiste à établir un lien avec la cellule cible et ensuite de couper le lien de la cellule d'origine, ce qui permet de réduire d'une manière considérable le taux de coupure de communication lors des transitions entre les cellules.

- LE Hard Handover

Il existe deux types de Hard Handover :

- a. Le Hard Handover inter-fréquences qui permet à un terminal mobile de passer d'un spectre de fréquence à un autre au sein du même réseau.
- b. Le Hard Handover inter-système qui permet au terminal mobile de passer d'un système à un autre ou pour passer du système LTE à un système GSM.

I-8 Le paging

Le paging est un message de recherche pour éventuel établissement d'appel envoyé par le BSC aux BTS situé dans une zone de localisation. Ces BTS diffusent ce message sur l'interface air sur le canal PCH. La recherche du MS s'effectue en utilisant le numéro IMSI ou TMSI.

I-9 L'infrastructure d'un réseau PS

I-9-1 Présentation de l'infrastructure d'un réseau PS

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Le réseau donc est constitué de routeurs IP l'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le nœud de service-le SGSN.
- Le nœud de passerelle-leGGSN.

Une troisième entité :

- Le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité.

Le GPRS vient d'ajouter un certain nombre <<module>> sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certain 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. Le GPRS est en mode paquets.

I-9-2 Les équipements d'un réseau PS

- 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 présent dans une zone donnée. Le SGSN le <<contrôleur>> des terminaux GPRS dans sa zone de surveillance.

- 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 des paquets de données :

- Paquet entrant d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire.
- Paquet sortant vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

NB : Les termes SGSN et GGSN désignent des entités fonctionnelles qui peuvent facilement être implantés dans un même matériel. L'ensemble des SGSN, des GGSN, des routeurs IP et des liaisons entre équipements est appelé réseau fédérateur GPRS. A noter enfin que chaque SGSN et chaque GGSN dispose au minimum d'une adresse IP fixe au sein du réseau.

- Le module BG pour la sécurité

Les recommandations introduisent le concept de BG (Border Gateway) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux.

Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiées par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobil Network) permettant de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (entre 2 réseaux et 2 opérateurs concurrents par exemple...).

- Le mobile

L'usage attendu par le réseau PS et la possibilité de consulter de manière interactive des serveurs. Cela nécessite donc un débit plus important sur la voie descendante que sur la voie montante. L'opérateur propose généralement un terminal GSM-PS capable de gérer les communications voix et Data à des débits acceptable.

I-9-3 L'acheminement en mode paquet :

Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le réseau d'accès (Station de base + contrôleur de station de base) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire.

Le routage vers des terminaux (terminal mobile vers terminal mobile ou terminal mobile vers terminal fixe) utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles de tunnel. Les données reçues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le mobile destinataire.

I-10 Le Standard EDGE(2.75G)

Le standard EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution.*) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE.

EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM (EDGE utilise la modulation 8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.

I-10-1 Modulation 8-PSK

L'EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM (EDGE utilise la modulation 8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.

EDGE emploie trois techniques pour augmenter la capacité sur la liaison radio. La première technique est l'introduction d'un nouveau schéma de modulation, Octogonal Phase Shift Keying (8PSK). Un signal 8PSK est capable de transporter trois bits par symbole alors que le codage à décalage minimum gaussien standard GSM (GMSK) porte seulement 1 bit par symbole. Cela signifie que le débit de données par tranche de temps va tripler.

Une comparaison de GSM GMSK et de 8-PSK est donnée dans le tableau ci- dessous.

	GSM\GMSK	EDGE\8PSK
TAUX DE SYMBOLE	270.833Kbs	270.833Kbs
Bits\symbole	1	3
Débit binaire par intervalle De temps	22.8Kbs	68.4Kbs

Tableau I.1 : comparaison de GSM GMSK et de 8-PSK

Chapitre I : Evolution des réseaux mobiles de GSM vers LTE

Le débit binaire dans le tableau est le débit binaire brut. Une partie des bits est utilisée pour la correction d'erreur. Dans un canal GSM standard, seuls 9,6 kbps (circuit commuté) ou 9,05 kbps (commutation par paquets) sont disponibles pour l'utilisateur pour les données.

La seconde technique consiste à utiliser différents schémas de codage de correction d'erreur. La quantité de correction d'erreur peut varier en fonction de la qualité de la liaison radio. Dans EGPRS, neuf schémas de codage différents sont définis; cinq schémas de codage pour 8-PSK et quatre schémas de codage pour GMSK. Ces schémas de codage sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Modulation et Schéma de codage	Modulation données par de temps (kbps)	Taux de intervalle
MSC-1	GMSK	8.8
MSC-2	GMSK	11.2
MSC-3	GMSK	14.8
MSC-4	GMSK	17.6
MSC-5	8-PSK	22.4
MSC-6	8-PSK	29.6
MSC-7	8-PSK	44.8
MSC-8	8-PSK	54.4
MSC-9	8-PSK	59.2

Tableau I.2 modulation et codage EGPRS.

Si tous les 8 intervalles de temps sont utilisés, le débit maximal atteindra 473,6 kbps.

La troisième technique est appelée adaptation de lien. L'adaptation de liaison signifie que la qualité de liaison radio est mesurée par la station mobile dans un transfert de liaison descendante ou par la station de base dans un transfert de liaison montante pour sélectionner le schéma de codage de modulation le plus approprié pour la transmission de la séquence de paquets suivante. Cela augmente la probabilité d'une transmission réussie.

Pour introduire EDGE dans un réseau GSM existant, les stations de base (et les stations mobiles) doivent être mises à niveau. L'augmentation du débit de données ne vient pas gratuitement, le prix payé étant la vulnérabilité accrue du signal 8-PSK. Cela affecte, par exemple, la planification du réseau radio, et les débits de données les plus élevés ne peuvent être fournis avec une couverture limitée.

I-11 La troisième génération (3G)

Le réseau UMTS (Universal Mobile For Telecommunication System) est une norme cellulaire de troisième génération, le réseau UMTS souligne l'avènement d'une nouvelle ère dans le domaine de la télécommunication. Le concept et l'idée d'une troisième génération a émergé au cours de l'année 1991 et le premier réseau UMTS fut déployé en Norvège en 2002.

Ce qui rend cette technologie si exceptionnelle, n'est autre que les nouvelles technologies qu'elle déploiera, aussi elle dévoilera une architecture inédite élargira la notion de service tout ceci marqué par des débits conséquents, allant jusqu'à 2Mbits/s ; Aussi l'UMTS représente une solution concrète pour le problème de saturation et de congestion du réseau.

I-11-1 Le réseau UMTS

Le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur.

1. Le réseau d'accès radio (UTRAN)

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.

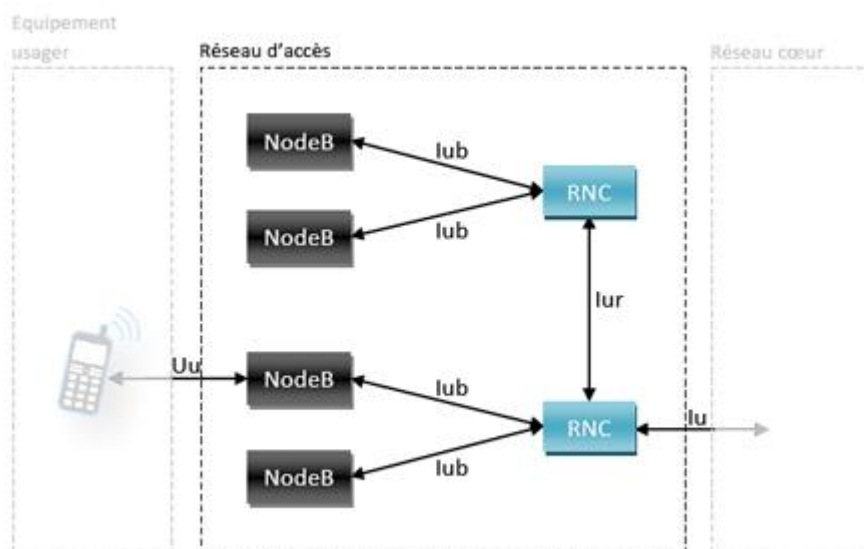


Figure I.6 Architecture du réseau d'accès

a. Node B

Le rôle principal du NodeB 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 NodeB travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage).

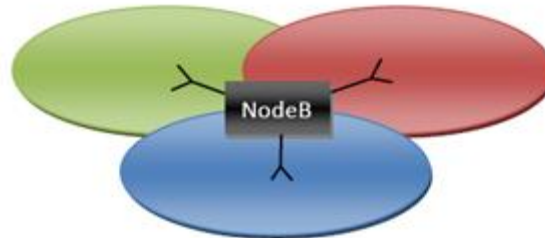


Figure I.7 eNodeB

b. RNC

Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes). Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

c. Les interfaces de communication

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.

2. Le réseau cœur (CN)

- Le **3G-SGSN** possède des fonctionnalités similaires au MSC/VLR mais est utilisé pour les communications paquet. La partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée **domaine paquet**.
- Le **3G-GGSN** possède des fonctionnalités très proches de celles du GMSC mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet.

Quant aux réseaux externes, ils se scindent en deux catégories :

- Les réseaux circuits tels que le Réseau Téléphonique Commuté Public (RTCP) ou le Réseau Numérique à Intégration de Services (RNIS)
- Les réseaux paquet tels que le réseau Internet et d'autres réseaux de transmission de données.

I-12 Les principes du W-CDMA

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

I-12-1 CDMA

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est utilisé dans de nombreux systèmes de communication. Il permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même onde porteuse. Les transmissions sont numérisées, dites à étalement de spectre. L'étalement du spectre rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquence. Le signal est ainsi transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire. [4]

I-13 Principe de L'Étalement de spectre

Le W-CDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe (Direct Sequence).

Pour cela, chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (OU exclusif) par un code pseudo aléatoire PN (Pseudo random Noise code) propre à cet utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour cet utilisateur, et constitue la clé de codage. Cette dernière est conservée si le symbole de donnée est égal à 1, sinon elle est inversée. La longueur L du code est appelée facteur d'étalement SF (Spreading factor). Si chacun des symboles a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/N secondes. Le nouveau signal modulé a un débit N fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences N fois plus étendue.

- **Remarque**: plus le facteur d'étalement SF est élevé, plus le Débit Chip sera élevé. Cela implique que le débit de données du canal sera élevé. Les canaux à débits variables peuvent être libérés en fonction des besoins de l'utilisateur.

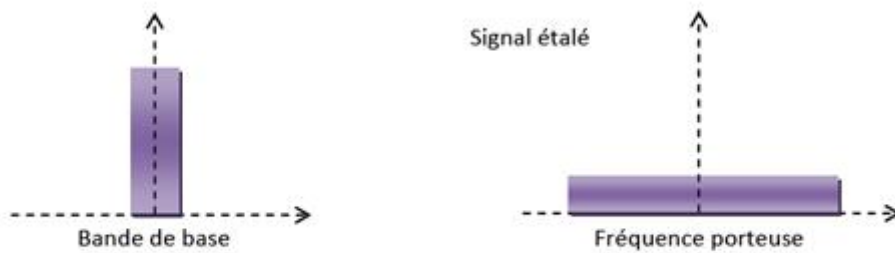


Figure I.8 : Principe de l'étalement de spectre

Afin de pouvoir lire le message codé envoyé, le récepteur doit réaliser la même opération. En effet, ce dernier génère la même séquence d'étalement qu'il multiplie au signal reçu afin d'obtenir les données. Les données des autres utilisateurs (pas de multiplication avec la séquence d'étalement) restent étalées.

I-14 Principe du multiplexage par des codes orthogonaux

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

L'arbre des codes OVFSF ainsi créé peut être représenté sous la forme de la matrice de Hadamard.

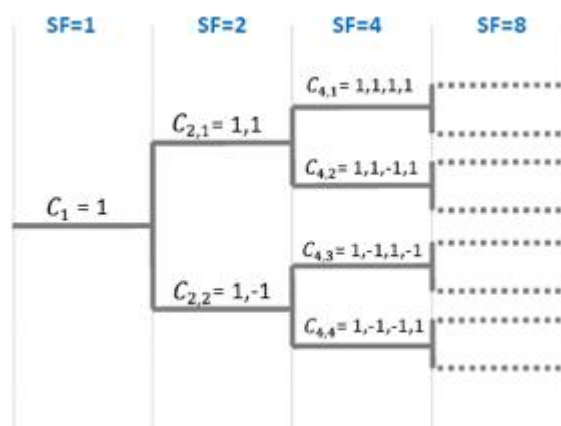


Figure I.9 : Arbre des codes OVFSF

Chapitre I : Evolution des réseaux mobiles de GSM vers LTE

L'arbre ci-dessus, nous montre la relation entre le facteur d'étalement et le nombre de codes disponibles pour un étalement donné. Il est important de s'avoir que le facteur d'étalement SF détermine la longueur du code.

Le nombre de bits dans les trames des canaux dédiés pour le transfert des données se trouve par l'intermédiaire de la relation suivante :

$$SF = \frac{256}{2^k} \quad \text{avec } 0 \leq k \leq 6$$

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

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

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

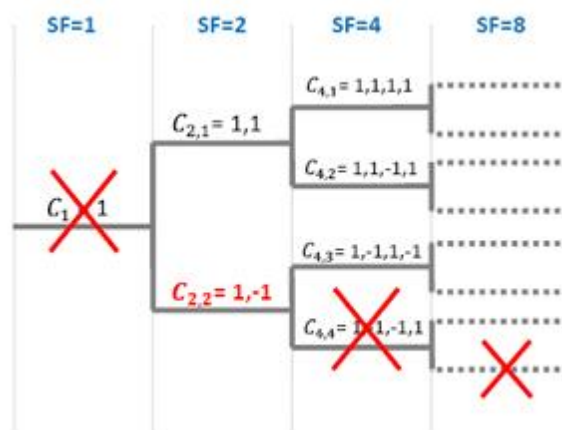


Figure I.10 : Utilisation des codes OVSF

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

I-15 Codes d'étalement

❖ Le code d'étalement (Spreading)

Gère le multiplexage de plusieurs canaux d'une seule source (Station de base, Mobile avec services multiples). Chaque source peut utiliser l'ensemble des codes.

❖ Le code mélangeur (Scrambling)

Un code spécifique à chaque source, utilisé comme signature d'une source. Le scrambling, réalisé par l'émetteur, permet de séparer les différents signaux d'une même station de base ou d'un même terminal sans modifier ni le débit, ni la bande passante. Cela permet d'étalement un signal par plusieurs émetteurs avec le même code d'étalement sans compromettre la détection des signaux par le récepteur.

I-16 Le contrôle de puissance

Le contrôle de puissance. Le système de contrôle rapide en boucle fermée (Closed-loop Power Control) a été retenu pour le W-CDMA. Ce système permet à la station de base de réaliser des estimations régulières (1500 fois par seconde pour chaque mobile) du rapport signal à interférence (Signal to Interference Ratio) en les comparant avec la valeur du rapport signal à interférence du destinataire.

Si l'estimation de cette valeur est supérieure à la valeur du destinataire, la station de base demande à l'appareil mobile concerné de réduire sa puissance d'émission ou de l'augmenter.

Le contrôle de puissance permet à la station de base de recevoir les signaux de même puissance. Ce mécanisme permet de prendre en compte tout type de variation d'affaiblissement.

Le schéma ci-dessous illustre ce phénomène de near-far. En effet, nous avons 3 équipements mobiles qui sont connectés à la même station de base. Cependant, du fait de leur distance à celle-ci, leur puissance est différente à l'arrivée du signal à la station de base.

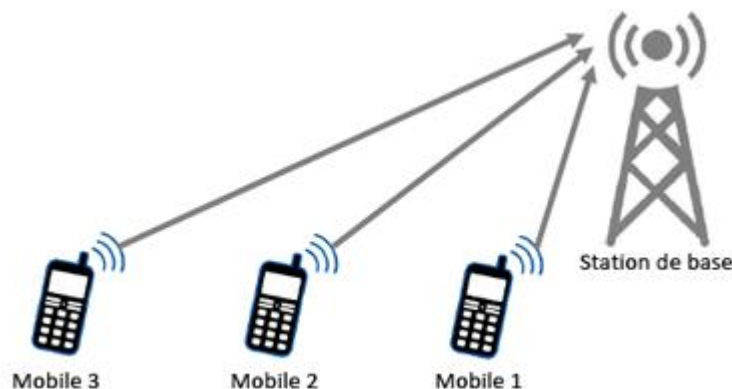
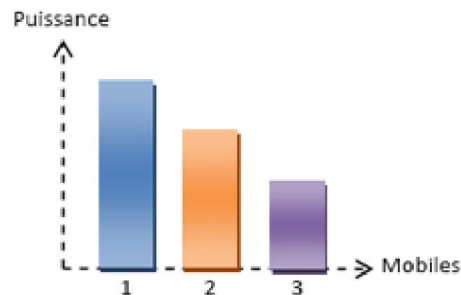


Figure I.11 : Effet near-far

Les deux schémas ci-dessous présentent les puissances reçues par la station de base sans et avec contrôle de puissance :

- **Sans control de puissance**



Puissance Mobile 1 > Puissance Mobile 2 > Puissance Mobile 3

Figure I-12 : Comparaison des puissances sans contrôle de puissance

- **Avec control de puissance**



Puissance Mobile 1 = Puissance Mobile 2 = Puissance Mobile 3

Figure I.13 : Comparaison des puissances avec contrôle de puissance.

I-17 élément de canal(CE)

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).

I-18 RTWP

RTWP est lié 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. [5]

En UMTS, 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.[5]

I-19 L'évolution de l'umts

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

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

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

- a. HSDPA(*High Speed Downlink Packet Access*) pour la voie descendante**

utilise le protocole d'accès par paquets en liaison descendante haute vitesse pour le trafic de téléchargement. HSDPA prend en charge des débits de données théoriques maximum entre 1,8 Mbps et 14,4 Mbps (par rapport au débit maximum de 384 Kbps de la 3G d'origine). Lorsqu'elle a été introduite, elle offrait une amélioration de vitesse tellement importante par rapport à la 3G plus ancienne que les réseaux basés sur HSDPA étaient appelés 3.5G ou Super-3G.

La norme HSDPA a été ratifiée en 2002. Elle utilise la technologie AM qui ajuste dynamiquement les transmissions en fonction de la charge globale du réseau.

- b. HSUPA : (*High Speed Uplink Packet Access*) pour la voie montante**

L'accès haut débit par paquets montés fournit des augmentations de vitesse pour les téléchargements de données d'appareils mobiles sur des réseaux 3G similaires à HSDPA pour les téléchargements. HSUPA prend en charge les débits de données jusqu'à 5,7 Mbps. Par conception, HSUPA n'offre pas les mêmes débits de données que HSDPA, car les fournisseurs fournissent la majorité de leur capacité de réseau cellulaire pour les liaisons descendantes afin de correspondre aux habitudes d'utilisation des utilisateurs de téléphones portables.

HSUPA a été introduit en 2004, après HSDPA. Les réseaux qui ont finalement supporté les deux sont devenus connus sous le nom de réseaux HSPA.

- c. HSPA+ (*High Speed Packet Access+*)**

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008).

L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DCHSDPA (Dual Carrier – HSDPA). Le spectre

supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés.

De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales.

Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G.

I-20 CONCLUSION

L'histoire des réseaux mobiles est jalonnée par trois étapes principales, auxquelles on donne couramment le nom de génération. On parle des première, deuxième et troisième générations de réseaux mobiles, généralement abrégées respectivement en 1G, 2G et 3G. Ces trois générations diffèrent principalement par les techniques mises en œuvre pour accéder à la ressource radio. L'évolution de ces techniques est guidée par la volonté d'accroître la capacité ainsi que les débits offerts par le système dans une bande de fréquences restreinte. D'autres candidats, comme LTE (Long Term Evolution) ou 4G préparent également la période de ceux que certains appellent déjà la Super 3G.

Donc, dans ce chapitre on a présenté des généralités sur les différents réseaux cellulaires, et on a observé une amélioration remarquable dans le débit après chaque réseau qui apparut et aussi l'évolution dans la qualité de communication, surtout après l'apparition de UMTS. Dans le chapitre suivant on va étudier un réseau très important qui donne à le monde un saute vers le téléchargement assez rapide des données c'est le réseau LTE.

I- Introduction

La planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser de façon optimale, en respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Ce processus qui peut être à la fois long et coûteux a lieu avant la mise en opération du réseau.

Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G) et de troisième génération (3G), les réseaux de prochaine génération orientent la planification des réseaux cellulaires vers de nouvelles avenues de recherche. En effet, les tendances portent de plus en plus vers une intégration transparente des technologies sans fil existantes, comme les systèmes GSM, LAN en un environnement totalement hétérogène. Cette nouvelle vague de pensée distingue la 4^{ème} génération des générations précédentes, où seul primait le besoin de développement de nouvelles normes et de nouveaux standards. Les systèmes 4G sont complètement orientés vers l'utilisateur final, en fournissant des services variés à haut débit et sans coupure à travers les réseaux. Toutefois, la migration des systèmes actuels vers la 4^{ème} génération constitue un énorme défi. Dans la littérature travaux abordent ce problème en considérant plusieurs aspects.

II-1 Définition

Les nouvelles normes LTE visent à améliorer l'efficacité spectrale, à diminuer la latence, à augmenter la performance du réseau, à offrir des débits élevés en situation de mobilité à grande ou faible vitesse, à faciliter l'interconnexion et l'interopérabilité entre différentes technologies existantes et à réduire les coûts de déploiement et d'exploitation en introduisant de nouvelles architectures et technologies. Le LTE est basé sur des techniques radios telles que la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant, la technique SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant et la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output) pour l'émission-réception. Les largeurs de bande du LTE peuvent s'étendre de 1,4 à 20 MHz en liaison montante comme en liaison descendante, ce qui permet à un opérateur d'adapter cette technologie aux bandes de fréquence qu'il possède. En outre, l'architecture MIMO contribue à augmenter les débits de transfert de données du LTE en autorisant plusieurs antennes émettrices réceptrices.

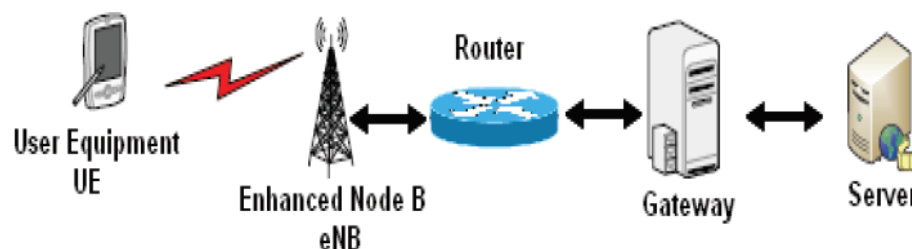


Figure II.1 : Présentation générale sur le système LTE

II-2 L'objectif de la 4G LTE

La 4^{ème} génération vise à améliorer la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité entre totale à l'utilisateur en établissant.

L'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants :

- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la perte de paquets.
- Minimiser le cout de signalisation.
- Assurer la continuité de la session en cours.

II-3 Architecture de LTE

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

La figure II.2 présente l'architecture du réseau LTE.

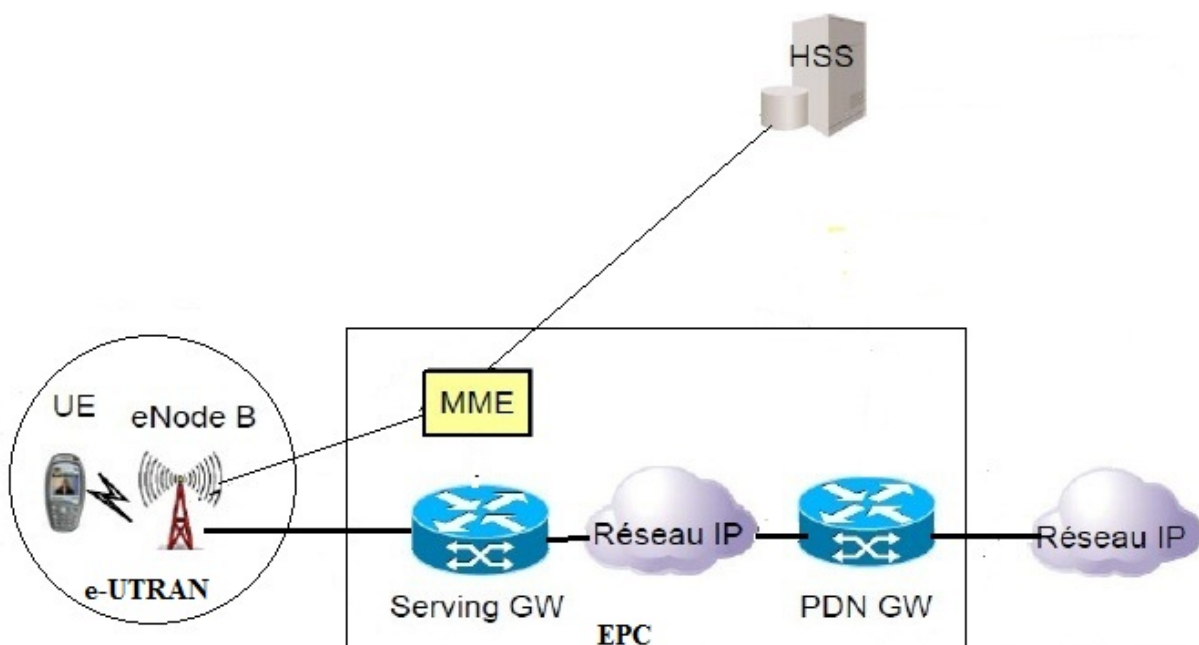


Figure II.2: Architecture général du LTE

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

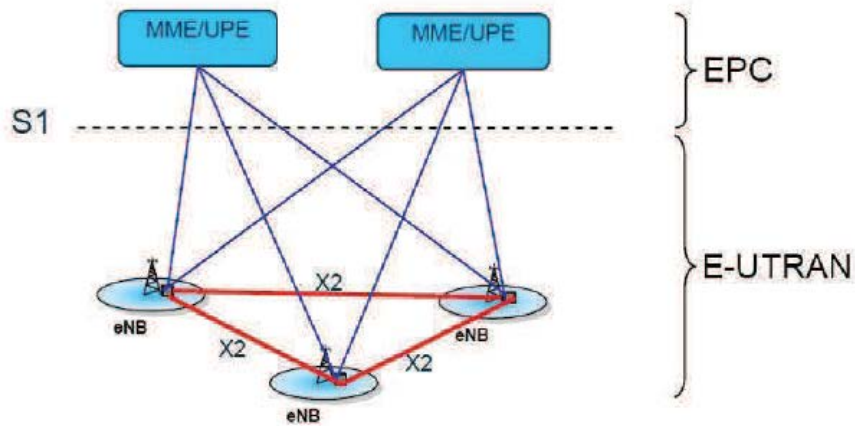


Figure II.3: Architecture d' EPS (Evolved Packet System)

II-3-1 EPC Evolved Packet Core

Connu aussi sous le nom de SAE (System Architecture Evolution), l'EPC représente le réseau cœur de LTE. Il se compose d'équipements devant supporter la connectivite tout-IP entre les domaines multi-technologiques dans l'architecture 4G. Il assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service et la gestion de la sécurité, au moyen des équipements tels que le MME, le SGW, PDN-GW (Packet Data Network Gateway) et le PCRF (Policy and Charging Rules Function).

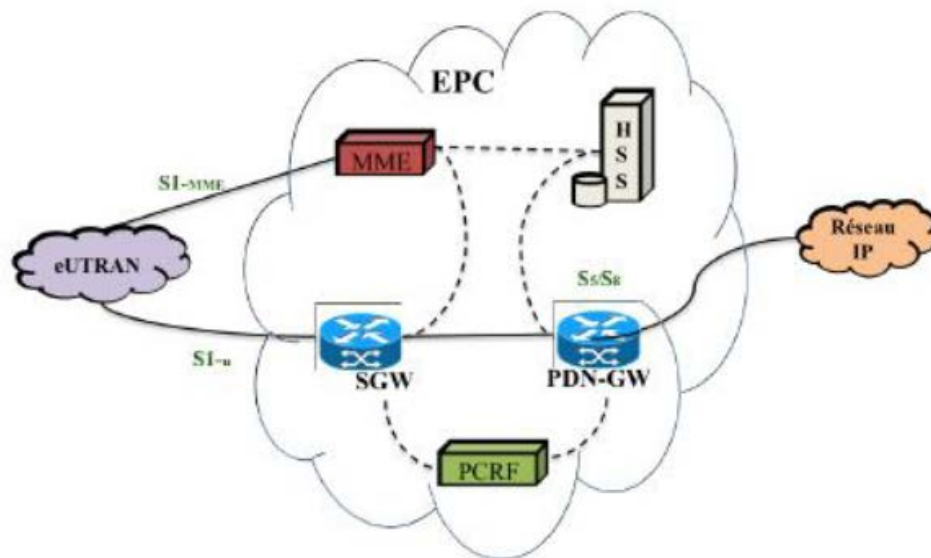


Figure II.4 : Architecture du réseau cœur EPC.

Les différents entités du réseau cœur ainsi leur rôle

➤ **HSS (Home Subscriber Service)**

HSS est une base de données contenant les profils des abonnés, les services souscrits par ces derniers, ainsi que les informations de sécurité.

➤ **MME(Mobility Management Entity)**

Cette entité permet l'authentification des abonnés grâce à la base de données HSS, Le MME s'occupe de tout ce qui est signalisation elle contrôle le signale entre le UE (Utilisateur Equipment) et le cœur réseau, elle gère aussi tous les procédures (authentification, chiffrement, mobilité).

➤ **SGW (Serving Gateway)**

Joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux, et ainsi responsable du routage des paquets.

➤ **PDN-GW (Packet Date Network GateWay)**

Packet-Switch GetWay(P-GW) Fournit la connectivité au terminal mobile(UE) vers le paquet externe du réseau de l'information.

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

Le PCRF c'est une entité responsable sur la décision principale du contrôle. Il fournit une qualité de service d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

II-3-2 La partie radio eUTRAN

Le cœur du réseau se compose plusieurs nœuds logiques tandis que le réseau d'accès contient seulement un nœud logique qui s'appelle eNB. En comparaison avec l'UMTS, on a éliminé le RNC (Radio Network Controller) et installé les fonctions de RNC dans les eNBs . Cela permet d'améliorer l'efficacité et de diminuer la latence du réseau en augmentant l'interaction entre les protocoles dans l'E-UTRAN. Cette partie radio du réseau, est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base eNodeB avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux.

Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers cœur évolué.

➤ ENodeB

L'ENodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, elle est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.

II-3-3 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

➤ Définition

L'IP Multimédia Sub-system (IMS) est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles.

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif de l'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement que depuis chez eux. Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux internautes IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire ; Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.

➤ Exemple de services de l'IMS

-Echange de fichiers pendant un appel.

-Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel au il passe ses vacances.

-Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de L'appelant.

-Messagerie instantanée et vidéo conférence.

II-4 Les caractéristique de la 4G

II-4-1 Les fréquences utilisées

Les bandes de fréquences hertziennes prévues par les normes 3GPP pour le LTE sont très nombreuses (plus de 30) et s'étalent de 600 MHz à 3.8 GHz.

Celles situées dans la zone des 800 et 900 MHz sont utilisables sur tout le territoire et particulièrement dans les zones rurales car elles ont une plus grande portée que les ondes radio de fréquences plus élevées. Le rayon de couverture de chaque cellule est variable, allant

de quelques centaines de mètres (débits optimaux en zones urbaines) jusqu'à 30 à 50 km (zones rurales).

II-4-2 Latence

La latence est l'un des caractéristiques le plus important qui est relié à la vitesse, et il est mesuré en millisecondes.

Les réseaux 4G LTE sont rapides ; en fait, ils sont jusqu'à 10 fois plus rapide que les réseaux 3G existants, fournir des données aux appareils sans fil à des taux de 5 à 12 mégaoctets par seconde en liaison descendante et de 2 à 5 mégaoctets par seconde sur la liaison montante

La latence du système se traduit par sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se décline en latence de plan de contrôle et latence du plan usager.

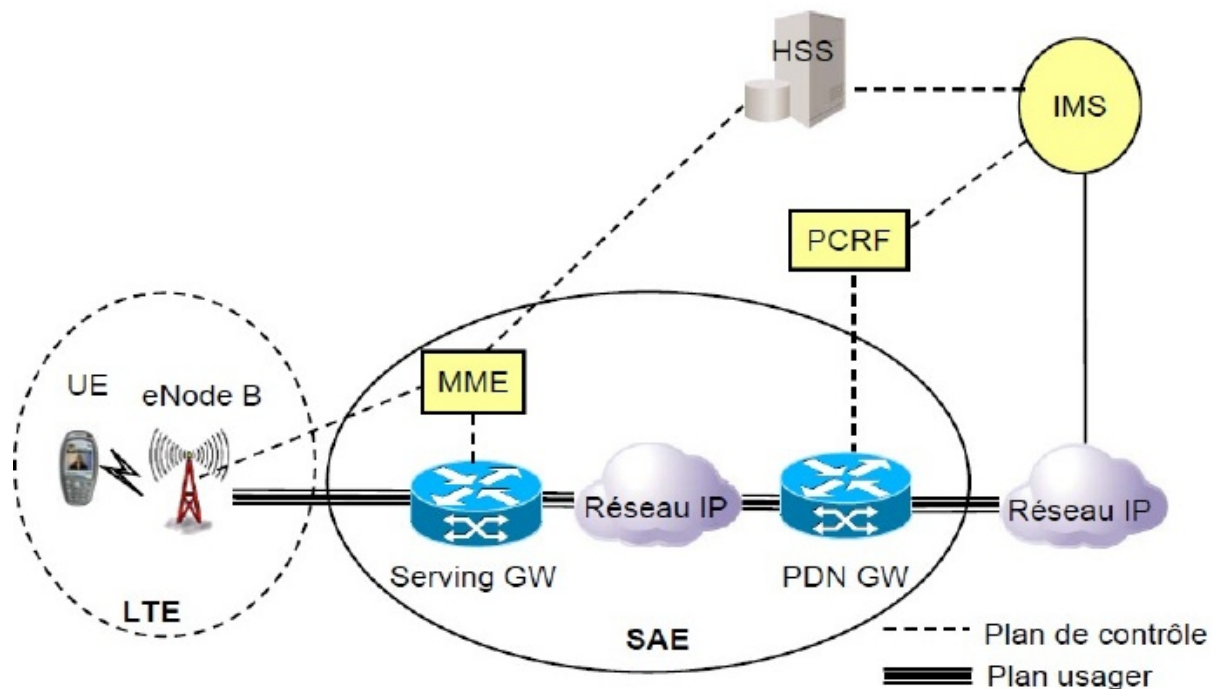


Figure II.5 : le plan usager et le plan de contrôle

- **Latence du plan de contrôle**

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

- **Latences du plan usager**

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

II-4-3 Technique d'accès

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

II-4-3-1 L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Le Principe de l'OFDM consiste à répartir le signal numérique sur grand nombre de sous-porteuses orthogonales, avec l'ajoute d'un préfixe cyclique entre symboles OFDM pour éviter leurs interférences.

II-4-3-2 L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)

L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technique de multiplexage et de codage des données utilisées principalement dans les réseaux téléphoniques mobiles de 4ème génération. Ce codage radio associe les multiplexages en fréquence et temporel; c'est-à-dire les modes (Frequency Division Multiple Access FDMA) et (Time-Division Multiple Access TDMA).

L'OFDMA et sa variante SF-FDMA sont dérivées du codage OFDM, mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs nombreux utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO.

La différence entre l'OFDM et l'OFDMA c'est que le premier servira un usager dans un intervalle de temps, par contre OFDMA elle peut servir plusieurs usagers dans un même intervalle de temps, comme le montre la figure ci-dessus.

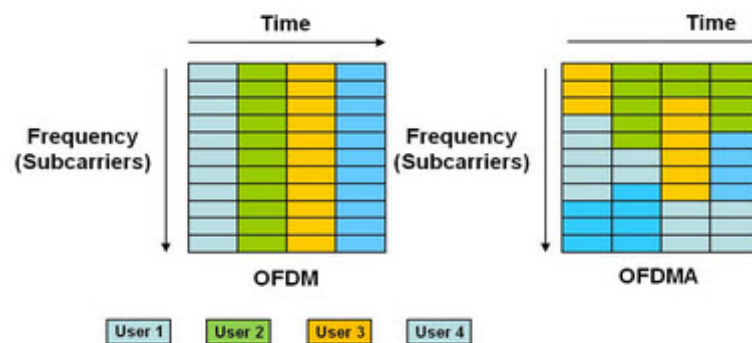


Figure II.6 : La différence entre OFDM et OFDMA

➤ Principe de l'OFDMA

Le principe de l'OFDMA consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (par exemple, des émetteurs) indépendants et à des fréquences différents.

II-4-3-3 SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access)

Le Single-Carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de la 4G LTE.

Comme pour d'autre technique à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio comme (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans les sens ou il consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique.

II-4-3-4 La différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA

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.

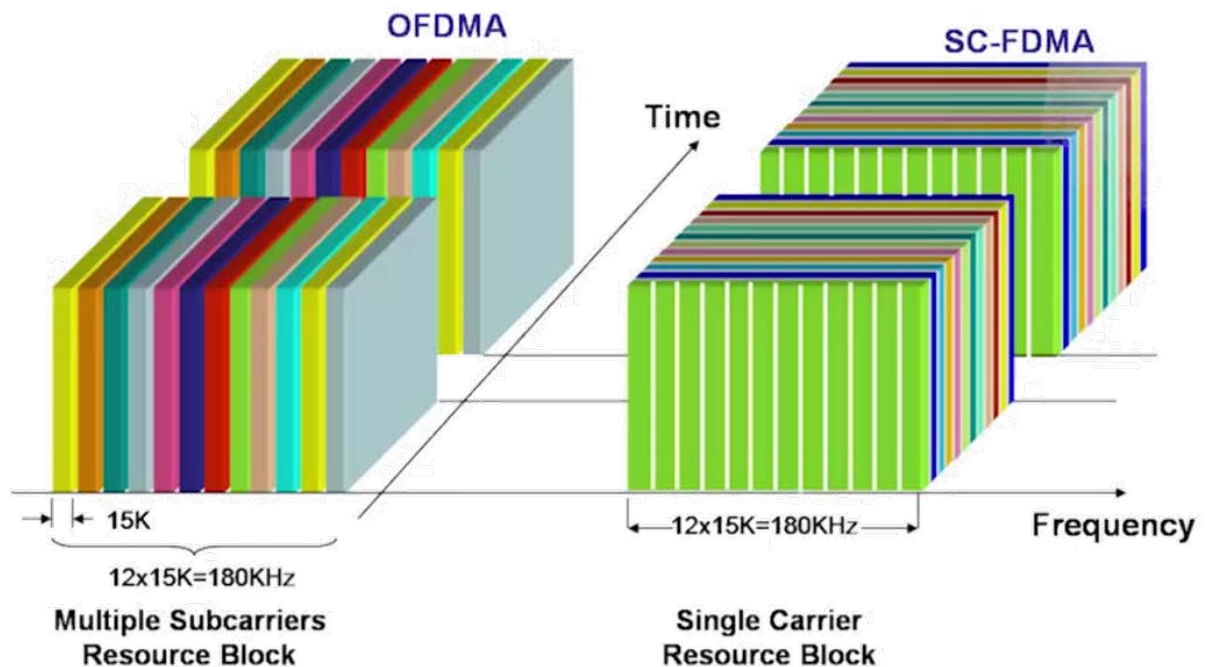


Figure II.7 La différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA

II-5 Structure de la trame LTE

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1 ms. Chaque sous trame est divisée en deux slot est chaque slot dure 0,5 ms et chaque slot contient 7 symboles.

En LTE, l'espace temps / fréquence est divisé en PRB (Physical Resource Bloc) de 180 KHZ, chaque PRB est composé de 12 sous porteuse consécutives de 15 KHZ chacune pour un slot.

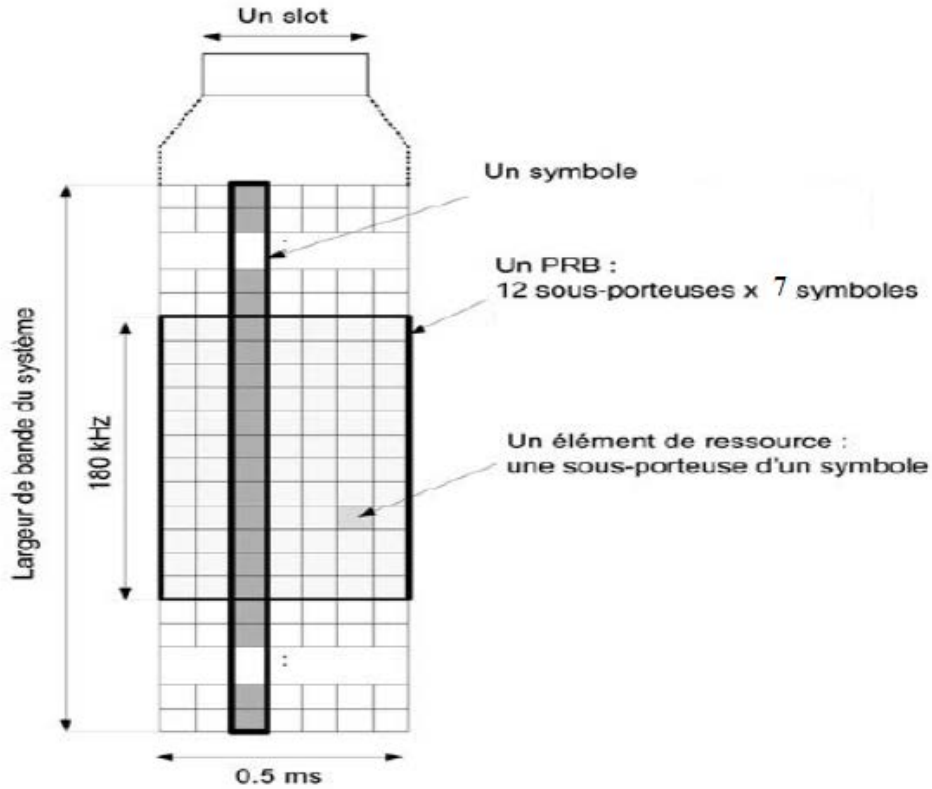


Figure II.8 : Bloc de ressources LTE

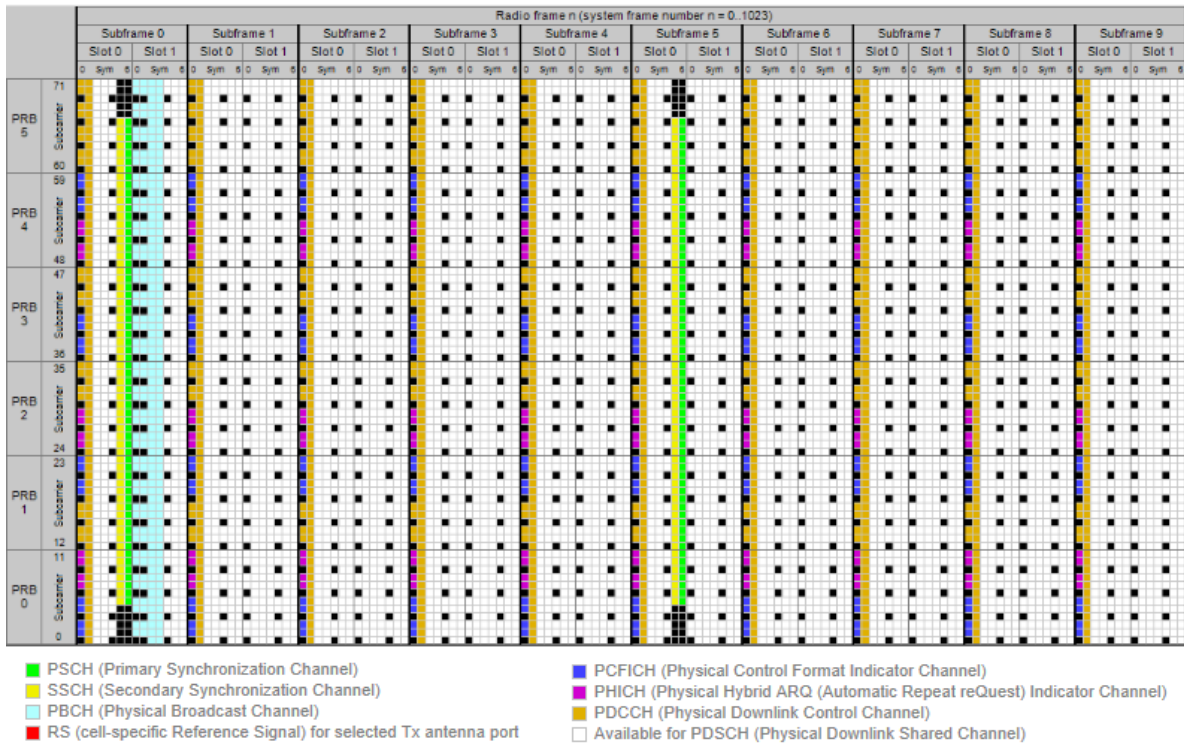


Figure II.9 : la trame LTE

II-5-1 La synchronisation

La synchronisation se fait dans la première sous trame et se répète dans la 6^{ème} sous trame. La synchronisation c'est deux signaux PSS (Primary Synchronization Signal) et SSS (Secondary Synchronization Signal), sont envoyés dans la fréquence 1.4 MHz.

Le PSS c'est des signaux contiens 64 bits (0 à 63 bits), il à 3 séquences 0, 1, 2 sont utilisés pour programmé les cellules, chaque cellule ont la programme avec une seule séquence (0,1,2)

Le SSS c'est des signaux contiens 168 bits (0 à 167 bits).

La particularité de ces signaux sont orthogonaux.

II-5-2 Planification de PCI (Physical Cell ID)

PCI est l'une des identificateurs de cellules les plus importants dans le réseau LTE. Le PCI est utilisé pour identifier les signaux de synchronisations PSS et SSS, pour calculé le PCI de chaque cellule on utilise la formule suivante : $PCI = PSS + 3 * SSS$

II-5-3 Les canaux physiques

- **PBCH (Physical Broadcast channel)** il contient 4 symboles, il porte les informations sur le système, destinées à être diffusées à l'ensemble des UE de la cellule, telles que la largeur de la bande de système et le nombre d'antennes de l'eNodeB.

-

- **RS (Reference Signal)** c'est le signal qui reçoit le mobile, et dans le RS(Reference signal) qu'ont va lire la puissance et la qualité, et envoyé à la BTS le rapport de signal qualité pour choisir la modulation qui convient. Si le mobile est loin de la BTS il va recevoir une mauvaise qualité et si le mobile est proche de la BTS il va recevoir une meilleure qualité.

-

➤ **PDCCH (Physical downlink contrôle channel)**

- le nombre de symbole pour PDCCH peut être 1, 2 ou 3 et ils sont spécifier par le PCFICH
- il porte les informations de contrôle pour les UEs.
- Le format de transport pour les transmissions sur la voie descendante.
- L'identité des UEs auxquels des ressources ont été attribuée.
- L'allocation des ressources pour les deux voies.

➤ **PCFICH (canal indicateur de format de contrôle physique)** Il porte le nombre de symboles pouvant être utilisés pour les canaux de contrôle (PDCCH et PHICH), il est mappé sur le premier symbole OFDM dans Chacune des sous- trames de liaison descendente. celui-ci contient les informations sur le nombre de symbole OFDM portant les canaux de contrôle (PDCCH et PHICH). L'UE décode ce canal pour

déterminer combien de symboles OFDM sont affectés aux canaux de contrôle (PDCCH et PHICH).

- **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)** Dans le LTE, le PDSCH transporte le DL-SCH (canal partagé de liaison descendante). C'est le seul canal de transport de liaison descendante disponible pour transporter des données d'utilisateur entre l'appareil mobile et l'eNodeB
- **PHICH(Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel)** est utilisé pour transmettre des accusés de réception.

II-6 La trame Uplink

Elle sert à transmettre la requête envoyée depuis le mobile vers l'eNodeB sur la voie montante, on compte trois canaux physiques ainsi que deux types de signaux de référence . En SC-FDMA, la transmission est effectuée sur une porteuse unique. Sa largeur dépend de la bande allouée à l'UE par le réseau. Les symboles transmis s'étalent donc sur toute la bande de transmission. Il est donc impossible de multiplexer dans le domaine fréquentiel différents canaux physiques émis par un même terminal. Si l'UE n'a pas de données à transmettre, il utilise le canal de contrôle PUCCH(Physical Uplink control Channel) pour ses informations de contrôle physique. Si, au contraire, il utilise le canal de données PUSCH, les informations de contrôle physique doivent être multiplexées sur ce même canal avec les données. , Les canaux PUSCH et PUCCH ne peuvent donc pas être utilisés simultanément.

II-6-1 La structure de la trame Uplink

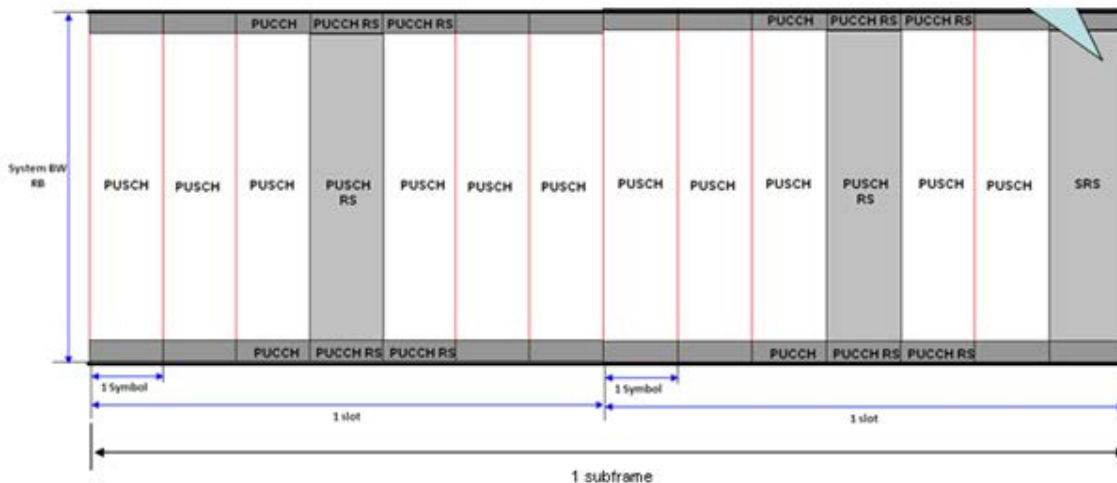


Figure II.10 : La structure d'une trame LTE Uplink

II-6-1-1 Les RS (Reference Signal)

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

- **DMRS (Demodulation Reference Signal)**

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

- **SRS (Sounding Reference Signal)**

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

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

I-6-2 Les canaux physique de la trame Uplink

- **PUCCH RS**

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

- **PUCCH**

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

- **PUSCH RS**

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

- **PUSCH**

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

- **PRACH**

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

II-7 Les couche physique de LTE

II-7-1 La couche physique

Sont rôle est de fournir des services de transports de données sur les canaux physique pour les couche RLC et MAC hautes.

II-7-2 La couche MAC (Medium Access Control)

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

II-7-3 RLC (Radio Link Control)

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

II-7-4 PDCP (Packet Date Convergence Protocol)

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

II-7-5 La couche RRC

La couche RRC est la couche clé dans le processus de signalisation. Elle supporte plusieurs fonctions entre le terminal et l'eNodeB.

II-8 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La technologie MIMO consiste en l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et à la réception. Le but de la technique MIMO était d'améliorer le débit, d'augmenter l'efficacité spectrale, diminuer la probabilité de coupure du lien radio, etc.

Le principe de la technologie MIMO consiste à émettre dans un même canal des signaux transmis sur des antennes différents. 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.

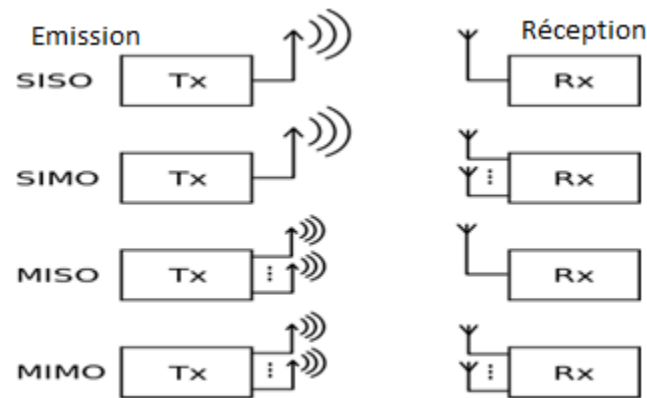


Figure II.11 : Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO

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** on transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente.
- **Le multiplexage spatial MIMO** chaque message est découpé en sous message. On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont réassemblés pour reformer le message entier d'origine.
- **Le MIMO – Beamforming (formation de faisceau)** le réseau d'antennes MIMO est utilisé pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'atteindre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences.

II-9 Modulation et codage adaptifs

La modulation et le codage adaptifs AMC (Adaptative Modulation et Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal.

Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chaque une de ces modulation est utilisée pour un lien précis tel que :

Modulation **Downlink** : QPSK , 16QAM, et 64QAM.

Modulation **Uplink** : QPSK et 16QAM.

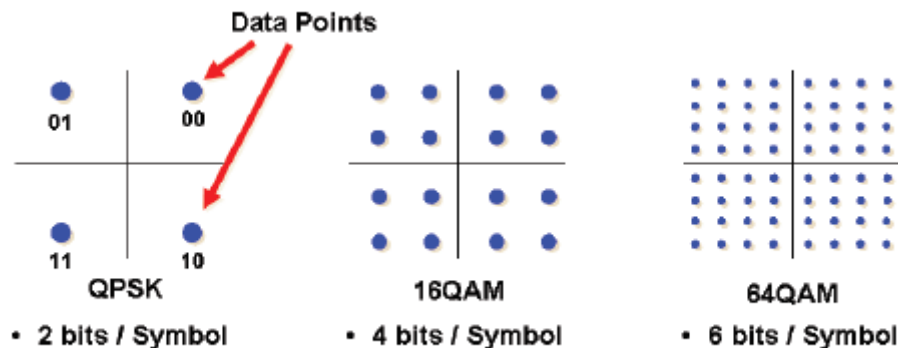


Figure II.12 : Modulation QPSK et QAM

II-10 Les qualité de service (QoS)

II-10-1 Définition

La qualité de service (QDS) ou Quality of service (QoS) est la capacité de transmission dans des bonnes conditions un certain nombre de paquet dans une connexion entre un émetteur et un récepteur. Et cela peut être présenté sous plusieurs termes tel que la disponibilité, débit, délais de transmission, taux de perte de paquets.

Elle regroupe un ensemble de technologies mise en Œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur tous les types de réseaux.

II-10-2 But de la QoS

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

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

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

- Le débit (téléchargement ou diffusion vidéo).
- Le délai (pour les applications ou la téléphonie).
- La disponibilité (accès à un service partagé).
- Le taux de pertes de paquets.

II-11 La sécurité en LTE

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

II-12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (4G) afin de présenter la suite du travail consacrée à l'étude et optimisation des ressources présentées dans ce chapitres (trame UL et DL).

Ce chapitre décrit la méthode et la procédure à effectuer afin d'assurer le suivi et l'optimisation des ressources radio d'un réseau LTE eNodeB.

III-1 Méthodes de surveillance de la capacité

Le suivi des capacités peut être mis en œuvre en utilisant les deux méthodes suivantes:

- **surveillance par prédiction:** surveille les différents types de consommation de ressources et fait place à des mesures préventives telles que l'optimisation ou l'expansion afin d'éviter la congestion du réseau. Cette méthode s'applique à la surveillance quotidienne.
- **analyse axée sur les problèmes:** utilise des outils d'analyse et techniques pour identifier les problèmes d'allocation des ressources lorsque la congestion du réseau se produit. Cette méthode permet d'utiliser les valeurs des KPI indexes de performances du réseau et réduis la demande sur l'expansion du réseau.

III-2 Ressources radios du réseau LTE

Le tableau III-1 montre les ressources du réseau à surveiller.

Ressources eNode B	Ressources cellulaire
N° de Licences utilisateurs connectés	PRBs
Ressource paging	Ressources PUCCH
CPU	Ressources SRS
LBPP CPU	Ressources PRACH
Groupe de ressources de transport	Ressources PDCCH

Tableau III.1 : Les ressources du réseau à surveiller

III-2-1 Ressources eNodeB

➤ Les ressources eNodeB à surveiller

- **Licence du nombre d'utilisateurs connectés**

La licence du nombre d'utilisateurs connectés spécifie le nombre maximal autorisé d'utilisateurs en mode RRC_CONNECTED. Chaque utilisateur connecté consomme les ressources radio et les ressources de transport. S'il y a trop d'utilisateurs connectés, ils ne peuvent pas être bien servis par eNodeB et les nouveaux services ne peuvent pas être admis.

- **Ressources radio messagerie**
Si le nombre réel de messages d'appel dépasse la capacité d'échange, la eNodeB sera incapable de traiter tous les messages d'appel.
- **Processeur principal de commande**
Si la charge de commande du processeur principal dépasse sa capacité de traitement, la détérioration des indicateurs clés de performance (KPIs) se produira.
- **CPU LBBP**
Si la charge sur une unité de traitement en bande de base LTE (LBBP) excède la capacité de traitement du processeur, la détérioration des indicateurs de performance se produit.
- **Ressource groupes de transport**
Les groupes de ressources de transport portent chacun un ensemble de flux de données. Ils sont situés à la couche de liaison du modèle TCP / IP. Si la charge sur un groupe de ressources de transport dépasse la bande passante configurée pour le groupe, des exceptions peuvent se produire (par exemple, les paquets peuvent être perdus), affectant l'utilisateur.

III-2-2 Ressources cellulaires

- **PRBs**
L'utilisation de blocs de ressources physiques (PRBS) reflète la bande passante de liaison montante et descendante consommée sur l'interface air (interface Radio).
- **Ressources PUCCH**
Ressources du canal de commande de liaison montante physique (PUCCH) insuffisantes ont des effets négatifs sur les éléments suivants:
 - Admission de nouveaux services et handover.
 - Nombre de UEs qui peuvent être prévu.
- **SRS**
Ressources signal de référence Sounding (SRS) sont attribués aux UEs pour l'accès au réseau. Si un LBBPd est utilisé, UEs peuvent accéder au réseau, même lorsque les ressources SRS ne sont pas attribuées.
Si les ressources SRS sont insuffisantes, l'eNodeB ne peut pas obtenir des informations des mesures précises, ce qui affecte alors l'utilisation efficace des ressources radio.
- **Ressources PRACH**
Ressources canal d'accès aléatoire (PRACH) physiques, il s'agit de préambules d'accès aléatoires effectués sur le PRACH. Si les ressources PRACH sont insuffisantes pour traiter toutes les tentatives d'accès, on enregistre des retards d'accès et même des échecs de tentatives d'accès.

- **Ressources PDCCH**

Si les ressources de canal de commande de liaison descendante physique (PDCCH) sont limitées, les retards de planification sont longs ainsi que le nombre d'utilisateur servis sera limité d'où une expérience utilisateur insatisfaisante voir médiocre surtout durant les heures de pointe.

III-3 La capacité de surveillance des ressources

Différents compteurs sont définis pour représenter l'utilisation des ressources d'un système E-UTRAN. En outre, les seuils supérieurs pour ces compteurs sont prédéfinis.

Pour un meilleur suivi, il est recommandé que la surveillance soit effectuée pendant les heures de pointe et la période avec la consommation de ressources maximale est définie comme les heures de pointe.

Tableau III-2, Tableau III-3 et le tableau III-4 décrivent les compteurs liés à la radio, dispositif et moyens de transport, respectivement.

Type de ressource	Compteur	Seuil d'utilisation des ressources
Licence connecté d'utilisateur	L.Traffic.User.Avg	60%
PRBs	L.ChMeas.PRB.UL.Used.Avg	90%
	L.ChMeas.PRB.DL.Used.Avg	
Ressources PUCCH et SRS	L.Traffic.User.Ulsync.Avg	60%
Ressources PRACH	L.RA.GrpA.Att	75%
	L.RA.GrpB.Att	
	L.RA.Dedicate.Att	
Ressources PDCCH	L.ChMeas.CCE.CommUsed	80%
	L.ChMeas.CCE.ULUsed	
	L.ChMeas.CCE.DLUsed	
Ressources radiomessagerie	L. Paging.S1.Rx	60%
	L. Paging.Dis.Num	1500

Tableau III.2 : Compteurs relatifs aux ressources radio

Type de Ressource	Compteur	Seuil d'utilisation de Ressources
Processeur	VS.Board.CPUload.Mean	60%
	VS.Board.CPUload.CumulativeHighloadCount	5%

Tableau III.3 : Compteurs relatifs aux ressources de l'appareil

Type de Ressource	Compteur	Seuil d'utilisation de Ressources
Transport groupe de ressources	VS.RscGroup.TxPkts	0,05%
	VS.RscGroup.TxDropPkts	
	VS.RscGroup.TxMeanSpeed	80%
	VS.RscGroup.TxMaxSpeed	90%

Tableau III.4 : Compteurs liés aux des ressources de transport

III-4 Utilisation de licence connecté d'utilisateur

III-4-1 Principes de surveillance

La licence du nombre d'utilisateurs connectés spécifie le nombre maximal autorisé UEs dans le mode RRC_CONNECTED. Si l'utilisation de la licence connecté d'UE dépasse le seuil préconfiguré, les UEs ne peuvent pas avoir accès au réseau. Si l'utilisation du processeur est importante au-delà d'un seuil, C-à-d ya risque de congestion future ; alors il faut augmenter les capacités de la licence.

III-4-2 Méthodes de surveillance

L'élément suivant est utilisé pour surveiller ce cas:

L'utilisation de la licence d'UE connecté = Somme (L.Traffic.User.Avg)/nombre autorisé d'UEs connectés * 100

Où

- L.Traffic.User.Avg indique le nombre moyen d'UEs connectés dans une cellule.
- Somme (L.Traffic.User.Avg) indique le nombre moyen dans un eNodeB.

III-4-3 Mesures suggérées

Si l'utilisation de la licence du nombre d'utilisateurs connectés atteint ou dépasse 60% , il est conseillé de prendre les mesures suivantes (Recommandations de chez l'opérateur Huawei)

- Si l'utilisation du processeur est inférieure à 60%, il faut augmenter la licence d'utilisateurs connectés (RRC connected users).
- Si l'utilisation du processeur atteint ou dépasse 60%, il faut ajouter un eNodeB.

III-5 Utilisation de ressource PRB**III 5-1 Principes de surveillance**

Lorsque le volume de données dans une cellule est élevé, l'utilisation de PRB est élevée. Si la capacité de la cellule n'est pas étendue, les UEs ne peuvent pas accéder à la cellule et leur expérience ou satisfaction du réseau sera affecté .

III-5-2 Méthodes de surveillance

Les éléments suivants sont utilisés pour surveiller ce cas:

- L'utilisation de PRB de liaison montante = $L.ChMeas.PRB.UL.Used.Avg / \text{Nombre total de PRB de liaison montante} \times 100\%$.
- Utilisation du PRB en liaison descendante = $L.ChMeas.PRB.DL.Used.Avg / \text{Nombre total de PRB de liaisons descendantes} \times 100\%$.

Avec :

- L.ChMeas.PRB.UL.Used.Avg indique le nombre moyen de PRBs de liaison montante utilisés.
- L.ChMeas.PRB.DL.Used.Avg indique le nombre moyen de PRBs utilisés en liaison descendante.

Le nombre total de PRB de liaison montante ou de liaison descendante peut être obtenu à partir du Tableau III-5.

Bande passante	Nombre de PRBs
1,4 MHz	6
3MHz	15
5MHz	25
10MHz	50
15MHz	75
20MHz	100

Tableau III.5 : Mappage entre la bande passante et le nombre de PRB

III-5-3 Mesures proposées

Avant d'effectuer l'extension du système il faut tenir compte de l'utilisation de PRB et de l'utilisation des ressources PDCCH.

III-6 Utilisation des ressources PUCCH

III-6-1 Principes de surveillance

Les ressources de PUCCH comprennent:

- Ressources d'indicateur de demande de planification (SRI) utilisées par les UEs programmés.
- Ressources d'indicateur de qualité de canal (CQI) utilisées par les UEs programmés.
- Ressources d'accusé de réception (ACK).

Les impacts des ressources insuffisantes de PUCCH sont les suivants:

- Echec de l'admission et de transfert d'UE : lorsqu'un UE demande qu'une connexion RRC soit établi pour une admission de service ou un transfert, l'eNodeB alloue des ressources CQI, Ressources SRI et ressources ACK pour l'UE en mode planification semi-persistante. Si l'allocation des ressources SRI et CQI échoue, l'admission au transfert intercellulaire d' UE échoue.
- Nombre limité d'UEs programmé: Si un UE hors synchronisation demande une synchronisation de liaison montante pour la transmission des données, l'eNodeB alloue les trois ressources SRI ,CQI ,ACK à l'UE. Si l'allocation des ressources SRI et CQI échoue, l'UE ne peut pas restaurer la synchronisation de la liaison montante et ne peut donc pas transmettre des données.
- Diminution du débit de la cellule et du débit d'UE : Si les ressources CQI sont insuffisantes ou limité, l'eNodeB sélectionne une période de rapport CQI de 40 ms pour les UEs, ce qui se traduit par des CQI moins précis et une efficacité spectrale

inférieure. De plus, ces UEs ne peuvent pas être choisis pour effectuer une programmation sélective en fréquence.

- Augmentation du délai de planification de la liaison montante : Si les ressources SRI sont insuffisantes ou limitées, l'eNodeB sélectionne une période SRI de 20 ms pour UEs, ce qui entraîne des retards de planification de la liaison montante pour ces UEs.

III-6-2 Méthodes de surveillance

L'élément utilisé pour surveiller le cas suivant :

Utilisation des ressources PUCCH = le nombre moyen de UEs prévu / Nombre maximum d'UE pris en charge par le PUCCH x 100%

Pour obtenir le nombre maximal d'UEs pris en charge par PUCCH en exécute la commande LST CELLALGOSWITCH.

Si la valeur du commutateur d'algorithme PUCCH est PucchSwitch: ON, le nombre maximal d'UEs pris en charge par le PUCCH est représenté sur le tableau au-dessous :

Bande passante de système	Nombre maximum d'UEs pris en charge par le PUCCH
5 MHZ	200
10 MHZ	400
15 MHZ	400
20 MMHZ	400

Tableau III.6 :Nombre maximal d'UE pris en charge par le PUCCH

Si la valeur du commutateur d'algorithme PUCCH est PucchSwitch: OFF, en active le commutateur PUCCH en vous reportant à la "Mesures suggérées" au-dessous.

III-6-3 Mesures suggérées

Si l'utilisation des ressources PUCCH atteint ou dépasse 60% pendant X jours (trois jours par défaut) dans une semaine, il est conseillé de prendre les mesures suivantes:

- Si la valeur du commutateur d'algorithme PUCCH est PucchSwitch: OFF, activez le commutateur en exécutant la commande suivante:

MOD CELLALGOSWITCH: LocalCellId = xxx, PucchAlgoSwitch = PucchSwitch-1;

- Si la valeur du commutateur d'algorithme PUCCH est PucchSwitch: On, effectue une extension de capacité. Les mesures communes sont les suivantes:

- Ajouter un transporteur de groupe de ressource.
- Ajouter un eNodeB.
- Divisez la couverture de l'eNodeB en plusieurs cellules.

III-7 Utilisation des ressources PDCCH

III-7-1 Principes de surveillance

Cet indicateur de capacité mesure le nombre d'éléments de canal de contrôle (CCE) pouvant être utilisés par le PDCCH.

Dans chaque trame radio, les commutateurs CCE doivent être alloués aux UE de liaison montante et de liaison descendante pour être programmés et une signalisation de commande commune. Les CCE PDCCH doivent être correctement configurés et alloués pour minimiser les frais généraux de contrôle de liaison descendante ainsi que pour assurer un débit de plan utilisateur satisfaisant.

Si les symboles PDCCH sont insuffisants, les CCE peuvent ne pas être alloués aux UE programmés, ce qui entraînera un retard de service et une expérience utilisateur insuffisante. En outre du long délai de service, si les UE à planifier ont des tampons de petite taille mais ont besoin de transmettre une grande quantité de données de plan utilisateur, les PRB et l'énergie allouée au canal physique de liaison descendante (PDSCH) et PUSCH peuvent être plus que nécessaire, ce qui entraîne une faible efficacité spectrale.

Si les symboles PDCCH sont excessifs, ce qui indique que l'utilisation des CCE PDCCH est faible, les ressources pouvant être utilisées par le PDSCH diminuent. Cela entraînera également une faible efficacité spectrale.

III-7-2 Méthodes de surveillance

L'élément utilisé pour surveiller le cas suivant :

l'utilisation de la CCE = (le nombre de PDCCH utilisés pour la signalisation CCE commune + le nombre de PDCCH utilisés pour la planification CCE liaison montante + le nombre de PDCCH utilisés pour la planification CCE de liaison descendante) / 3600/1000 / Nombre maximum de PDCCH CCE x 100%.

- Étape 1 : Exécutez la commande LST CELLPDCCHALGO pour interroger la valeur du commutateur de réglage du nombre de symboles PDCCH.
 - Si la valeur est On, le nombre de symboles PDCCH est 3.
 - Si la valeur est Off, exécutez la commande LST CELLPDCCHALGO pour interroger la valeur de PDCCH Initial Symbol Number, qui indique le nombre de symboles PDCCH.

- Étape 2 : Exécutez la commande LAST PHICH CFG pour interroger la valeur de la ressource PHICH. La valeur peut être UN SIXIÈME, DEMI, UN ou DEUX, correspondant à la valeur de Ng dans le tableau III-7.
- Étape 3 : Recherchez dans le tableau III-7 le nombre maximal d'ECC PDCCH en fonction de la bande passante du système, de la valeur de Ng et du nombre de symboles PDCCH.

Bande passante du système	NG	Nombre maximum de CCE PDCCH		
		Nombre de sym PDCCH = 1	Nombre de symb PDCCH = 2	Nombre de symb PDCCH = 3
5 MHz	1/6	4	13	21
	1/2	4	12	21
	1	3	12	20
	2	2	11	19
10 MHz	1/6	10	26	43
	1/2	9	26	42
	1	8	25	41
	2	6	23	39
15 MHz	1/6	15	40	65
	1/2	14	39	64
	1	12	37	62
	2	9	34	59
20 MHz	1/6	20	54	87
	1/2	19	52	86
	1	17	50	84
	2	13	46	80

Tableau III.7 : le nombre maximal d'ECC PDCCH en fonction de la bande passante du système

III-7-3 Mesures suggérées

Si l'utilisation de CCE atteint ou dépasse 80% et que l'utilisation de PRB de liaison montante ou descendante est inférieure à 90% pendant X jours (trois jours par défaut) dans une semaine:

- Si la valeur du commutateur de réglage du nombre de symboles PDCCH est activée, vous n'avez pas besoin de prendre de mesures. La raison en est que l'eNodeB ajuste automatiquement le nombre de symboles PDCCH en fonction de la charge CCE pour répondre à l'exigence CCE tout en empêchant une consommation excessive de ressources PDSCH.
- Si la valeur du commutateur de réglage du nombre de symboles PDCCH est désactivée, activez le commutateur en exécutant la commande suivante:

MOD CELLPDCCHALGO: LocalCellId=x, PdcchSymNumSwitch=ON;

III-8 Identification du problème d'allocation des ressources

Cette partie décrit comment évaluer la cause de congestion du réseau et les solutions réalisables.

III-8-1 Indicateurs de congestion des ressources

Les indicateurs de congestion des ressources (tels que le taux de congestion des ressources RRC et le taux de congestion des ressources E-RAB) peuvent être utilisés pour vérifier si le réseau est encombré. Le Tableau III-8 répertorie les compteurs liés aux indicateurs clés de performance.

Compteur de performance	Description
L.RRC.ConnReq.Att	Nombre de messages de demande de connexion RRC reçus d'UE dans une cellule (à l'exclusion des messages retransmis)
L.RRC.ConnReq.Succ	Nombre de configuration de connexion RRC Terminer les messages reçus d'UE dans une cellule
L.E-RAB.AttEst	Nombre de tentatives d'installation du support d'accès radio E-UTRAN (E-RAB) lancées par des UE dans une cellule
L.E-RAB.SuccEst	Nombre de configurations E-RAB réussies lancées par des UE dans une cellule
L.E-RAB.AbnormRel	Nombre de fois où l'eNodeB libère anormalement des E-RAB qui transmettent des données dans une cellule
L.E-RAB.NormRel	Nombre de fois où l'eNodeB publie normalement des E-RAB dans une cellule

Tableau III.8 Compteurs liés aux KPI

III-8-2 Taux de congestion des ressources RRC (signalisation)

Le taux d'encombrement des ressources RRC est un indicateur au niveau de la cellule. Il est calculé en utilisant la formule suivante:

Taux de congestion des ressources RRC = le nombre d'échecs de configuration de connexion RRC dus à des échecs d'allocation de ressources/ le nombre de demandes de configuration de connexion RRC x 100%

III-8-3 Taux de congestion des ressources E-RAB (service)

Le taux d'encombrement des ressources E-RAB est un indicateur au niveau de la cellule. Il est calculé en utilisant la formule suivante:

Taux de congestion des ressources E-RAB = le nombre de défaillances de configuration E-RAB dues à une insuffisance de ressources radio / le nombre de tentatives de configuration E-RAB x 100%

III-9 Des cas d'optimisation des ressources chez Mobilis

III-9-1 Premier cas optimisation des ressources PUCCH

PUCCH (canal de contrôle de la liaison montante physique), transporte un ensemble d'information appelé UCI (uplink contrôle information), ceci est similaire à PDCCH qui transporte DCI (information de contrôle de liaison descendante). En fonction de type d'information que porte l'UCI dans le PUCCH, PUCCH est classé en différentes informations comme suit :

- ACK : pour informer de l'arrivée et décodage de l'information reçue en downlink (PDSCH).
- Demande de ressource (SR : scheduling request) dans le ou l'utilisateur veut envoyer de l'information en uplink.
- L'indice de qualité de canal CQI (channel quality indicator) : envoi un rapport indiquant la qualité de canal downlink (PDSCH).

Le nombre de ressource PUCCH par défaut dans les cellules Ericsson est de 160 users, dans notre cas d'optimisation de la cellule 25108 secteur 3, le nombre d'utilisateur est devenu très important et la saturation (congestion) des ressources PUCCH est apparue comme le montre la figure suivante :

La congestion des ressources PUCCH en bleu et les échecs de RRC setup succès rate en vert.

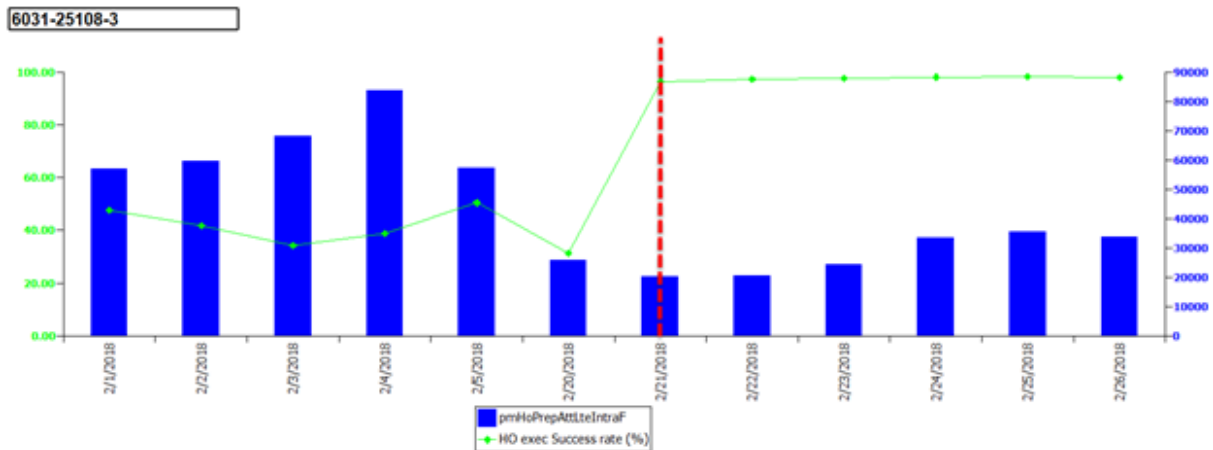


Figure III.1 : La congestion des ressource PUCCH et les échecs de RRC setup succès rate .

Problème : Dans le Intra freq HO succès rate et RRC setup succès rate PUCCH. le nom du paramètre qui définit la capacité de ce canal est: **noOfPucchCqiUsers /noOfPucchSrUsers** changé de la valeur **160 à 320**.

Solution : Après avoir changé la valeur du paramètre **noOfPucchCqiUsers /noOfPucchSrUsers** de 160 à 320 la congestion des ressources PUCCH à disparu du coup la cellule a pu accueillir et traité les utilisateurs en PUCCH à l'accès, et le taux d'accès RRC setup SR et Handover SR a augmenté comme le montre la figure suivante :

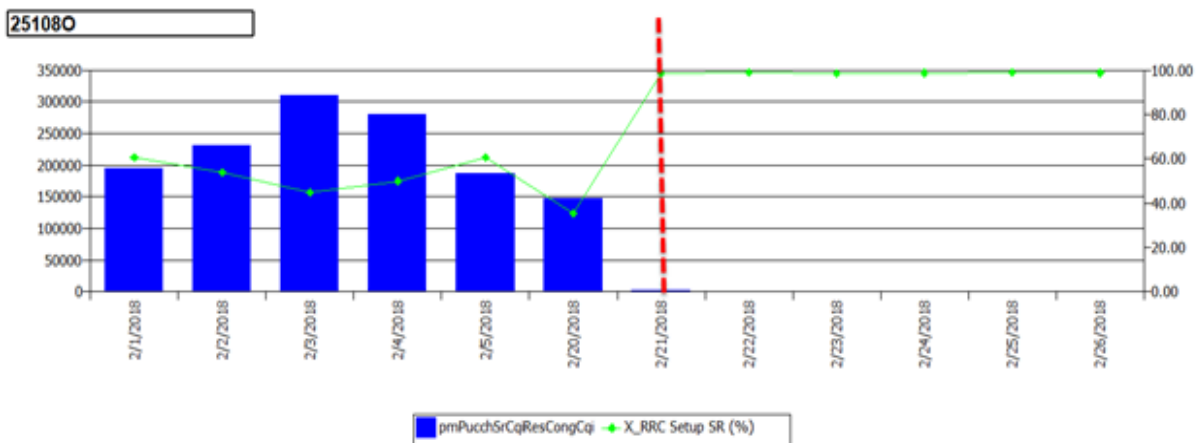


Figure III.2 : La congestion des ressource PUCCH et les échecs de RRC setup succès rate .

III-9-2 Deuxième cas Optimisation des ressources PRB (PDCCH CCE) :

PDCCH (canal de contrôle physique de la liaison descendante), transporte les informations de contrôle de liaison descendante sous forme de DCI (information de contrôle de liaison descendante),). Parmi les informations transmises par le PDCCH en peut citer :

- Le format de transport pour les transmissions sur la voie descendante.
- L' allocation des ressources pour les deux voies.

- L'identité des UEs auxquels des ressources ont été attribuées.

Après l'analyse des kpis LTE nous avons remarqué une utilisation élevée des ressources PDCCH sur un ensemble de cellules.

Après investigation, il s'est avéré que les cellules en question n'avaient qu'un symbole dédié au canal de contrôle, pas conséquence dès que l'heure de pointe (Busy hour) arrive, la charge des blocs de signalisation PDDCH (CCE Load) atteint un seuil critique.

Dans ce cas nous avons fait une étude sur le problème de l'utilisation des ressources dans la 4G LTE, en particulier l'utilisation des blocs de ressource de signalisation communément appelé PDCCH CCE load.

Problème l'utilisation élevée des blocs de ressources de signalisation PDCCH CCE dans la 4G LTE dépassent les 95%.

Le paramètre qui définit le canal PDCCH est : **pdccchCfiMode** .

Solution Augmentation du nombre de symboles dédié au canal PDDCH de 1 vers 3.

Cette augmentation à donné une nette amélioration au niveau de l'utilisation des ressources de signalisation ce dernier s'est réduit pour atteindre la valeur avoisinant les 70%, cette valeur jugée acceptable par les ingénieurs optimisateur de l'operateur.

La figure suivante nous montre le changement d'utilisation de ressources de signalisation de 95% à 70%.

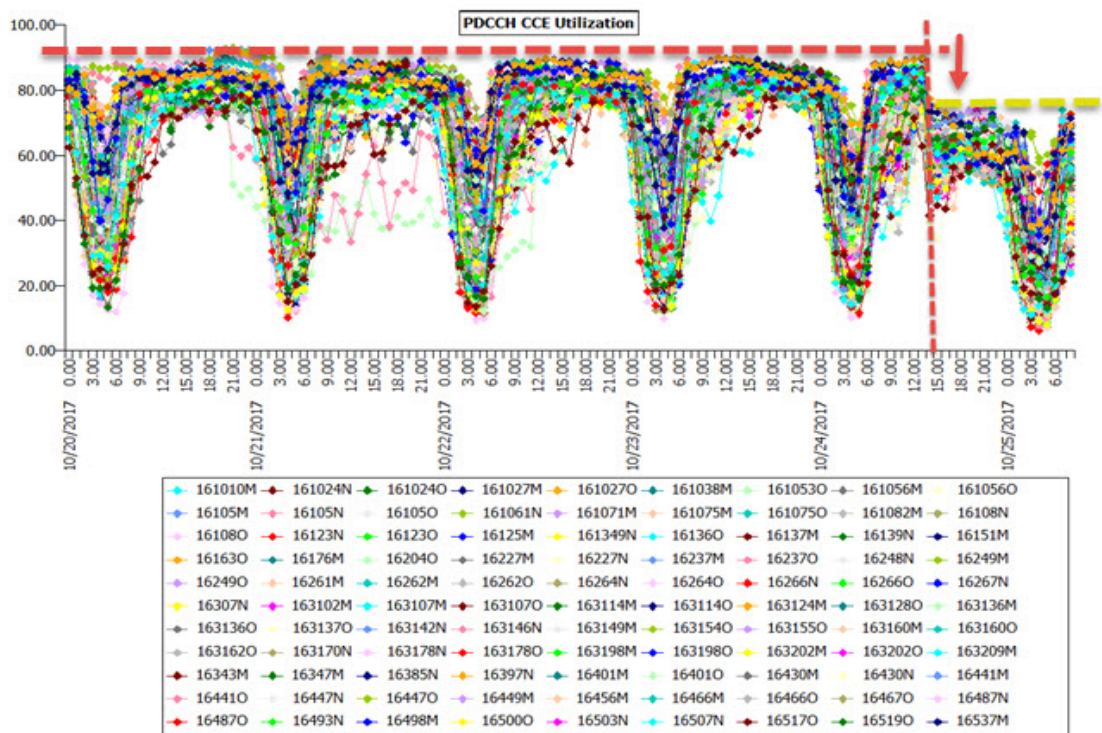


Figure III.3 : Le changement d'utilisation de ressources de signalisation de 95% à 70%.

III-9-3 Troisième cas : Optimisation de la licence du nombre d'utilisateurs connectés (RRC)

La licence du nombre d'utilisateurs connectés RRC, Spécifie le nombre maximal d'UEs autorisés dans le mode RRC_CONNECTED. Si l'utilisation de la licence number of RRC connected Users dépasse le seuil préconfiguré, les nouveaux UEs qui tentent d'accéder au réseau ne pourront plus avoir accès ce qui entrainera la congestion c'est-à-dire èches d'établissements des services (RRC/RAB Access failure) notamment durant les heures de pointe ou le nombre d'abonnés devient très important.

La figure suivante illustre cet effet :

En bleu c'est le nombre d'échecs des tentatives d'accès au service, CSSR_fails et en vert le taux en pourcentage de ces échecs.

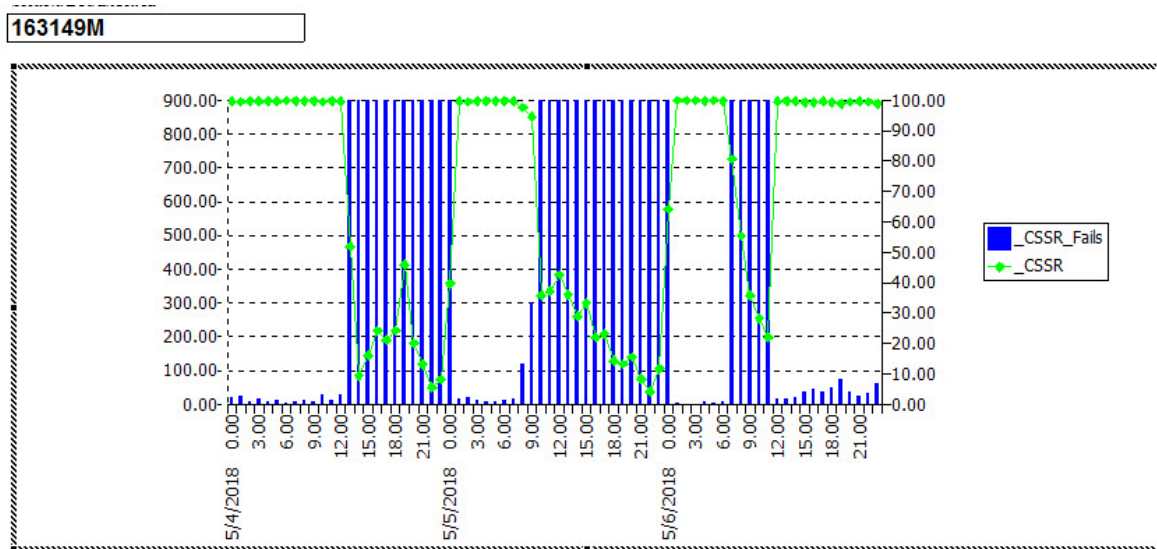


Figure III.4: Licence number of RRC connected Users.

Problème l'utilisation de la licence number of RRC connected Users dépasse le seuil préconfiguré, ce qui entraine la congestion (rejet des nouveaux utilisateurs arrivants).

Solution pour y remédier à cette congestion on a augmenté la licence du nombre d'utilisateurs, qui était avant de 150 abonnés, on l'a augmenté a 300 utilisateurs pour toute la eNodeB (3 cellules).

```

163149L> get capacityconnected

180529-13:16:45 10.229.6.200 16.0v ERBS_NODE_MODEL_G_1_142 stopfile=/tmp/28503
=====
70                               SystemFunctions=1,Licensing=1,CapacityFeatureLicense:
=====
CapacityFeatureLicenseId         CapacityConnectedUsers
capacityType                      0 (SW)
capacityUnit                      Number of Connected Users

>>> 1.noLimit = false
>>> 2.value = 150
userLabel                          Capacity Connected Users
=====

>>> 1.noLimit = false
>>> 2.value = 300
userLabel                          Capacity Connected Users
=====
    
```

Avant

Après

La figure suivante montre effectivement que le taux d'accès au réseau est de 100% suite à l'augmentation de la licence du nombre d'utilisateurs connectés avec un nombre d'échecs égale à zéro après changement sur toutes les cellules de la eNodeB :

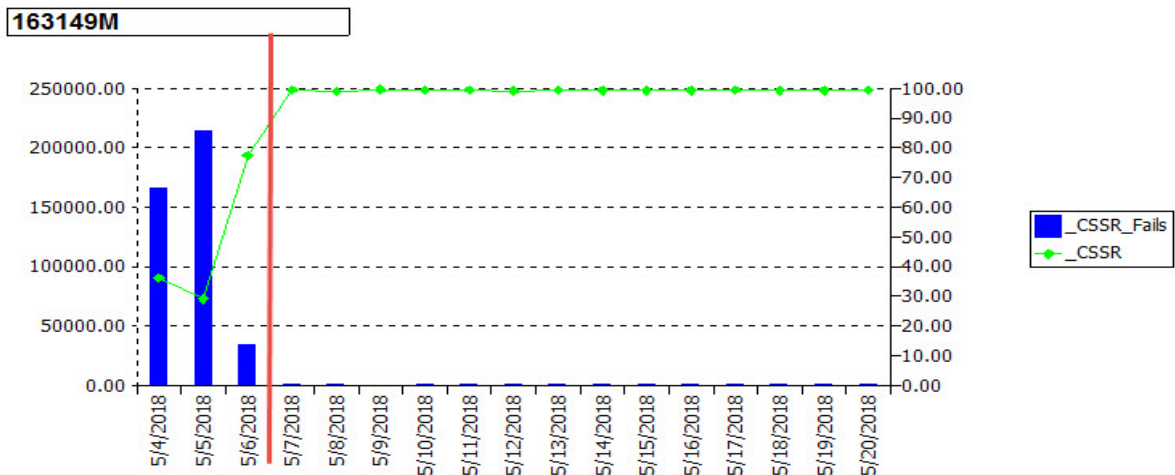


Figure III.5: Taux d'échecs liés au number of RRC connected Users

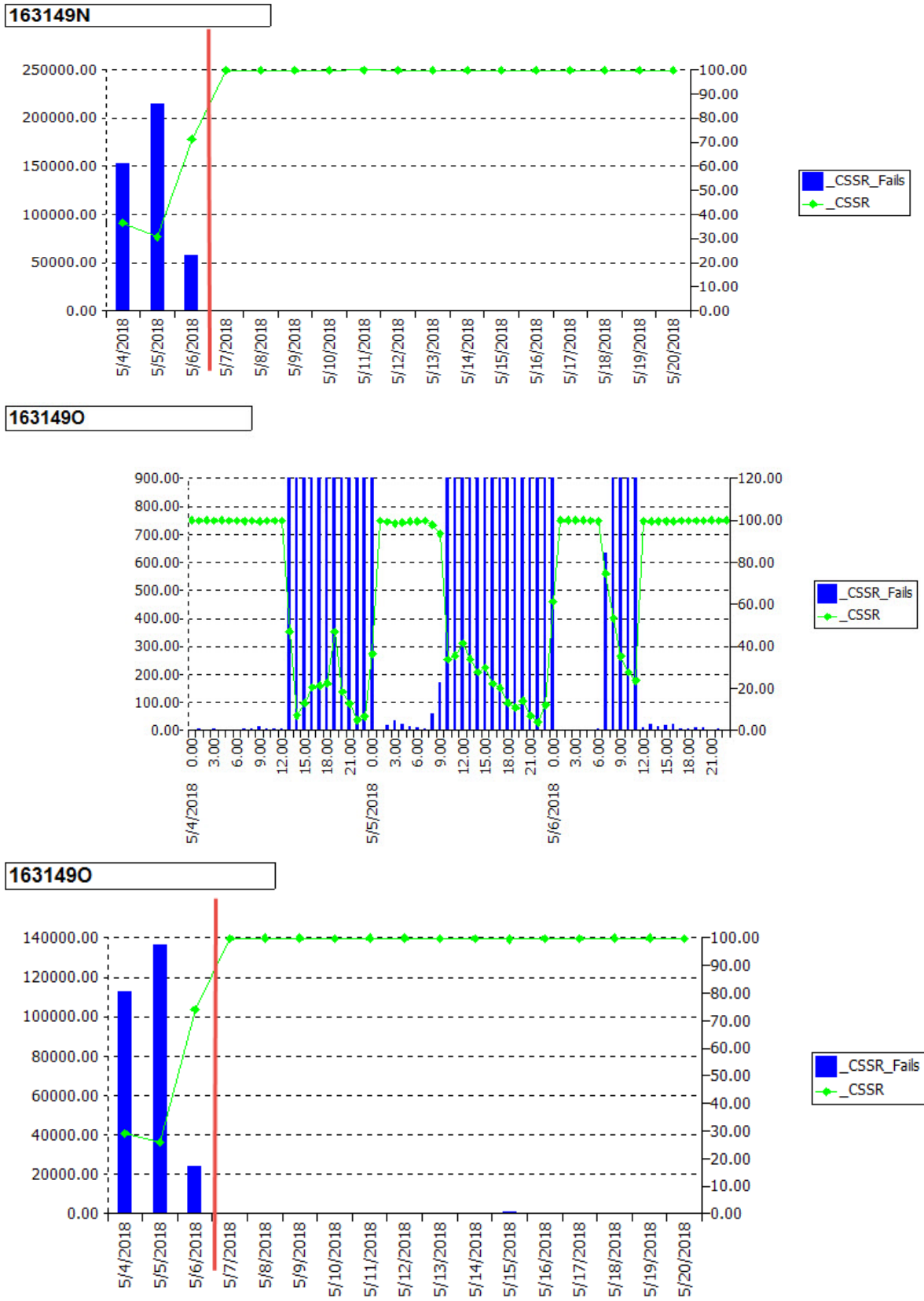


Figure III.6 : taux d'échecs liés au number of RRC connected Users

III-10 Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons défini les ressources du réseau LTE qui sont scindées en deux types de ressources (ressources eNodeB et ressources cellulaires), puis on a étudié la capacité de surveillance de ces ressources. Enfin nous avons mené une étude des cas pratiques d'optimisation où nous avons identifié le problème avec dégradation des indices de performances KPI avant l'application du changement et amélioration ou carrément disparition de la congestion après le changement qui ont amené à améliorer la qualité du réseau en minimisant la congestion des cellules et assurant la continuité des services.

Conclusion générale et perspectives

Durant ce travail on a pu constater que les générations de téléphonie mobile ont été développées pour garantir de meilleures performances en particulier les qualités de services, tout ça en apportant de nouvelles techniques d'accès, de nouveaux services, ainsi qu'une meilleure gestion des ressources.

De nos jours la dernière génération à savoir la 4G a fait ses preuves et est connue par la meilleure génération existante permettant le très haut débit ainsi qu'une interopérabilité avec les autres réseaux d'ancienne génération (3G,2G).

Les principaux paramètres du réseau 4G qui ont faits que ce réseau soit le meilleur et le plus onéreux sont son très haut débit utilisé, la latence beaucoup moins importante que dans le réseau 3G, une large bande passante, une bande de fréquence flexible, et une interopérabilité avec les autres réseaux ainsi ces différents caractéristiques donnent le choix aux utilisateurs pour leur utilisation au sein de la 4G.

Pour compléter nos connaissance nous avons mené une étude d'optimisation sur les ressources dans le but de minimiser la congestion des cellules et d'assurer la continuité des services.

L'évolution technologique est toujours en cours et les besoins en haut débit ainsi que la quantité d'objets connectés de nos jours ne cesse d'augmenter, le réseau LTE ne pourra contenir tout ça et nous le constatons déjà à partir de ce travail, la congestion au niveau de différentes ressources dès les premiers mois après son déploiement dans les grandes villes du pays, la LTE devra se trouver un successeur.

La prochaine génération de réseau mobile (5G) est prévue pour être normalisée 3GPP à l'horizon 2020. Il s'agit du plus ambitieux projet de réseau de communication sans fil jamais réalisé qui devra répondre aux attentes d'un marché de masse. Beaucoup d'applications verront le jour grâce à la 5G dans des domaines allant du divertissement à la santé en passant par l'amélioration des infrastructures et l'Internet des Objets. Les dernières tendances quant aux spécifications mettent l'accent sur une augmentation massive de la densification du réseau, du débit de donnée, de la latence et la très forte réduction de la consommation d'énergie. En plus des traditionnelles bandes de fréquences en deçà de 3 GHz allouées aux communications mobiles, plusieurs bandes de fréquences au dessus de 20 GHz pourraient compléter le spectre de la 5G afin d'améliorer le débit de données. Pour répondre à ces contraintes des amplificateurs de puissance larges bandes, reconfigurables en modes

affichant une haute linéarité et une forte valeur de rendement énergétique (PAE), seront nécessaires pour les émetteurs-récepteurs de demain, des antennes massive mimo devront être déployées et pour ce faire toutes les grandes compagnies de téléphonie mobile ont pris de l'avance et ont investi beaucoup afin que leur proposition soit la norme de demain et rester leader du marché à l'instar de ZTE, Huawei et Ericsson ...



Exemple d'antenne massive MIMO et de module pré-5G de chez ZTE

Bibliographie

- [1] Stéphane Girondon Rapport de stage-DESS MTI –IAE AIX en provence 2001-2002
- [2] http://www.memoireonline.com/12/12/6535/m_Etude-dequilibre-de-MSK-et-PPS-dans-un-reseau-GSM0.html Etude d'équilibre des capacités de MSK ET PPS dans un réseau GSM.
- [3] <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/pm-phase-modulation/what-is-gmsk-gaussian-minimum-shift-keying-tutorial.php> What is GMSK Modulation- Gaussian Minimum Shift Keying.
- [4] http://www.memoireonline.com/02/12/5284/m_tude-de-dimensionnement-et-planification-dun-reseau-daces-WCDMA-3G8.html Etude de dimensionnement et planification d'un réseau d'accès WCDMA 3G , par mouhamed lamane camara, institut supérieur d'informatique de DAKAR(ISI)-Master en télécommunication 2008.
- [5] <http://www.quora.com/what-is-RTWP-how-does-it-work-in-UMTS-and-LTE> What is RTWP?How does it work in UMTS and LTE?.
- [6] <http://sensitivehome.googlede.com/svn/trunk/Documentation/modulation%20Numérique%20QPSK.doc> Architecture de LTE
- [7] Amara et Guerroudj Conception d'une plateforme de la couche physique LTE/LTE Advanced
- [8] https://fr.wikipedia.org/wiki/IP_multimedia_subsystem
- [9] [https://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_\(r%C3%A9seaux_mobiles\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_(r%C3%A9seaux_mobiles)) Fréquences utilisées par la technologie LTE.
- [10] BOUCHENTOUF et BOUDGHENE , mémoire de fin d'étude Etudes des performance des réseaux 4G LTE) université de Tlemcen. Juin 2013
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing principe d'OFDMA.
- [12] <https://fr.wikipedia.org/wiki/SC-FDMA> principe de SC-FDMA.
- [13] <http://www.oferte-cazare.info/2018/lte-frame-structure-sharetechnote.html> la structure de la trame LTE
- [14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_\(t%C3%A9l%C3%A9communications\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_(t%C3%A9l%C3%A9communications)) MIMO Multiple-Input Multiple-Output

Introduction Générale

Chapitre I : Evolution des réseaux mobiles de GSM vers LTE

Chapitre II : Etude détaillé sur la 4G

Chapitre III : Optimisation des ressources réseaux LTE

Conclusion Générale

Glossaire

Sommaire

Listes des tableaux

Liste des figures

Bibliographie