REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Spécialité : Système de télécommunication

CONTRIBUTION À l'ANALYSE ET l'OPTIMISATION D'UN RESEAUX LTE. DETECTION DES COLLISIONS RSI

Présenté par

LAMRI Houssam

KALACHE Aboubaker

Proposé et Dirigé par

Mr. GUEDMANI Mohamed

Co-promoteur :

Mr. BAKIRTERKI Othmane

Promotion : Juillet 2020

Remerciements

Nous tenons à remercier :

Nous tenons particulièrement à remercier Allah le tout puissant, ce mémoire

N’aurait jamais été réalisé sans sa bénédiction.

Les membres du jury qui nous feront honneur de juger notre travail.

Notre promoteur Dr. GUEDMANI Mohamed pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa gentillesse.

Notre co-promoteur Mr. BAKIRTERKI Othmane pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa gentillesse.

Nos chers parents et proches qui nous ont soutenu et aider tout au long de ce travail.

Nos camarades de la promotion génie électrique, amis et tout se qui ont participé de près ou de loin à l’élaboration de ce travail.

LAMRI Houssam KALACHE Aboubaker

Dédicace

Je dédie ce travail :

À ma mère.

À mon

père.

À tous mes frères.

Aux fils de mon frère Alaa Eddine et Miral.

À tous ceux qui m'ont aidé à terminer ce projet.

A tous mes enseignants et tous mes amis qui n'ont pas cessé de

M'encourager afin de réaliser parfaitement ce projet.

A toute personne qui m'a aidée à franchir un horizon dans ma vie...

Houssam...

Je dédie ce modeste travail:

A ma très chère mère ;

A mon très cher père ;

A mes frères ;

A ma sœur ;

A ma tante ;

A ma famille ;

A tous mes amis ;

Aboubaker...

الملخص :

لقد عرف ميدان الاتصالات اللاسلكية الكثير من التطورات مما ادى الى ظهور الشبكات الهاتفية (الجيل الاول حتى الجيل الخامس). تقنية الجيل الرابع هي معيار جديد يخص بانه يعتمد كليا على حزم الانترنيت لتوفير سرعات عالية لنقل البيانات مقارنة مع الاجيال السابقة. و العوامل الاساسية في الشبكات هي تحسين التغطية و تقليل التداخل و زيادة معدلات الجودة و تبديل افضل بين الابراج و الشبكات الدولية و رفع معدل البيانات. و نحن نهدف من خلال هذا العمل الى تعقب التداخلات في عوامل الRSI(route sequence index) في الخلايا مما يسمح لنا مستقبلا اكمال عملية تحسين الشبكة.

الكلمات المفتاحية : QoS, optimisation , RSI, 4G

Le résumé :

Le domaine de la communication sans fil a connu beaucoup de changements ce qui a donné la naissance des générations mobiles (1G,2G,3G,4G,5G). La 4G est un réseau spécifié par le tout IP par rapport aux générations précédentes grâce à son haut débit, Les facteurs principal dans ces réseaux sont : améliorer la couverture, diminuer les collisions et interférences dans les cellules, optimiser les indicateurs QoS et avoir un taux de données élevé. Dans notre mémoire on a essayé de détecter les collisions des indices RSI(route sequence index) dans les cellules, qui va permet de continuer l'optimisation du réseau.

Les mots clés : 4G, QoS, optimisation , RSI.

The abstract :

Wireless communications have had many changes which led us to the creation of mobiles generations (1G,2G,3G,4G,5G). 4G has a full-IP protocol which makes it unique comparing to previous generations. The main factors in cellular networks are: inhance the coverage , decrease collisions and interfences, optimize qos and get a better data rate. In this work we have tried to detect RSI(route sequence index) collisions in cells, which allows us to continue our optimization.

Key words: 4G,QoS, optimization , KPI , RSI.

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques QCI [28].....45

Liste des figures

Figure 1 -l'évolution des réseaux mobiles....2
Figure 2 - Architecture du réseau GSM [3]....4
Figure 3 - Architecture du réseau GPRS [4]....8
Figure 4 - Architecture du réseau UMTS. [8]....11
Figure 5 - Applications de la 5G....13
Figure 6 - l'architecture de réseau 5G....15
Figure 7 - session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP)....16
Figure 8 - Architecture de NG-RAN....17
Figure 9 - architecture du système 5G, no-roaming. [11]....18
Figure 10 - Architecture d'un réseau LTE [15]....21
Figure 11 - DBS3900 eNodeB HUAWEI....22
Figure 12 - Architecture E-UTRAN....22
Figure 13 - Architecteur de l'EPC....23
Figure 14 - Pile protocolaire défini entre le MME et l'UE....25
Figure 15 - Pile protocolaire plan usager....25
Figure 16 - Les couches de l'interface Radio....27
Figure 17 - Représentation du signal OFDM en temps et fréquence....28
Figure 18 - Différence entre OFDMA et SC-FDMA pour l'allocation des porteuses [18]....29
Figure 19 - Une trame LTE [16]....30
Figure 20 - Différence entre FDD et TDD [19]....30
Figure 21 - Bloc de ressources [20]....31
Figure 22 - Modèle d'un système MIMO....32
Figure 23 - Association entre les différents canaux en UL et DL [22]....35
Figure 24 - Les bearers au sein des interfaces....42
Figure 25 - Différents types de bearers [29]....43

Liste des abréviations

1G : Première Génération.

2G : Deuxième Génération.

3G : Troisième Génération.

3GPP :3rd Génération Partenership Project.

4G : Quatrième Génération.

5G : Cinquième Génération.

A

AMPS : Advanced Mobile Phone System.

ARP: Allocation and Retemption Priority.

APN-AMBR: Access Point Name – Agregated Maximal Bite Rate.

AS: Access Stratum

B

BPSK: Binary Phase Shift Keying.

BLER : Block Error Ratio.

BCCH : Broadcast Control Channel (canal de contrôle de diffusion).

BCH : Broadcast Channel (canal de diffusion).

C

C-NETZ: Funktelefonnetz-C.

CDMA: Code Division Multiple Access accès.

CQI: Channel Quality Index.

CRC: Cyclic Redundancy Check.

CCCH : Common Control Channel (canal de contrôle commun).

D

DL: Downlink.

DSP : Densité Spectral de Puissance**.**

DSCP: Differentiated Services Code Point.

DiffServ : Differenciated Service.

DCCH: Dedicated Control Channel (canal de contrôle dédié).

DTCH: Dedicated Traffic Channel (canal de trafic dédié).

DL-SCH: DownLink Shared Channel.

E

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM.

EPC: Evolved Packet Core.

EPS: Evolved Packet System.

E-UTRAN: Evolved Universal Terrastrial Access Network.

ENodeB: evolved NodeB.

E-RAB: E-utran radio access bearer.

F

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FDD: Frequency Division Duplex.

E-RAB: Evolved-RAB.

E-RAB ID: E-RAB Identifier.

G

GSM: Global System for Mobile communications.

GPRS: General Packet Radio Service.

GTP-C: GPRS Tunneling Protocol- Control plane.

GBR: Guaranteed Bit Rate.

H

HD: High Definition.

HSPA: High Speed Packet Access.

HSPA+: High Speed Packet Access+.

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.

HSDPA: High Speed Downlink Paquet Access.

HSS: Home Subscriber Server.

HLR: Home Location Register.

I

IP: Internet Protocol.

IMT: Institut Mines Telecom.

IS-95: Interim Standard.

IETF: Internet Engineering Task Force.

IMS: IP Multimedia Sub-system.

IUT: Union International Of Télécommunications.

IMSI : International Mobile Subscriber Identity (identité d'abonné mobile international).

ISP: Internet Service Provider.

K

KPI: Key Performance Indicator

L

LTE: Long Term Evolution.

LTE-A: Long Term Evolution Advanced.

LAN: Local Area Network.

M

MIMO: Multiple Input Multiple Outputs.

ISO: Multiple Input Single Outputs.

MAC: Medium Access Control.

MMS: Multimedia Messaging Service.

MBMS: Multimedia Broadcast Multicast Service.

MEI: Mobile Equipment Identity.

MM : Mobility Management (gestion de la mobilité)

MBR: Maximal Bite Rate

MSISDN: Mobile Station.

MSC: Mobile Switching Server

N

NMT: Nordic Mobile Telephone.

NAS: Non Access Stratum.

N-GBR: Non-GBR.

MME: Mobility Manager Entity.

O

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

P

PCRF: Policy and Charging Rules Function.

PCEF: Policy and Charging Enforcement Function.

PRB: Physical Resource Block.

PDN: Packet Data Network .

PCI: Physical Cell Identifier.

PDC: Personal Digital Communications.

PCRF: (Policy & Charging Rules Function).

PCEF: Policy Control Enforcement function.

PDCP: Packet Data Compression Protocol.

PCCH : Paging Control Channel (canal de contrôle de paging).

PCH: Paging Channel (canal paging).

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel.

PDCCH: Physical Downlink 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 (canal physique d'accès aléatoire).

PDN-GW: Packet Data Network Gateway

Q

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

PSK: Quadrature Phase Shift Keying.

QoS : Quality of Service.

QCI: QoS Class Identifier.

R

RRC: Radio Ressource Control**.**

RLC: Radio Link Control**.**

RSI : route sequence index .

RSSI: Received Signal Strength Indicator.

RSRP: Reference Signal Received Power.

RSRQ: Reference Signal Received Quality.

RSVP: Ressource Reservation Protocol.

RNC : Radio Network Controller.

RAN: Radio Access Network.

RAB: Radio Access Bearer.

RBS: Radio Bearer Service.

RAT: Radio Access Technology.

RACH: Random Access Channel (canal d'accés aléatoire)

S

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

SMS: Short Message Service.

SAE: System Architecture Evolution.

SISO: Single Input Single Output.

SIMO: Single Input Multiple Output.

SGW: Serving Gateway.

S1-UP: S1-User Plan.

S1-CP: S1-Control Plan.

STCP: Stream Control Transmission Protocol.

SRB: Signalling Radio Bearer.

T

TACS: Total Access Communication System.

TDD: Time Division Duplex.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TCP: Transmission Control Time.

U

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network (réseau radio UMTS).

UE: User Equipment.

UL: UpLink.

UL-SCH: UpLink Shared Channel.

UE-AMBR: User Equipment - AMBR .

UDP: User Datagram protocol.

UL-SCH: Uplink Shared Channel

V

VoD : Video On Demand.

VoIP: Voice on IP.

W

WAP: Wireless Application Protocol.

W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access (large bande multiple par repartition en code).

WiFi: Wireless Fidelity.

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Sommaire

Contents

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction Générale

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES

I.1. Introduction : 2

I.2. Réseaux mobiles de première génération (1G) : 2

I.3. Réseaux mobiles de deuxième génération (2G) : 3

I.3.1. GSM : 3

I.3. 2. La 2.5G (GPRS) : 7

I.3. 3. La 2.75G (EDGE) : 9

I.4. Réseaux mobiles de troisième génération (3G) : 9

I.4.1. L'UMTS : 9

I.4.2. Le HSPA (3.5G) : 12

I.5. Réseaux mobiles de quatrième génération (4G) : 13

I.6. Réseaux mobiles de cinquième génération (5G) : 13

I.6.1. Objectifs de la 5G : 14

I.6. 2. L'architecture de réseau 5G et ses services : 14

I.7. conclusion : 18

Chapitre II :

Description de la 4G/LTE

II.1. Introduction : 19

II.2. Définition de la quatrième génération : 19

II.3. L'objectif de la 4G : 19

II.4. Caractéristiques des systèmes sans fil 4G : 20

II.5. Architecture de LTE : 20

II.5.1. User Equipment (UE) : 20

II.5.2. E-UTRAN (Evolved UTRAN): 21

II.5.3. EPC: 23

II.5.4. Les interface de communication de LTE: 24
II.5.5. Architecture protocolaire : 24
II.6. Techniques D'accès et Technologies utilisées dans le LTE: 28
II.6.1. L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): 28
II.6.2. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Accesses): 28
II.6.3. SC-FDMA: 29
II.6.4. Structure de la trame LTE : 30
II.6.5. Concept de bloc de ressources : 30
II.6.6. MIMO (Multiple Input Multiple Output) : 32
II.7. Les canaux radios: 32
II.7.1. Les canaux Logiques: 32
II.7.2. Les canaux transport: 33
II.7.3. Les canaux physiques: 34
Conclusion : 35

ChapitreIII : Qualité de service
(QoS) dans la 4G

III.1. Introduction : 36
III.2. Définitions : 36
III.3. But de la QoS : 36
III.4. Paramètres de la QoS : 37
III.5. Les informations utilisées pour assurer la QoS : 37
III.6. Les Modèles de gestion de la QoS : 38
III.6.1. le modèle INTSERV : 38
III.6.2. Modèle Diffserv : 38
III.7. Procédés d'évaluation de la QoS : 39
III.7.1. Le drive test : 39
III.8. Mécanismes de QoS dans LTE : 42
III.8.1. Les bearers : 42
III.8.2. Paramètres QoS des bearers : 44
III.8.3. Le scheduling : 46
III.9. Conclusion : 49

Chapitre IV : Application sur les collisions RSI dans les cellules

IV.1. Introduction : 50
IV.2. Le choix du simulateur : 50
IV.3. pour quoi L'optimisation de la 4G : 50
IV.4. Le RSI : 51
IV.5. Application avec Mapinfo : 51
IV.5.1. Importer le tableau, crée les points et construire la carte : 51
IV.5.2. Le code source : 53
IV.5.3. Importer l'outil et l'appliquer sur la carte : 57
IV.5.4. Quelques exemples : 58
IV.6. Conclusion : 60
Conclusion générale 61

Bibliographie

Introduction Générale

L'Homme a toujours cherché à développer des moyens de communication pour faciliter le contact avec l'autre, l'invention du télégraphe par Chappe bouleverse le principe de la communication à distance. Le monde pourrait, dans un premier temps, appréhender cette révolution en examinant le télégraphe qui fut inventé en période de guerre, sous la Révolution. Aussi l'invention de téléphone été une nouvelle démarche dans le monde de la communication, qui a donné naissance à de nouvelles technologies connues sous le nom de génération 1G, 2G, 3G et 4G.

La 4G/LTE (*Long Term Evolution*, en anglais) désignent la quatrième génération du réseau de téléphonie mobile qui introduit du très haut débit pouvant aller, en théorie, jusqu'à 150 Mbit/s. La spécificité de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents est le passage à une structure full IP (Internet Protocol) pour le transport des communications vocales et des SMS sous forme de paquets de données.
Notre objet d'étude est incarné dans la partie radio(reseax) de la 4g, plus précisément dans le problème de collisions dans les indices RSI des cellules.
Alors, notre questionnement sera : comment détecter les collisions des RSI des cellules ?

Notre réponse à la question sera un code source qui fait la détection de ces collisions.

Dans ce travail on a suivi le plan suivant : dans le premier chapitre on a parlé des générations mobile de 1G à la 5G pour avoir une idée générale sur son développement, le deuxième chapitre va s'ouvre sur notre thème de mémoire, la 4G, en donnant une étude approfondie de cette génération qui va se prolonger dans le troisième chapitre en expliquant la QOS, le dernier chapitre sera consacré à l'application, et bien sur le travail est finaliser par une conclusion générale.

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES

I.1. Introduction :

Les années 80's ont connu une renaissance dans le domaine de la communication, grâce à l'apparence des réseaux cellulaire. Ces derniers nous ont donné un accès aux nouveaux services come : SMS, Data et MultiMedia. Dans ce chapitre on va expliquer les différentes générations mobiles. On parle de la 1G, 2G ,3G ,4G et 5G(en cours de déploiement) illustrée à la Figure I.1., qui ont donné un nouveau secteur à l'industrie mondiale [1]. On va définir chaque génération, donné ces différents équipements, interfaces et leurs avantages. 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 et très rares, car elles sont convoitées par de multiples applications (télévision, radio, réseaux privés, communications militaires, etc.).

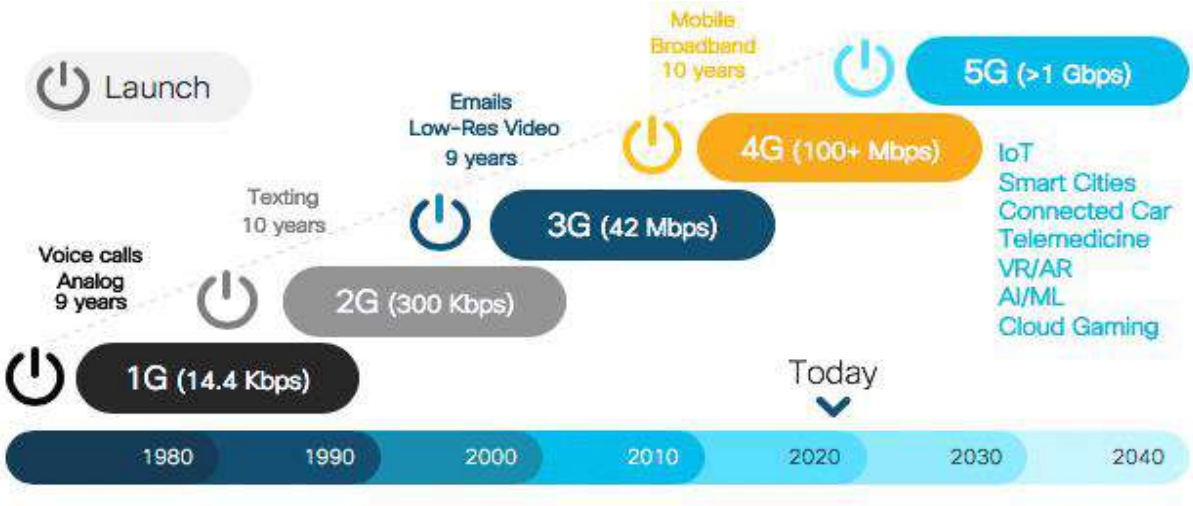


Figure 1 -l'évolution des réseaux mobiles

I.2. Réseaux mobiles de première génération (1G) :

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très couteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écoute les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur). [2]

I.3. Réseaux mobiles de deuxième génération (2G) :

Cette génération a été déployée à l'aube des années 1990 à travers le monde : GSM en Europe, le PDC au Japon, l'IS-95 aux États-Unis…. Ces systèmes, dans leurs versions initiales, donnaient accès au service voix en mobilité, mais aussi aux messages textes courts plus connus sous le nom de SMS (Short Message Service, limités 80 caractères).

I.3.1. GSM :

Les systèmes 2G ont connu plusieurs évolutions à l'instar de la technologie GSM caractérisée par :

- Une transmission numérique et une commutation de circuits.
- Un duplexage FDD (une bande de fréquences par lien).
- voie montante UL: 890 – 915 Mhz.
- voie descendante DL : 935 – 960 Mhz.
- Une technique d'accès de type F/TDMA.

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. La Figure I.2 présente l'architecture du Réseau GSM.

Le principe du GSM est de passer des appels téléphoniques. L'avantage de cette connexion est d'ouvrir un faisceau entre l'appelant et l'appelé qui ne sera fermé qu'en fin de communication.

L'inconvénient est l'utilisation d'un faisceau même si vous ne parlez pas, c'est à dire que le faisceau vous est réservé alors que vous ne transmettez rien.

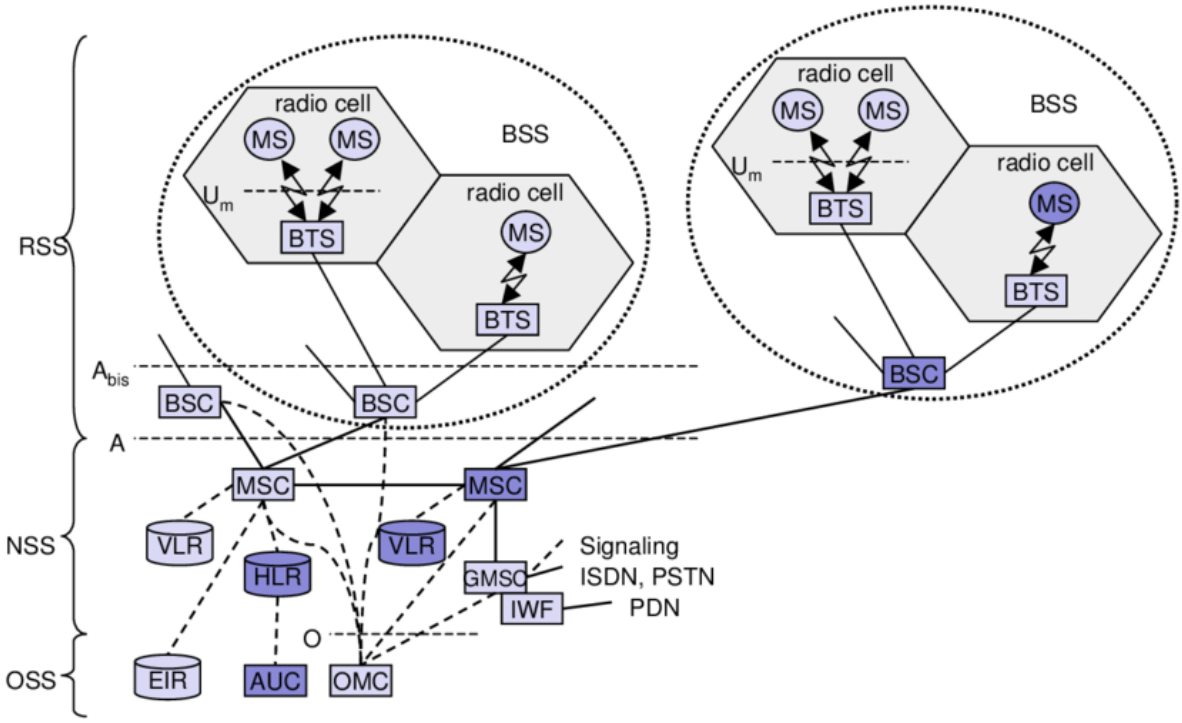


Figure 2 - Architecture du réseau GSM [3].

Ainsi le réseau GSM est compose de trois sous-ensembles :

I.3. 1.1. Le sous-système radio BSS :

Sa fonction principale est la gestion de l'attribution des ressources radio, indépendamment des abonnés, de leur identité ou de leur communication. On distingue dans le BSS :

I.3. 1.1.1. MS:

Il s'agit de l'équipement terminal utilisé par les usagers du réseau.

I.3. 1.1.2. BTS :

C'est les points d'accès au réseau GSM. Ces fonctions sont :

¬ Codage, chiffrement, multiplexage temporel, modulation.

¬ Elle remonte les mesures radio de MS vers le BSC.

¬La gestion des liaisons de trafic et signalisation avec le BSC.

¬ Elle envoie des paramètres du Timing Advanced.

¬ Transmission des signaux

de synchronisation fréquentielles et temporelles.

¬ Décodage, décryptage, démodulation des signaux reçus de MS.

I.3. 1.1.3. BSC :

Sous-système intelligent du BSS (analyse de données et prise de décision pour la mobilité), il assure:

¬ L'allocation des canaux de communication.

¬ Le traitement des mesures des niveaux d'émission des BTS et des mobiles.

¬ La concentration de circuits routés vers le MSC.

¬ La gestion des liaisons de communications (niveau 2).

¬ Gestion des Handover.

¬ Contrôle d'admission des appels.

I.3. 1.2. Le sous-système d'acheminement NSS :

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

Il se compose de plusieurs équipements, en citant quelques-uns :

I.3. 1.2.1. HLR :

Base de données de localisation nominale de GSM Elle permet :

¬ Fourniture des informations d'un abonné à un VLR.

¬ Acquisition d'informations issues d'un VLR.

¬Acquisition des informations de chiffrement d'abonné.

I.3. 1.2.2. VLR :

Est une base de données qui mémorise de façon temporaire les données concernant tous les abonnés qui appartiennent à la surface géographique qu'elle contrôle. Elle permet:

¬ L'enregistrement des terminaux de passage.

¬ L'authentification des terminaux par contrôle du numéro IMEI.

I.3. 1.2.3. MSC :

Les MSC sont des commutateurs de mobiles généralement associes aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Le MSC géré l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover si le MSC concerné est impliqué. (Le handover est un mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion dune BTS vers une autre (handover inter BTS) ou, sur la même BTS d'un canal radio vers un autre (handover intra BTS). On parle de transfert automatique inter/intra cellule.

Le commutateur est un nœud important du réseau, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnes. En connexion avec le VLR le MSC contribue la gestion de la mobilité des abonnés (la localisation des abonnés sur le réseau) mais aussi la fourniture de toutes les télés services offerts par le réseau : voix, données, messageries... Le MSC peut également posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile.

I.3. 1.2.4. L'AUC :

Le Centre d'authentification est une fonction du système qui a pour but de vérifier si le service est demandé par un abonné autorisé, et ceci en fournissant soit les codes pour l'authentification que pour le chiffrage.

I.3. 1.3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS :

OSS (Opération Sub-System) permet l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre un opérateur de proposer des services de type « Voix » ses clients en donnant accès la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

I.3. 1.3.1. Présentation de I'OMC et du NMC :

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC (Operations and Maintenance Center) et les NMC (Network and Management Centre).

Cette organisation a été définie afin de permettre aux opérateurs télécoms de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs ...) et des fournisseurs.

Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi que les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC /MSC / VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau. Les différents OMC assurent une fonction de médiation.

I.3. 2. La 2.5G (GPRS) : abréviation de (General Packet Radio Service) est Un réseau GPRS est un réseau cœur. Qui a améliorer la prise en charge des services de données [1], ses caractéristiques :

- ✓ Débit théorique 171.2 kbps (jusqu'à 114 kbps en pratique).
- ✓ Technique d'accès de type F/TDMA.

- ✓ Commutations de circuits /commutations de paquets.
- ✓ Service voix et data (accès internet… etc.).

La figure 1.3 présente l'architecture du réseau GPRS.

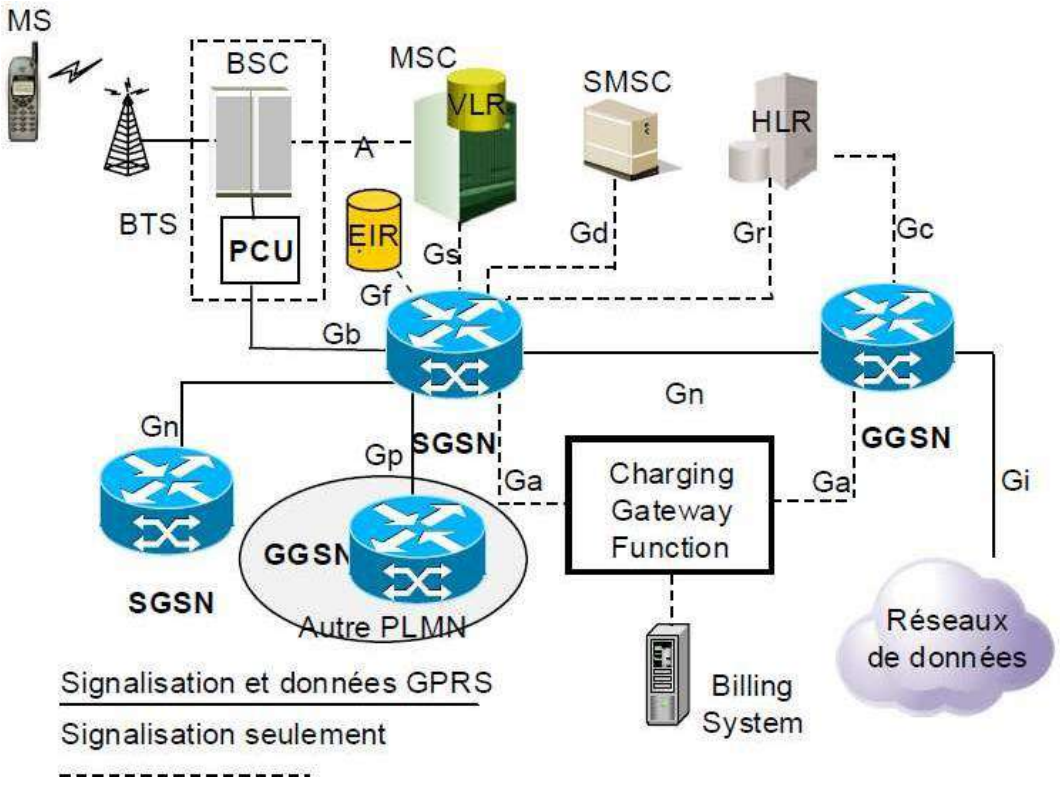


Figure 3 - Architecture du réseau GPRS [4].

L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités:

I.3. 2.1. Le nœud de service (SGSN) :

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

Le SGSN joue un râle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans une zone Donnée.

Le SGSN est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

I.3. 2.2. Le nœud de passerelle (GGSN) :

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

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

I.3.3. La 2.75G (EDGE) : abréviation de (Enhanced Data rates for GSM Evolution) technologie d'accès radio rendit possible des débits de l'ordre de 240 Kbit/s par cellule grâce à l'amélioration des techniques d'accès au canal radio[1], sont principales caractéristiques :

- ✓ Débit théorique 384 kbps (jusqu'à 150 kbps en pratique).
- ✓ Même technique d'accès que les deux précédentes.
- ✓ Quatre fois plus rapides que le GPRS.
- ✓ Ouverture aux mondes des applications multimédias.

I.4. Réseaux mobiles de troisième génération (3G) :

La 3g est un réseau mobile qui a un débit plus important et une meilleure latence que ces antécédences. Il existe plusieurs technologies 3G dans le monde. Chacune d'elles suivent les recommandations IMT2000.

Suivant les continents, la norme utilisée est différente :

- ✓ Europe : UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).
- ✓ Amérique : CDMA-2000.
- ✓ Japon et Corée : W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access).
- ✓ Chine : TD-SCDMA. [5]

I.4.1. L'UMTS :

L'UMTS est donc la norme de télécommunications de troisième génération utilisée en Europe est basée sur la technologie W-CDMA (utilisée au Japon et Co²rée).

Elle a été développée à partir de 2004 avec la Release 99 (R99). Sa bande de fréquence de fonctionnement est 1900MHz-2000MHz. Les spécifications techniques de cette norme sont développées au sein de l'organisme 3GPP. [5] L'architecture UMTS telle que décrite dans la release 99 du 3GPP s'appuie sur une nouvelle interface radio, l'UTRAN, et une évolution des cœurs réseaux GSM et GPRS (adaptation des équipements existant ou nouveaux équipements) pour gérer les flux des domaines circuit et paquet. [6]Ce réseau est composé de deux réseaux déjà existant le GSM et GPRS avec la mise en place de nouveaux éléments sur :

I.4. 1.1. Le réseau radio:

a) Le node B : le node B est une antenne, qui gère la couche physique de l'interface radio. Il est L'équivalent du BTS, Il régit le codage du canal, L'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement. Ils communiquent directement avec le mobile sous l'interface dénommée Uu.
b) Le RNC : Le RNC est un contrôleur de Node B. Il est L'équivalent du BSC, contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC pour définir procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des Node B) et le réseau.

Le RNC s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit. Le RNC est directement relié à un Node B, il gère alors :

· Le contrôle de charge et de congestion des différents Node B.

· Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées ...).

II existe deux types de RNC :

· Le Serving RNC qui sert de passerelle vers le réseau.

· Le Drift RNC qui a pour fonction principale le routage des données.

Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet.

I.4. 1 .2. Le réseau cœur :

il se décompose en deux parties :

a) le domaine circuit : permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications multimédia), qui nécessitent un temps de transfert rapide.il utilise : MSC/VLR et GMSC (du GSM).

b) le domaine paquet **:** permettra de gérer les services non temps réels dédiés à la navigation sur internet (jeux en réseau, e-mail), qui nécessitent pas un temps de transfert rapide, donc il a un débit sept fois plus rapide .il utilise : SGSN et GGSN (du GPRS). [7]

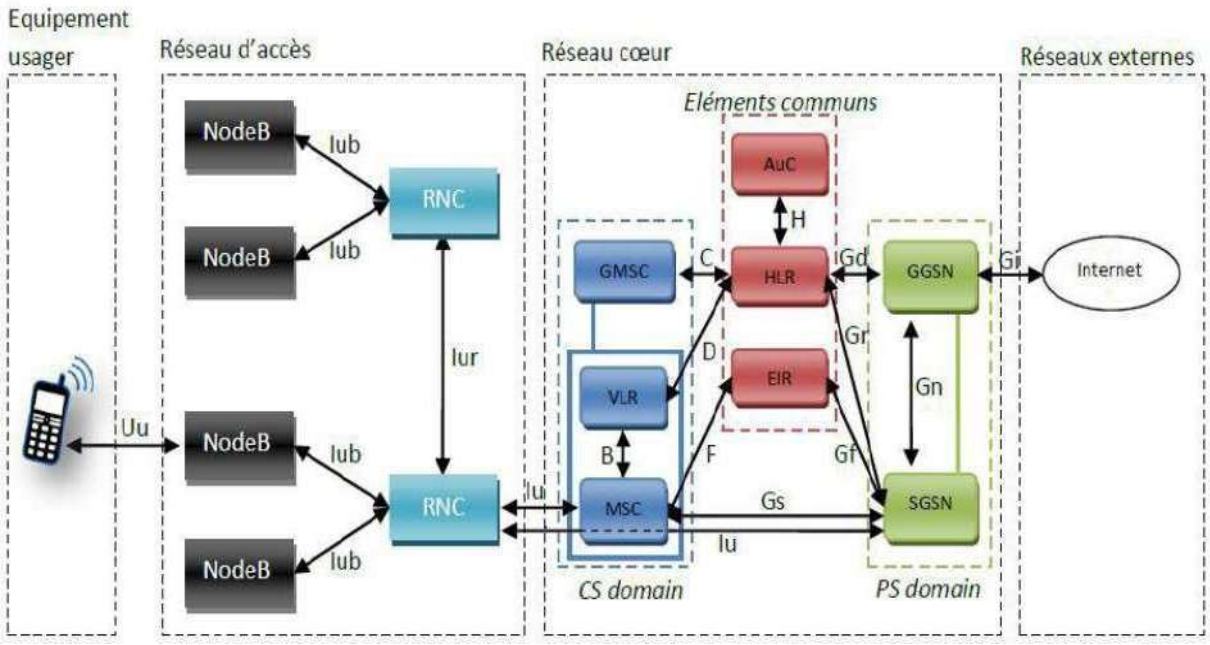


Figure 4 - Architecture du réseau UMTS. [8]

Dans ce qui suit, nous donnons quelques-unes des évolutions de l'UMTS, car c'est cette famille de technologies qui va donner naissance au LTE. L'UMTS a été normalisé par l'IUT par le groupe IMT 2000, utilisant deux modes de duplexage :

- FDD (W-CDMA) : Utilisant les bandes 1920-1980 Mhz /UL et 2110-2170 Mhz/DL avec des canaux de largeur de 5 Mhz pouvant atteindre un débit de 384 kbps jusqu'à 2 Mbps, une largeur de bande de 3.84 MHz. Le W-CDMA autorise la connexion simultanée à plusieurs cellules, renforçant la qualité des communications lors du changement de cellule en mobilité [9].

- TDD (TD-SCDMA) : Utilisant une même bande pour les deux liens (1900-1920Mhz ou 2010 - 2025 Mhz), une largeur de bande de 1.28 MHz.

I.4.2. Le HSPA (3.5G) :

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

- HSDPA (High Speed Downlink Paquet Access) pour la voie descendance.
- HSUPA (High Speed UplinkPacket Access) pour la voie montante. Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système [9].
- Débit de 5.8Mbps sur la voie montante avec les modulations QPSK et BPSK.
- Débit de 14.4Mbps sur la voie descendante avec les modulations QPSK et16QAM.
- Technique d'accès : W-CDMA.

L'innovation majeure du HSPA demeure la transition vers la commutation de paquets permettant une gestion dynamique des ressources radio entre utilisateurs.

I.4.3. Le HSPA+ (3.75G) :

- ✓ Normalisé par le 3GPP en 2007 dans les re leases 7 et 8, connu sous le nom de 3G++.
- ✓ Débit de 42 Mbps sur la voie descendante avec la modulation 64-QAM.
- ✓ Débit de 11 Mbps sur la voie montante avec la modulation 16-QAM.
- ✓ Technique d'accès par codes W-CDMA.
- ✓ L'adoption de la technologie MIMO.
- ✓ Prise en charge des utilisateurs always-on.

I.5. Réseaux mobiles de quatrième génération (4G) :

Les réseaux de quatrième génération (4G) représentent une évolution des communications sans fil qui sont basés sur l'infrastructure existante, sur l'interconnexion des réseaux déjà déployés. On peut dire qu'il s'agit d'un réseau de réseaux. Ce pas évolutif semble assez naturel dans les conditions ou les opérateurs ont investi beaucoup dans les réseaux de troisième génération et il y a plusieurs types de réseau à choisir. La 4G est la quatrième génération de réseau mobile. Elle est la norme succédant à la 3G, on étudiera cette génération plus en détail dans le prochain chapitre.

I.6. Réseaux mobiles de cinquième génération (5G) :

La 5G fournira la connectivité sans fil pour un large éventail de nouvelles applications présentées sur la Figure 1.6 : La 5G va pénétrer dans chacun des éléments de notre société future et créer un écosystème d'information multidimensionnel centré sur l'utilisateur. Elle va briser la limitation de temps et d'espace pour permettre une expérience utilisateur immersive et interactive. La 5G raccourcira également la distance entre l'homme et les choses, et mettre en œuvre une intégration transparente pour réaliser une interconnexion facile et intelligente entre les personnes et toutes les choses. 5G nous permet de réaliser la vision : « L'information est à portée de main, et tout sera resté en contact », La 5G utilise des fréquences de diffusion ultra-hautes (UHF entre 6-300 GHz) c.-à-d. les ondes millimétriques pour transférer rapidement d'énormes quantités de données.

Un grand nombre de cas d'utilisation ont été proposés par différentes organisations. L'internet mobile et l'Internet des objets (IoT) sont les deux principaux moteurs du marché de développement futur des communications mobiles, et ils déclencheront une grande gamme de cas d'utilisation.



Figure 5 - Applications de la 5G.

I.6.1. Objectifs de la 5G :

La 5G est l'Internet du futur. Cette technologie comprendra un réseau d'accès radio et un cœur de réseau convergent combinant accès fixe et accès mobile. Il s'agit notamment d'augmenter les débits et la capacité des réseaux, mais aussi de préparer l'évènement de « l'internet des objets ».Parmi les principaux objectifs :

- De plus gros forfaits data : le volume de données devra être 1000 fois plus élève.
- Moins d'antennes : le nombre de terminaux pouvant être connectés par antenne devra être 100 fois supérieur, mais le nombre d'antennes dépend surtout des fréquences utilisées.
- Les meilleurs débits (1 Gb par seconde).
- Un temps de « latence » plus court donne l'impression que le réseau est très réactif.
- Plus de batterie, moins de consommation.

I.6. 2. L'architecture de réseau 5G et ses services :

Un réseau **5G** est composé d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau cœur 5G (5GC). Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NG-RAN), qui utilise la nouvelle interface radio 5G(NR), et/ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacents, qui prend en charge les services différenciés QOS. [10]

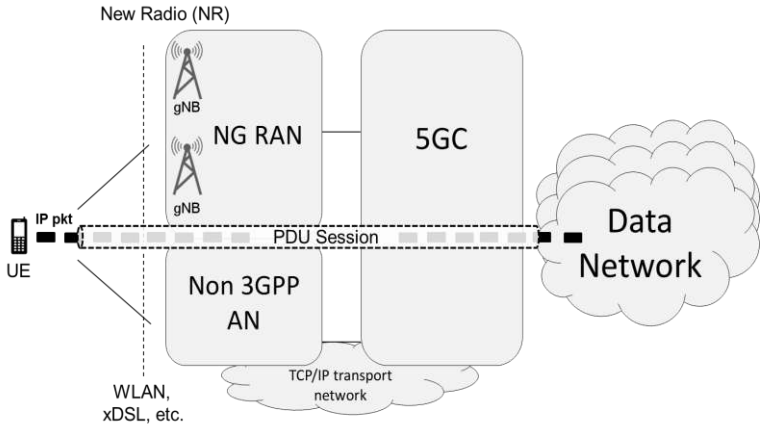


Figure 6 - l'architecture de réseau 5G.

Comme le montre la figure I.5 le réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (UE) à des réseaux de données externes. La session PDU représente le service de connectivité 5G, elle constitue par une séquence de tunnels NG dans le 5GC plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes" relie finement le UE à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur .figure I.7

Une session PDU est très similaire à un porteurs EPS à LTE, sauf pour le modèle QOS et les unités de données des utilisateurs supportées. En effet, une session PDU peut transporter non seulement les paquets IP de l'utilisateur mais aussi l'ETHERNET où les cadres non survenus, permettant ainsi une communication de la couche-2 entre les groupes d'UE. Le nouveau modèle QOS 5G est basée sur le nouveau concept de flux de QOS, où un flux est la plus grande granularité de la différentiation QOS.

Les différents flux de QOS peuvent appartenir à une seule session PDU.

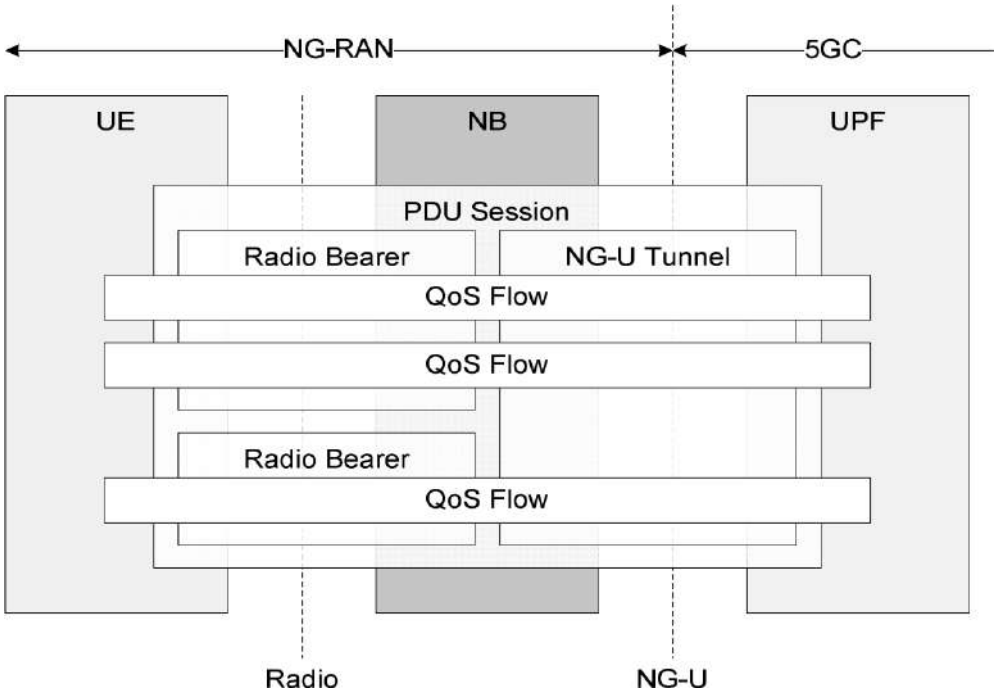


Figure 7 - session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP).

Les divisions entre les fonctions 5G exécutées dans le NG-RAN et le 5G cœur, en bordure, le NG-RAN est le responsable de l'établissement, la maintenance et la libération des parties des sessions PDU qui traversent l'interface radio. Il face le problème de l'insuffisance physique (ex : interférences, réduction énergétique etc.), les handover inter-gNB, et le multiplexage de la session (planification).les fonctions de 5GC gèrent les parties restantes des parties PDU ainsi que tous les autres processus non liés à l'accès radio (gestion de la mobilité, sécurité adresses IP, allocation etc.)

- **New Generation Radio Acces Network (NG-RAN) :**

Comme représenter dans la figure I.8, le NG-RAN s'agit d'un ensemble de stations de bases 5G, appelées gNBs, qu'elles sont connectées au 5GC à travers un ensemble d'interfaces logiques. Les gNBs peuvent êtres interconnectées à travers l'interface Xn pour améliorer les fonctions de mobilité (exp. handover) et de gestion (coordination d'interférences intercellulaires). Le fonctionnement de la gNB est parfois réparti. Dans ce cas, l'architecture résultante est formée par une unité centrale (gNB-CU) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (gNB-DU) et connecter à une carte

radio distante (RRH). L'unit centrale est encore divisée en deux parties, une pour les fonctions de plan de contrôle (gNB-CU-CP) et l'autre pour les fonctions de plan d'utilisateur (gNB-CU-UP).

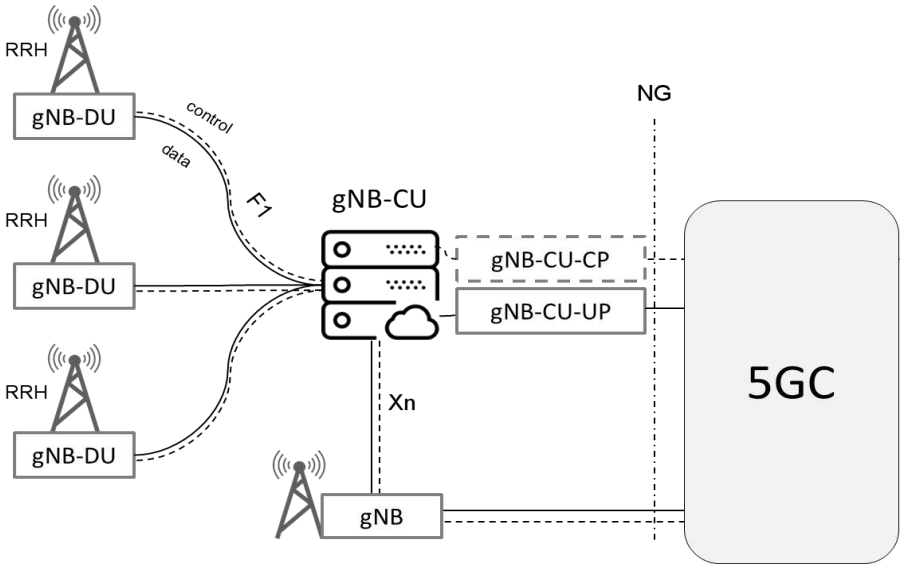


Figure 8 - Architecture de NG-RAN.

- **5G Core Network (5GC) :**

La décomposition des fonctions exécutées par les noeuds de réseau des générations précédentes a conduit à une architecture 5G complètement définis en termes de fonctions de réseau exposées sous formes de services, illustré dans la figure I.9 la dernière 'F' dans les nos des blocs représente fonction.

Comme se produit dans le NG-RAN, il y a une séparation entres les plan contrôle et utilisateur. Dans le plan utilisateur on trouve une ou plusieurs fonctions (UPFs), qui effectuent principalement le transfert de paquets entre les différents tunnels de NG-U Figure I.8 qui forment la session PDU. Toutes les autres fonctions du réseau appartiennent au plan contrôle.

Un autre changement radical par rapport aux générations précédentes est la modélisation d'interface, qui a été passé de " l'orientation-bit point-à-point " (bit-oriented point-to-point) vers " l'orientation-web basé-service " (web-oriented service-based).En effet, 5GC a une architecture basé sur le service applicable par tout, les procédures sont définis comme des services de sorte qu'il est possible de les réutiliser.
Il existe une interface point-à-point normalisée, soi réelle où logique, entre toute paire d'entités de réseau 2g, 3G et 4g en interaction. Cette interface utilise un protocole spécial orienté-bit. Dans le core 5G, les interactions entre les entités du plan contrôle utilisent des interfaces basées sur les services prises en charge par des outils web tels que HTTP/2, REST et JSON. [10]

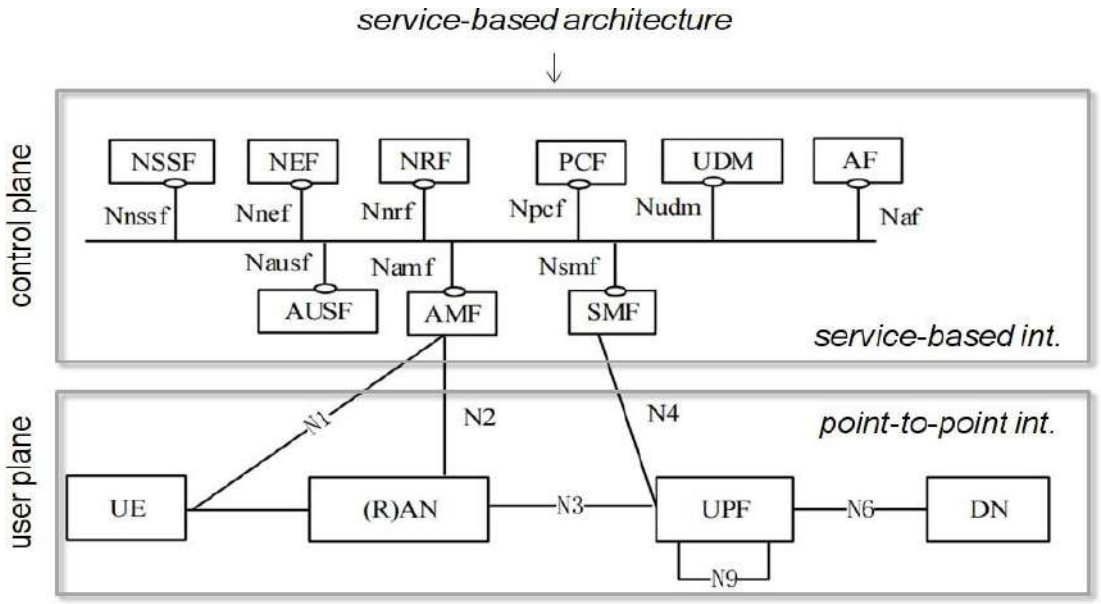


Figure 9 - architecture du système 5G, no-roaming. [11]

I.7. conclusion :

A la fin de ce chapitre on note que la capacité ainsi que les débits offerts par les générations mobiles ont développé, ce développement radical est dû à des nouvelles techniques inventées par les opérateurs, malgré que les bandes de fréquences n'a pas changé.

Au chapitre suivant on va particulièrement motionner la LTE, qui notre thème de recherche.

Chapitre II :

Description de la 4G/LTE

II.1. Introduction :

Le réseau 4G (4ème génération) est proposé comme future génération des réseaux de mobiles après la 3G (3ème génération). Ce réseau a également pour objectif d'améliorer la quilité. Avec le réseau 4G, un utilisateur pourra se connecter où qu'il se trouve : à l'intérieur des bâtiments avec les technologies Bluetooth, UWB ou WiFi…, à l'extérieur (dans la rue et les lieux publics) avec l'UMTS ou le WiMAX… En général, le passage d'un réseau à l'autre deviendra transparent pour l'utilisateur. Dans ce chapitre en va définir la LTE, ces caractéristiques, son architecture et ces techniques d'accès.

II.2. Définition de la quatrième génération :

Dans le début des années 2000, plusieurs opérateurs mobiles et équipementiers télécoms et organisations se sont réunies dans le but de développer un réseau mobile dit de nouvelle génération basé sur la 3G et appelée LTE (Long Term Evolution). Le principal avantage de ce nouveau standard est de permettre des débits pouvant aller jusqu'à 1 Gbps en vitesses fixes (stable), et 100 Mbps pour les utilisateurs mobiles [12].

Au-delà de la LTE, nous avons la LTE-Advanced (4G), dénommée LTE-A, déployée à partir de 2012 et définie par la release 10/3GPP dans le but d'augmenter le débit en utilisant plusieurs porteuses (agrégations porteuses). Dans ce qui suit, nous allons détailler en profondeur la 4G.

II.3. L'objectif de la 4G :

La 4ème génération vise améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter 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 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 4ème génération sont les suivants [13] :

A. Assurer la continuité de la session en cours.
B. Réduire les délais et le trafic de signalisation.
C. Fournir une meilleure qualité de service.
D. Optimiser l'utilisation des ressources.

E. Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
F. Minimiser le cout de signalisation.

II.4. Caractéristiques des systèmes sans fil 4G :

Voici quelques fonctionnalités possibles des systèmes 4G:

A. Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, Internet sans fil et autres services large bande.
B. Haute vitesse, haute capacité et à faible coût par bit.
C. La mobilité mondiale, la portabilité des services, réseaux mobiles évolutifs.
D. De commutation transparente, la variété de services basés sur la qualité de service (QoS).
E. Une meilleure planification et des techniques de contrôle d'admission d'appel.
F. Les réseaux ad-hoc et réseaux multi-sauts.

II.5. Architecture de LTE :

L'architecture du réseau 4G/LTE ou Evolved Packet System (EPS), se divise en trois parties essentielles comme illustrée [14] par la Figure II.1 :

- ✓ L'équipement usager UE (User Equipement).
- ✓ Le réseau d'accès E-UTRAN (Evolved Universal Terrastrial Access Network).
- ✓ Le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core).

II.5.1. User Equipment (UE) :

Il regroupe les éléments suivants :

- ✓ L'équipement mobile (ME ou Mobile Equipment) assure la gestion de la connexion avec le réseau mobile (établissement, reconfiguration, relâche) et la continuité de service en mobilité, de façon transparente pour l'équipement terminal. C'est donc cet équipement qui met en œuvre les protocoles et les mécanismes propres à la technologie mobile utilisée.
- ✓ L'équipement terminal (TE ou Terminal Equipment) désigne l'élément physique sur lequel l'utilisateur accède aux services du réseau mobile. Il peut s'agir d'un ordinateur personnel, d'un appareil photo ou de tout autre équipement domestique utilisant un équipement mobile externe ou intégré pour l'accès au

réseau mobile. Il échange donc essentiellement des paquets de données IP avec le ME.

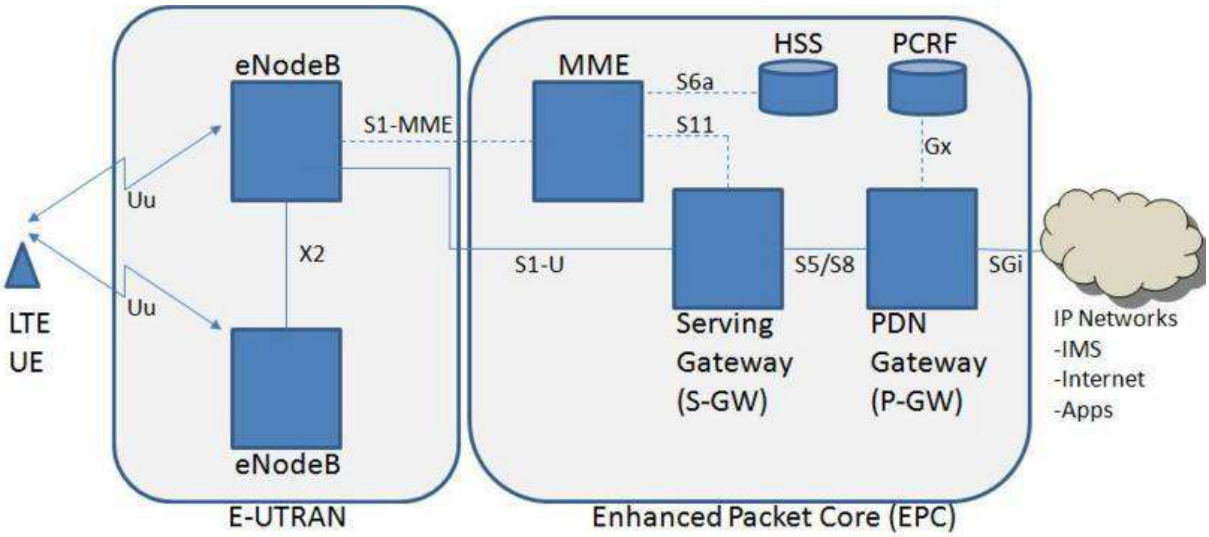


Figure 10 - Architecture d'un réseau LTE [15]

II.5.2. E-UTRAN (Evolved UTRAN):

Il constitue la partie radio du réseau et comprend (cf. Figure II.2) :

II.5.2.1. L'eNodeB :

est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. Il a pour responsabilité de gérer les tâches suivantes :

- ✓ Gestion des ressources radio (RRM).
- ✓ Contrôle du porteur radio.
- ✓ Contrôle de l'admission radio.
- ✓ Contrôle de la connexion en mobilité.
- ✓ Ordonnancement de l'UE (UL et DL).
- ✓ Sécurité en accès strate (AS).
- ✓ Effectuer les mesures comme une base pour l'ordonnancement et la gestion de la mobilité.
- ✓ Compression de l'en-tête IP.
- ✓ Le cryptage des données utilisateur.
- ✓ Routage des données utilisateur entre eNodeB et S-GW.
- ✓ Traitement de la pagination originaire du MME.

- ✓ Traitement des messages de diffusion originaires du MME et du système d'opérations et de maintenance (OMS).
- ✓ Sélection de l'élément MME dans le cas où l'UE nefourni pas cette information.
- ✓ Traitement des messages PWS, incluant ETWS et CMAS.

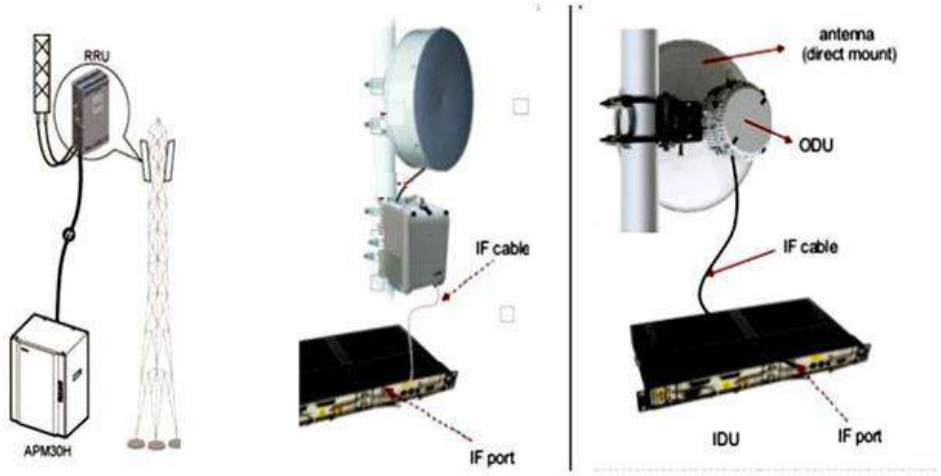


Figure 11 - DBS3900 eNodeB HUAWEI

- L'interface S1 qui consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1- Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.
- L'interface X2 définie entre eNodeBs adjacents.

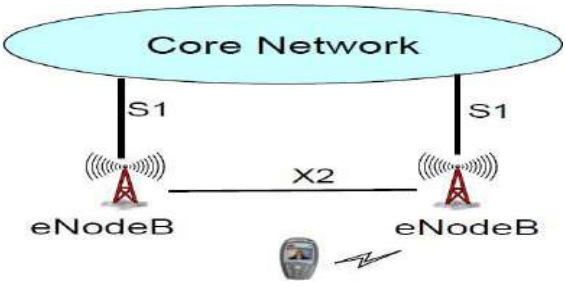


Figure 12 - Architecture E-UTRAN

II.5.3. EPC:

L'UE communique avec l'EPC par le biais de l'E-UTRAN. Lorsqu'un UE est allumée, l'EPC est responsable de l'authentification et l'établissement de la connexion initiale nécessaire pour toute la communication qui s'en suit. A la différence de l'UMTS, le LTE a une architecture dite toute IP, qui supporte uniquement les données à commutation par paquets (PS) [14].

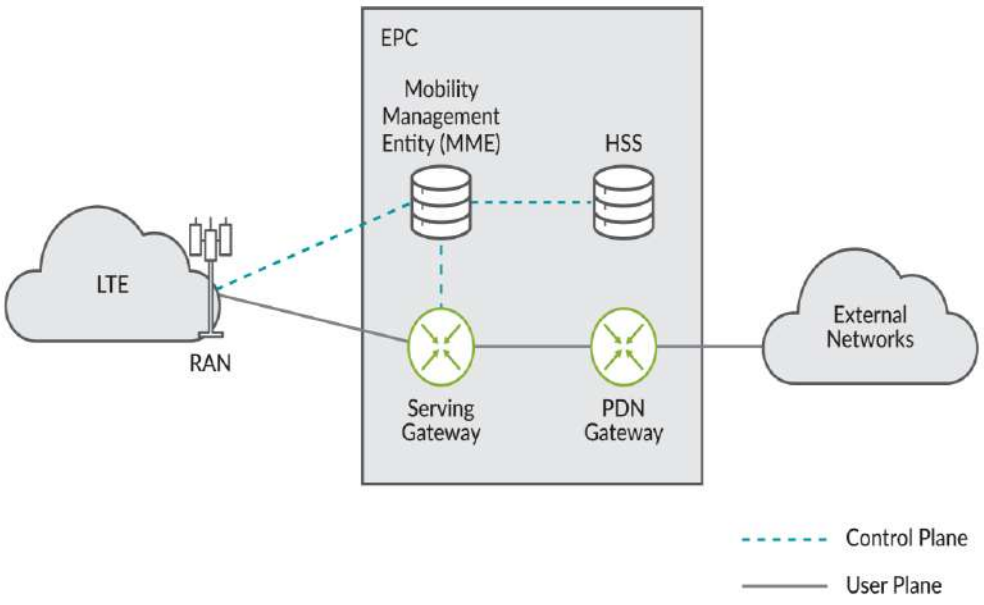


Figure 13 - Architecteur de l'EPC

L'EPC d'un opérateur LTE est principalement constitué de :

II.5.3.1. Le MME :

Gère la signalisation (plan de contrôle) et donne l'accès aux bases de données.

II.5.3. 2. Le SGW:

qui transporte le trafic de données (plan utilisateur) et concentre le trafic de plusieurs eNodeB.

II.5.3. 3. Le P-GW:

Sert de passerelle vers le réseau Internet, a aussi pour rôle d'attribuer les adresses IP aux terminaux LTE.

II.5.3. 4. Le HSS:

Contient les identifiants et les droits des abonnés.

II.5.3.5. PCRF:

Cette entité fournit les règles de taxation des flux usagers et permet également de demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des « dedicated bearer » sur la base de la qualité de service (QoS) souhaité par l'usager.

II.5.4. Les interface de communication de LTE:

Les différentes entités du réseau LTE sont reliées entre elles par diverses interfaces à savoir [16]:

- Uu : entre le terminal mobile et l'eNodeB.
- X2 : entre les eNodeBs du réseau d'accès E-UTRAN, pour gérer le handover d'un mobile d'une cellule radio vers une autre.
- S1-U : entre l'eNodeB et le S-GW, pour le transport de données utilisateurs.
- S1-MME : entre l'eNodeB et le MME, pour le transport de la signalisation.
- S11 : entre le S-GW et le MME, pour les fonctions de gestion de session.
- S5 : entre le S-GW et le P-GW du même réseau, pour le transport des données des utilisateurs plus quelques messages de signalisation.
- S8 : entre le S-GW et le P-GW d'un autre réseau.
- S6a : entre MME et HSS, utilisée par le MME pour chercher les souscriptions et les informations d'authentification dans le HSS.
- S10 : entre les MME, pour l'échange de contexte et d'autres informations.
- S7 ou Gx : entre le P-GW et le PCRF.
- SGu : entre le P-GW et le réseau externe (internet) [11].

II.5.5. Architecture protocolaire :

L'architecture LTE/EPC fait appel à une série de protocoles pour son fonctionnement. On distingue les protocoles du plan usager et les protocoles du plan de control. Ces deux plans sont matérialisés par des piles protocolaires partageant un tronc commun (la partie inférieure) et qui se distinguent notamment dans les interactions avec

les couches supérieures : alors que la signalisation NAS est véhiculée par le plan de contrôle de l'interface radio, son plan usager permet de transporter sur celle-ci les paquets délivrés ou à destination de la couche IP.

II.5.5.1. Le plan de contrôle :

On distingue sur la figure suivante la pile protocolaire définie entre le MME et l'UE.

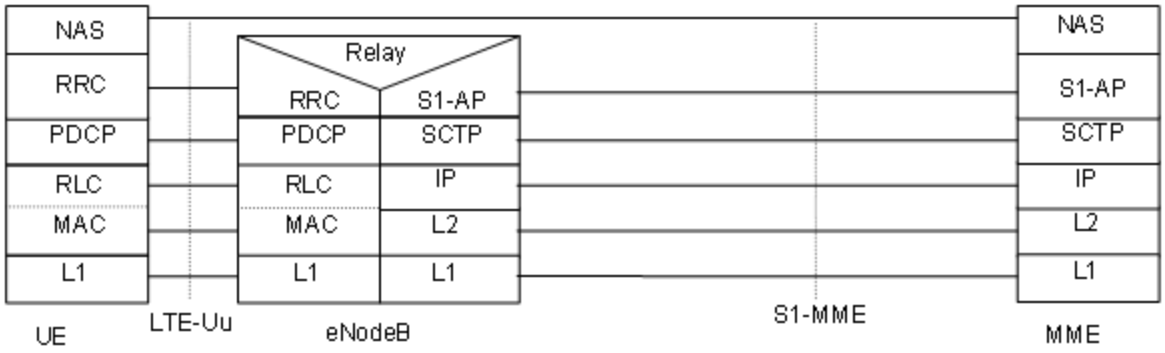


Figure 14 - Pile protocolaire défini entre le MME et l'UE.

II.5.5.2. Le plan d'usager :

Un paquet IP destiné à un UE est encapsulé par la P-GW et est transféré vers l'eNodeB au sein d'un tunnel, avant d'être transmis par celui-ci à l'UE. La fonction de tunnel est assurée par un protocole 3GPP dit GTP-U (GPRS Tunneling Protocol-User plane) et utilisé au sein des interfaces S 1, SS et S8. La figure suivante présente la pile protocolaire du plan usager.

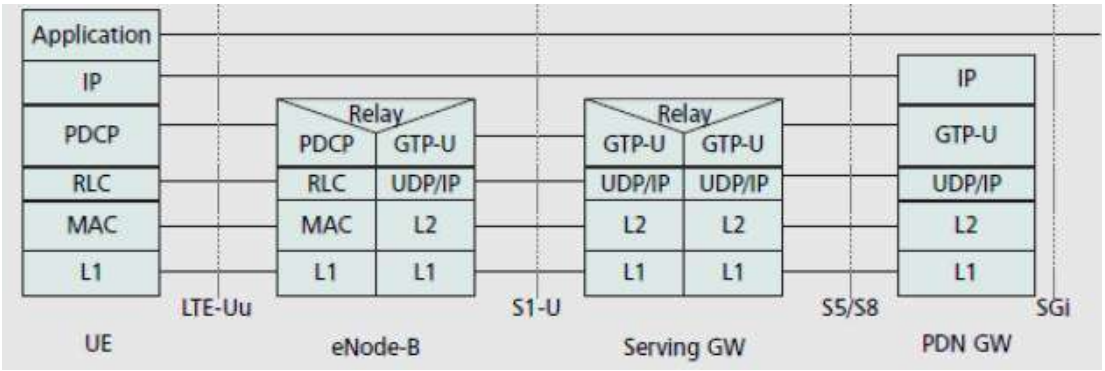


Figure 15 - Pile protocolaire plan usager

II.5.5.3. Les couches de l'interface Radio :

Cette interface fournit des connexions entre le UE et l'eNodeB ; elle se compose de trois couches : la couche RRC, la couche2 et la couche Physique.

II.5.5.3.1. La couche RRC :

Permet de réaliser la fonction de contrôle de l'interface radio. RRC est connectée à la couche MAC et PHY afin de les configurer via des points d'accès de contrôle. C'est la spécificité de cette couche, véritable chef d'orchestre de l'interface radio. L'Envoie des messages paging pour localiser un UE.

- ✓ La gestion des connexions RRC (établissement, reconfiguration et relâchement).
- ✓ Le contrôle de mobilité en mode veille (sélection et ré sélection de cellule).
- ✓ La transmission de signalisation de la couche supérieure NAS.
- ✓ La diffusion des informations du système et le transfert de contexte vers un autre eNodeB.

II.5.5.3.2. La couche 2:

Constituée de trois sous-couches: PDCP, MAC et RLC. Ces sous-couches interviennent pour le transfert des données, du plan usager comme du plan de contrôle. Seule la sous-couche PDCP est conçue pour traiter différemment les données de ces deux plans. Pour RLC et MAC, c'est la configuration qui détermine les éventuelles différences de traitement à appliquer aux flux.

- **PDCP (Packet Data Compression Protocol) :** assure des fonctions de sécurité et de transfert des données, la compression d'en-tête, le chiffrement des données et de la signalisation RRC, la protection de l'intégrité de la signalisation RRC, la détection et suppression des doublons (unité de données POCP reçues deux fois) et la remise en séquence des paquets.
- **MAC (Medium Acces Control) :** permet l'accès et l'adaptation au support de transmission grâce au mécanisme d'accès aléatoire sur la voie montante, à la correction d'erreurs par retransmission HARQ lors de la réception d'un

acquittement HARQ négatif, et aux allocations dynamique et semi-statique de ressources radio (scheduling).

- **RLC (Radio Link Control) :** assure les fonctions de contrôle du lien de données dévolues à la couche 2 du modèle OSI (Data Link Control) : détection et retransmission des PDU manquantes (en mode acquitté) permettant la reprise sur erreur ; la remise en séquence des PDU pour assurer l'ordonnancement des SDU à la couche supérieure (PDCP); l'utilisation de fenêtres d'émission/réception pour optimiser la transmission de données.

II.5.5.3.3. La couche physique :

C'est la couche I, appelée également Layer I (LI) ou couche PHY. Son rôle est d'assurer la transmission des données sous une forme capable de se propager dans l'air et de résister aux différentes perturbations inhérentes au canal radio mobile. D'un point de vue fonctionnel, elle offre un service de transport sur l'interface air à la couche MAC.

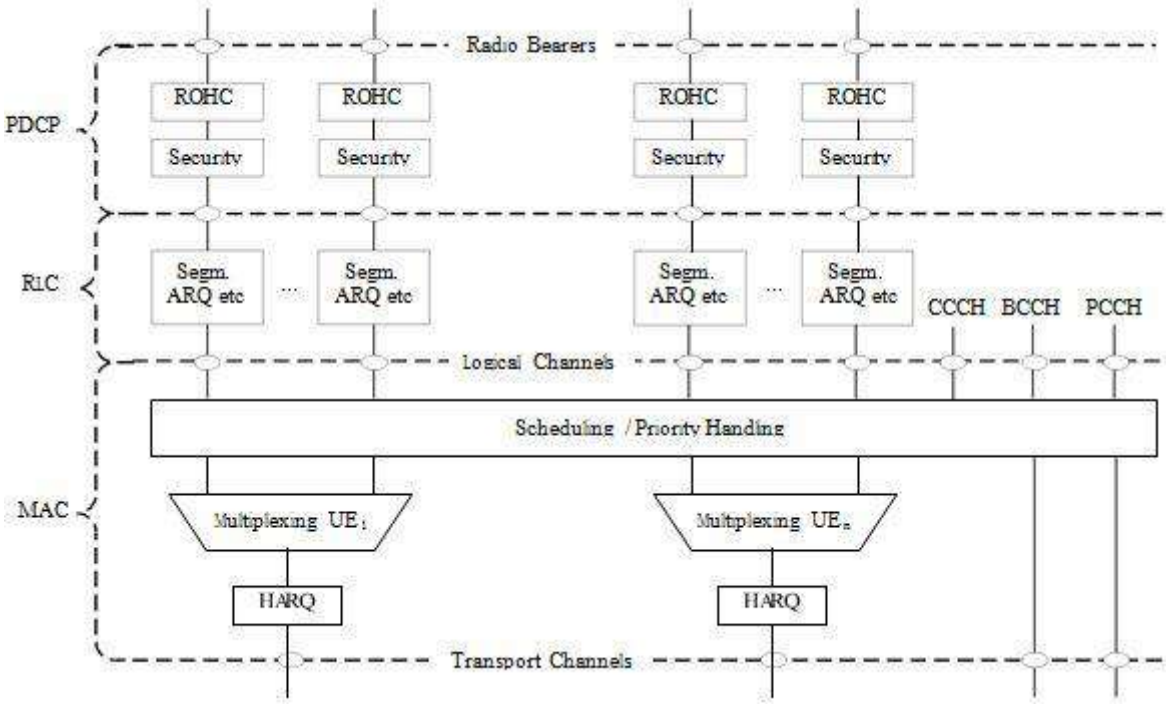


Figure 16 - Les couches de l'interface Radio

II.6. Techniques D'accès et Technologies utilisées dans le LTE:

Deux technologies sont intégrées dans le LTE, notamment l'OFDM et le MIMO, cependant les techniques d'accès sont : L'OFDMA (en DownLink), Le SC-FDMA(en UpLink).

II.6.1. L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing):

L'OFDM offre plusieurs avantages pour les systèmes radio mobiles. Entre autres, il bénéficie d'une grande immunité contre l'interférence entre symboles créée par les multi-trajets, et permet de gérer simplement des largeurs de bande variables et potentiellement grandes. Le principe de l'OFDM consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (des émetteurs, par exemple) indépendants et à des fréquences différentes. Le diagramme dans la figure ci-dessous met en évidence les caractéristiques d'un signal OFDM en temps et fréquence [17].

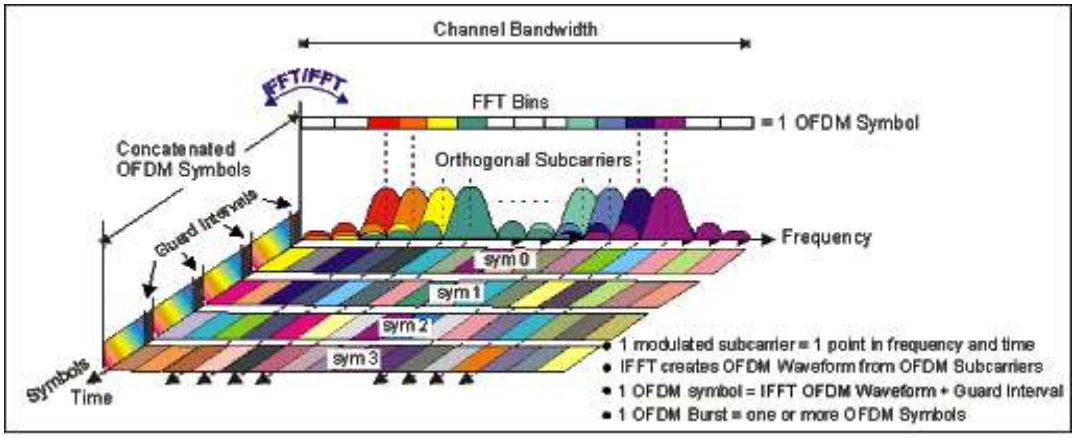


Figure 17 - Représentation du signal OFDM en temps et fréquence.

II.6.2. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Accesses):

L'OFDMA est une technique, à la fois, de multiplexage basé sur l'OFDM et d'accès multiple qui permet de multiplexer un flux de données issus de plusieurs utilisateurs grâce à l'utilisation de la technique de sous-canalisation. L'OFDMA consiste à introduire trois types de sous-porteuse :

- Sous porteuses pilotes pour la synchronisation et l'estimation du canal.
- Sous porteuses de données pour la transmission de données.
- Sous porteuses nulles au symbole pour lutter contre l'interférence Co-canal.

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

II.6.3. SC-FDMA:

Pour la voie montante, on utilise un dérivé de l'OFDM appelé SC-FDMA qui permet une meilleure couverture pour les amplificateurs de puissance utilisés par les UE. Le SC-FDMA offre des performances et une complexité globale similaire à l'OFDMA mais utilise une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse. La Figure II.9 montre la différence entre les deux méthodes d'accès OFDMA et SC-FDMA [18]:

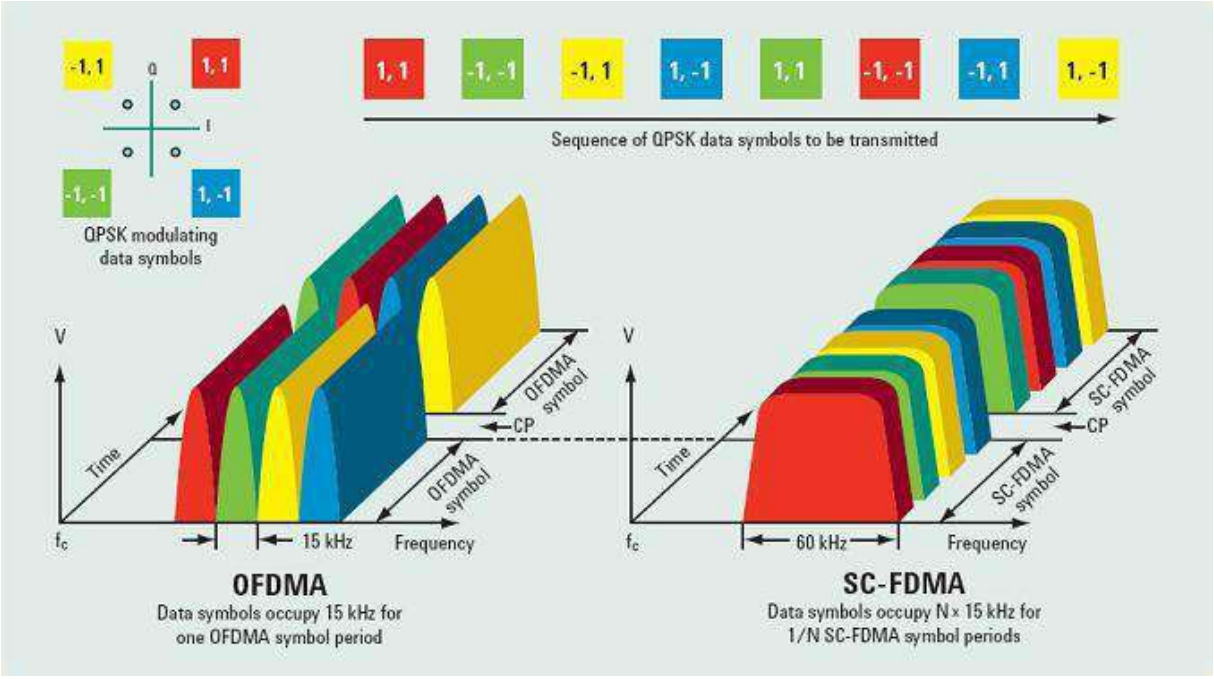


Figure 18 - Différence entre OFDMA et SC-FDMA pour l'allocation des porteuses [18].

II.6.4. Structure de la trame LTE :

La trame générique du LTE a une durée de 10 ms, décomposée en 20 slots de 0,5 ms chacun, numérotés de 0 à 19.

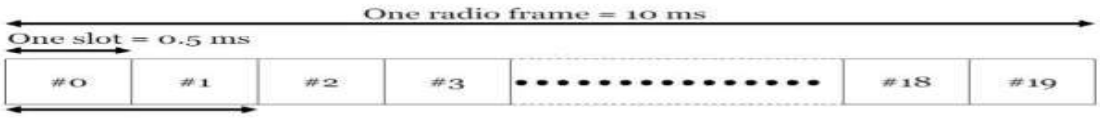


Figure 19 - Une trame LTE [16]

Un duplexage peut être effectué afin d'attribuer les slots d'émission et de réception.
Deux types de duplexage existent pour le LTE :

• **Mode FDD :** les deux sens de liaison radio opèrent sur des fréquences différentes.

• **Mode TDD :** les deux sens utilisent les mêmes fréquences mais avec des intervalles de temps différents (appelé slot).

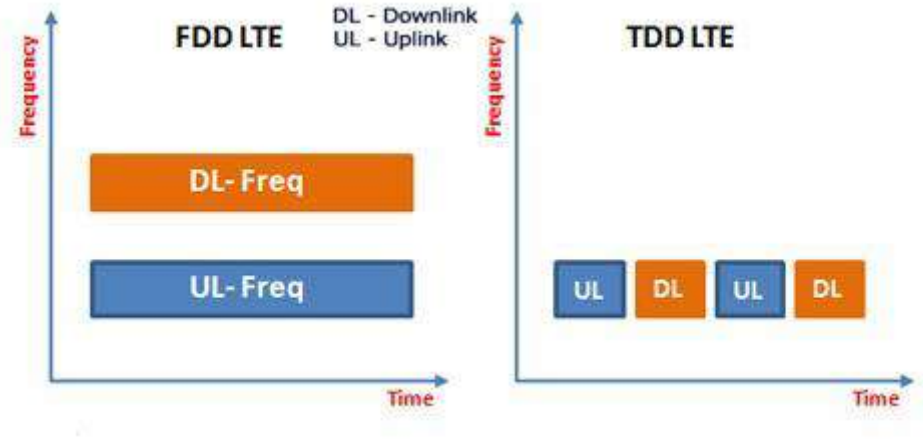


Figure 20 - Différence entre FDD et TDD [19].

II.6.5. Concept de bloc de ressources :

- Chaque trame de 10 ms comprend 10 sous-trames de 1 ms, chacune comprenant 2 créneaux de 0,5 ms.
- Chaque créneau contient N blocs de ressources [6 < N < 110].
- Chaque PRB contient 6-7 symboles modulés chacun par une de 12 sous-porteuses avec un espacement de 15 kHz.

- Allocation minimale de 0,5ms x 180KHz.
- Des signaux pilotes sont insérés à des endroits prédéterminés pour la synchronisation [14].

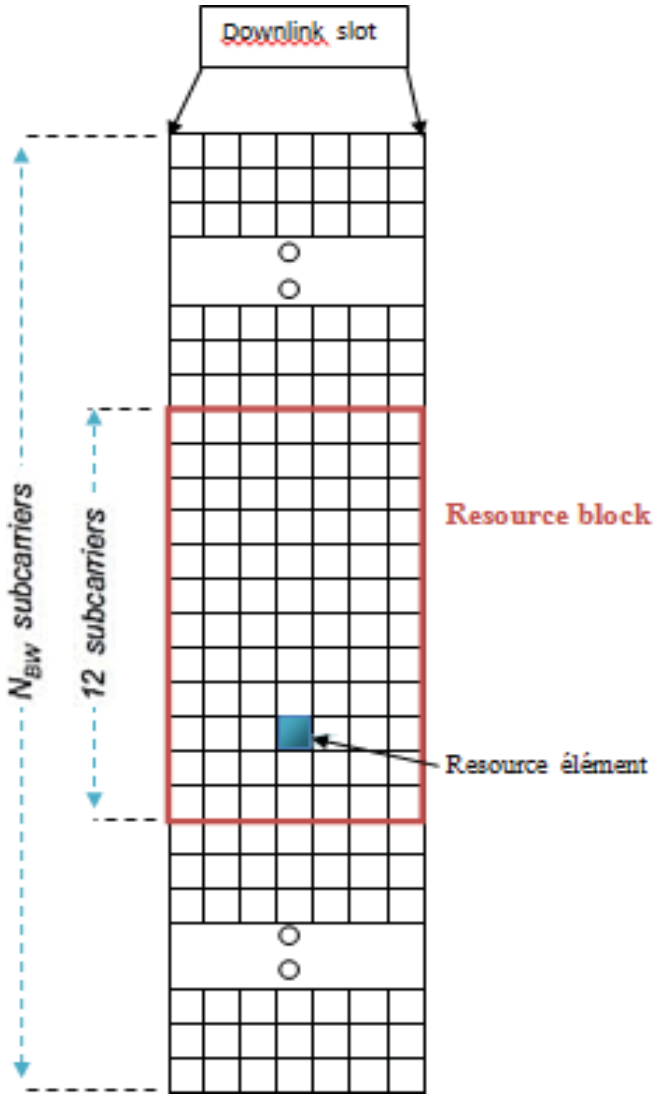


Figure 21 - Bloc de ressources [20]

II.6.6. MIMO (Multiple Input Multiple Output) :

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

L'opération MIMO nécessite une connaissance à priori du canal. Les réponses impulsionnelles des canaux LTE sont déterminées par la transmission séquentielle de signaux de référence connus de chaque antenne de transmission. La figureII.13 suivante illustre un modèle MIMO [21] :

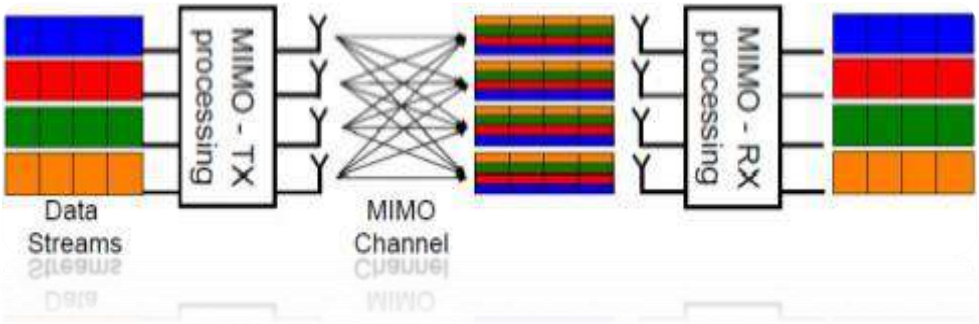


Figure 22 - Modèle d'un système MIMO.

D'autres variantes de la technologie d'antennes sont possibles à savoir : la SISO (Single Input Single Output), la MISO (Multiple Input Single Output) et la SIMO (Single Input Multiple Output).

II.7. Les canaux radios:

LTE, de manière similaire à l'UMTS, utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés : les canaux logiques, les canaux de transport et les canaux physiques.

II.7.1. Les canaux Logiques:

Un canal logique est associé à un ou plusieurs flux de données (ou de signalisation) qui possèdent des caractéristiques communes : typologie des données

transportées (plan usager ou plan de contrôle), priorité du flux, débit nominal (garanti ou non). Un canal logique est donc caractérisé par ce qu'il transporte, et non par la façon dont les données sont véhiculées.

Les canaux logiques se séparent en canaux de contrôle et canaux de trafic. Les canaux de contrôle transportent uniquement des informations du plan de contrôle, tandis que les canaux de trafic véhiculent exclusivement les données du plan usager.

Les différents canaux logiques définis pour l'interface radio du LTE sont :

- ✓ BCCH : canal DownLink, utilisé pour la diffusion d'informations de contrôle sur la cellule.
- ✓ PCCH : canal DownLink utilisé pour la notification d'appel.
- ✓ CCCH : canal utilisé pour la communication entre le terminal et l'E-UTRAN.
- ✓ DCCH : porte la signalisation dédiée à un utilisateur (RRC et NAS).
- ✓ DTCH : porte les informations de trafic dédiées à un utilisateur.

II.7.2. Les canaux transport:

Un canal de transport est caractérisé par la façon dont les données sont transportées sur les ressources physiques. Plusieurs canaux de transport sont définis dans l'interface radio du LTE pour les sens montant et descendant.

Les canaux utilisés en Downlink sont :

- ✓ BCH : pour la diffusion d'informations sur la cellule, (porte exclusivement le BCCH).
- ✓ DL-SCH : Utilisé pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager utilisé également pour transmettre les informations de cellule non portées par BCH.
- ✓ PCH : Pour diffuser les informations de paging sur l'ensemble de la cellule.

Les canaux de transport utilisés en uplink sont :

- ✓ UL-SCH : qui est l'équivalent du DL-SCH en UpLink.
- ✓ RACH : Il est utilisé Pour l'établissement d'une connexion RRC avec la station de base, son rétablissement, lors d'un handover ou pour transmettre des données.

II.7.3. Les canaux physiques:

Ce sont les canaux physiques qui transportent les données des utilisateurs ainsi que les messages de contrôles qui lui sont parvenus des canaux logiques. Certains canaux physiques sont utilisés pour la liaison descendante, d'autres sont réservés pour la liaison montante [14].

Les canaux physiques en Downlink :

- ✓ PDSCH : Pour transmission du DL-SCH et du PCH
- ✓ PDCCH : pour donner des allocations d'ordonnancement à l'UE sur PDSCH ou PUSCH.
- ✓ PBCH : Pour la transmission du BCH.
- ✓ PCFICH : qui informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH.
- ✓ PHICH : porte les acquittements d'HARQ.

Les canaux physiques en UpLink sont :

- ✓ PUSCH : Pour la transmission du UL-SCH ; il porte également les informations de contrôle en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps.
- ✓ PUCCH : qui transporte les informations de contrôle, comprenant les réponses ACK et NACK du terminal aux transmissions DownLink.
- ✓ PRACH : il transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux, le PRACH porte le RACH.

La figure suivante illustre l'association entre les différents canaux en uplink et downlink.

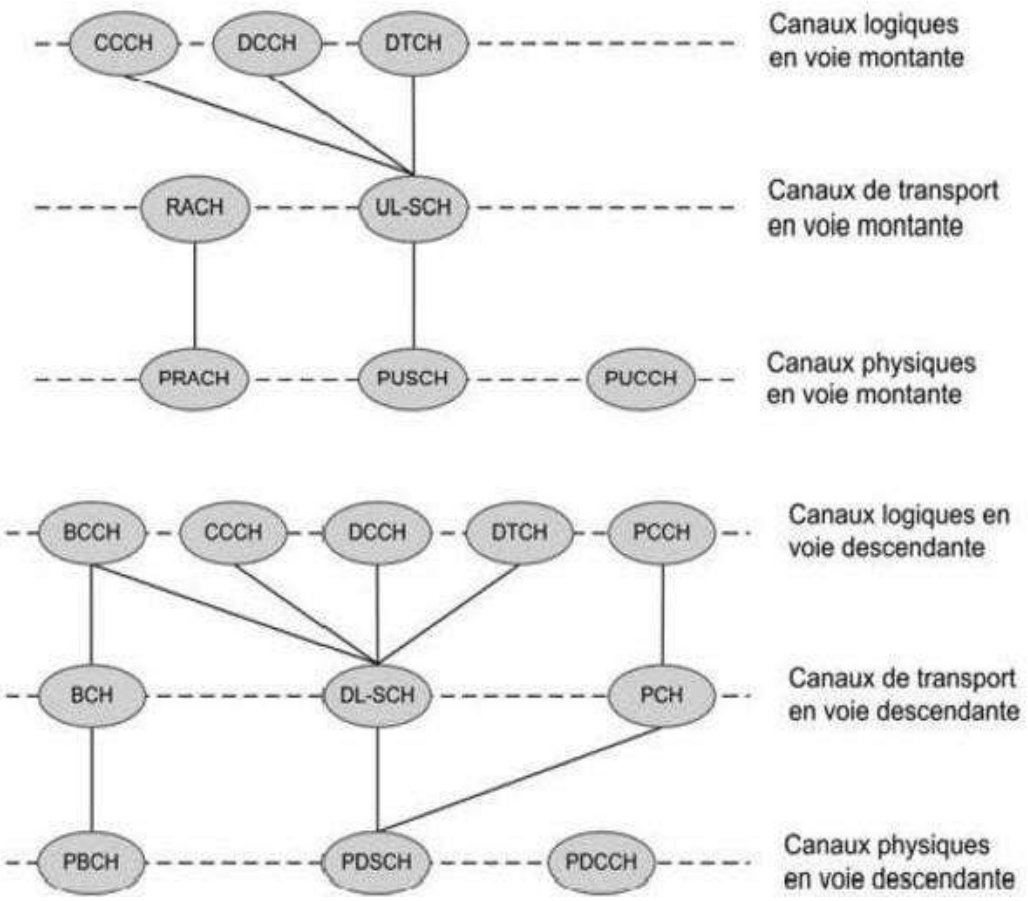


Figure 23 - Association entre les différents canaux en UL et DL [22].

II.8.Conclusion :

On peut déduire que la 4g a pu atteindre des débits plus élevés et des temps de répences plus courtes que les générations antécédentes, grace à les renovations sur les téchniques d'accés et quelques entités. Le chapitre d'après on va dévoiler les indicateur QoS dans le reseau LTE.

ChapitreIII : Qualité de service

(QoS) dans la 4G

III.1. Introduction :

La QoS de la 4G est devenue une partie importante de la création et la planification d'un réseau 4G. Car ce dernier est créé pour satisfaire au besoin croissant des consommateurs (ex. transitions bancaires) [23]. Ce chapitre sera un passage sur la définition, les paramètres, les model et les procédés d'évaluation du QoS.

III.2. Définitions :

La qualité de service (QDS) ou Qualité of service (QoS) est la capacité de transmission dans de bonnes conditions un certain nombre de paquet dans une connexion entre un Emetteur et un récepteur, et cela peut être présente sous plusieurs termes tel que la disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, 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 [24].

III.3. 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 [25].

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.

III.4. Paramètres de la QoS :

La QoS est évaluée en fonction des différents équipements qui composent le réseau, ainsi que du trafic qui y circule. LTE étant un réseau tout IP à commutation de paquet, il est sujet à des contraintes à prendre en compte particulièrement dans le cas de services temps réels [23]:

- Le débit : Il définit la quantité d'information (nombre de bits par seconde) pouvant être acheminée sur le réseau entre deux points donnés.

- La latence : C'est le délai de traversée du réseau, d'un bout à l'autre, par un paquet. Les différentes applications présentes dans un réseau n'auront pas le même degré d'exigence en fonction de leur nature : faible, s'il s'agit d'une messagerie électronique ou de fichiers échangés, fort s'il s'agit de donnés "voix". La latence dépend du temps de propagation (fonction du type de média de transmission), du temps de traitement (fonction du nombre d'équipements traversés) et de la taille des paquets (temps de sérialisation).

- La gigue : Elle exprime la variation de la latence.

- Les pertes de paquets : Pertes d'informations au cours de la transmission ou réception d'informations erronées dues à de la congestion sur le réseau ou des bruits.

- La bande passante : C'est la capacité de transmission d'une liaison du réseau mesurée en bit par seconde. La bande passante disponible sur un chemin entre une source et une destination correspond à la plus petite capacité disponible sur ces liens. La bande passante disponible sur un lien dépend de ses caractéristiques techniques et du nombre de flots de données.

III.5. Les informations utilisées pour assurer la QoS :

Pour mettre en place la qualité de service, il est nécessaire de se positionner sur la reconnaissance des différents services qui sont les suivants :

- ✓ La source et la destination du paquet.
- ✓ Le protocole utilisé (UDP/TCP/etc.).
- ✓ Les ports de source et de destination dans le cas TCP et UDP.
- ✓ La validité du routage (par ex. gestion des pannes dans un routage en cas de routes multiples).
- ✓ La bande passante consommée.
- ✓ Le temps de latence.

III.6. Les Modèles de gestion de la QoS :

L'arrivée des applications multimédias, des services onlines (visioconférence, VoIP, audio, vidéo, jeux en réseaux..) a nécessité la mise en place de réseaux plus performants et fiables pour la satisfaction des abonnés et un fonctionnement plus optimal de ces services. Or le protocole IP assure le même traitement pour tous les paquets qu'il voit transiter, sans tenir compte des spécificités des applications émettrices, ni de leur contraintes (en bande passante, délai, …). C'est pourquoi des travaux de l'IETF (Internet Engineering Task Force) ont recommandé la mise en place de deux modèles de gestion de la QoS: le modèle diffserv et Modèle Intserv.

III.6.1. le modèle INTSERV :

Le groupe de travail IntServ a été constitué en 1994, le but était de pouvoir améliorer le réseau Internet et d'en faire un réseau à intégration de service [26], Il a fallu en effet pouvoir différencier l'utilisation de la bande passante disponible entre les flots multimédia et les flots de données. Les besoins requis par chacun de ces types de flots n'étant pas les mêmes, le groupe de l'IntServ a défini un ensemble de classes de services qui, implémentées au sein des routeurs, devraient allouer aux flots une certaine qualité de service, à chaque traversée des routeurs, pour les acheminer jusqu'à destination avec cette QoS [27].

Le principe du modèle IntServ repose sur deux fondements [23].

- Tout d'abord le réseau doit être contrôlé et soumis aux mécanismes de contrôle d'admission des flux ;
- La nécessité de disposer de mécanismes de réservation de ressources pour obtenir différents services. IntServ utilise pour cela le protocole de signalisation appelé RSVP. (Resource ReSerVation Protocol) (Nous le détaillerons ultérieurement).

Intserv définit deux types de services :

- ✓ Guaranteed Service (GS) qui garantit la bande passante et un délai d'acheminement limité de bout en bout.
- ✓ Controlled Load (CL) qui est équivalent à un service Best Effort dans un environnement non surchargé et offre un contrôle sur les débits disponibles.

III.6.2. Modèle Diffserv :

Ce modèle, défini par un second groupe de l'IETF, se base sur le principe de création de diverses classes de services, chacune avec une qualité de service différente. Ces classes se

distinguent les unes des autres par la présence d'un code dans le paquet IP : le DSCP (Diffserv Code Point). Le marquage des paquets selon la qualité de service qu'il nécessite, se fait en périphérie du réseau, soit à la source directement ou soit au niveau du routeur de bordure. Ensuite, les routeurs internes déterminent la priorité du paquet et le traitent en fonction de celle-ci. Le fait d'introduire la différenciation entre les flots de trafic dans le paquet IP à l'aide du champ DiffServ rend ce modèle évolutif.

Ces deux modèles sont complémentaires. En effet, IntServ est très performant et bien adapté aux réseaux de petites envergures comme les LAN, alors que DiffServ s'adapte mieux à des réseaux de grandes échelles comme ceux des ISP, ce qui fait de l'association de ces deux techniques un très bon compromis pour mettre en place une QoS de bout-en bout (IntServ aux extrémités, et DiffServ en cœur de réseau) [28].

III.7. Procédés d'évaluation de la QoS :

Les opérateurs radio- mobiles s'en remettent aux tests effectués pour assurer les performances du réseau et offrir aux abonnés l'utilisation attendue. Le principe est de définir un ensemble commun de techniques et d'outils de mesure pour fournir des résultats comparables, non seulement pour faire face à la concurrence, mais aussi pour fidéliser la clientèle.

III.7.1. Le drive test :

Drive Test, est la procédure pour effectuer un test en conduisant. Le véhicule n'a pas vraiment d'importance, on peut faire un test de conduite en utilisant une moto ou un vélo. Ce qui compte, c'est le matériel et les logiciels utilisés dans le test : un ordinateur portable, un logiciel de collecte, un téléphone portable spécifique, un GPS et un scanner.

L'objectif principal est de collecter des données de test, pouvant être visualisées, analysées en temps réel, ce qui permet de visualiser les performances du réseau sur le terrain. Les données de toutes les unités sont regroupées par logiciel de collecte et stockées. Le drive test se base sur un certains nombres de paramètres pour évaluer les performances du réseau dont les principaux sont :

III.7.1.1. Symbol RSI (Received Signal Strength Indicator) :

Indicateur de puissance du signal reçu, le RSSI est la puissance à large bande, y compris la puissance intracellulaire, les interférences et le bruit. Il fournit l'indication de la qualité du signal.

RSSI = puissance à large bande

= bruit + puissance de la cellule de service + puissance d'interférence.

III.7.1.2. RSRP (Reference Signal Received Power):

Puissance de signal de référence, Il s'agit d'un paramètre de test spécifique au LTE, utilisé par les périphériques pour déterminer les points de transfert. Sa connaissance fournit à l'UE des informations essentielles sur les cellules à partir desquelles les pertes de trajet peuvent être calculées et utilisées pour déterminer les réglages de puissance optimaux pour faire fonctionner le réseau.

RSRP (dBm) = RSSI (dBm) -10 * log (12 * N)

N étant le nombre de RB (Ressource Block) dans le RSSI.

III.7.1.3. RSRQ (Reference Signal Received Quality):

C’est la qualité de réception du signal de référence. RSRQ est utilisée uniquement pendant les états connectés.

RSRQ = RSRP / (RSSI / N).

III.7.1.4. *SINR (Signal to Interference Noise Ratio)* :

Le SINR indique le rapport signal sur bruit. Ce paramètre est un moyen de mesurer la qualité des connexions sans fil LTE. Lorsque l'énergie du signal s'estompe avec la distance, c-à-d la perte de trajet due à des paramètres environnementaux (par exemple, le bruit de fond, la force d'interférence d'une autre transmission simultanée).

SINR = S / I + N

S étant la puissance moyenne du signal reçu et I la puissance d'interférence moyenne.

- ✓ CQI (Channel Quality Index) : un CQI de valeur élevée est indicatif d'un canal de haute qualité et vice versa.
- ✓ PCI (Physical Cell Identity) : Il est utilisé pour identifier la cellule et pour transmettre les données. PCI varie dans une plage de 0 - 503.
- ✓ BLER (Block Error Ratio) : Le taux d'erreur de bloc ou BLER est défini comme le rapport entre le nombre de blocs erronés reçus et le nombre total de blocs transmis.

III.7.2. Les plaintes clientèles :

La réclamation est une demande d'un client ciblé sur ses insatisfactions qu'il faut prendre en charge et traiter le plus rapidement possible. Ces plaintes ont pour objectif de permettre à l'opérateur de prendre état des problèmes qui sévissent au sein de son réseau enfin d'y apporter des solutions appropriées.

III.7.3. Enquête de consommateurs :

C'est une recherche méthodique de collecte d'informations portant ou non sur l'ensemble de population étudiée. Elle a pour objectif de faire l'état des lieux de la perception de l'utilisateur et sa satisfaction du service.

III.7.4. Benchmarking :

Les outils de benchmark permettent de brancher plusieurs mobiles pour pouvoir faire des appels voix et/ou data en simultané et sur tous les réseaux disponibles afin de pouvoir comparer leur performance et leur qualité de service. Les statistiques générées peuvent êtres affichées sur des cartes, dans des tableaux ou sur des graphes.

III.7.5. Mesures KPI :

Les indicateurs clés de performances (KPI) sont des indicateurs mesurables servant à surveiller et optimiser les performances du réseau afin de fournir une meilleure QoS et d'obtenir une meilleure utilisation des ressources de réseau. Les indicateurs les plus utilisés dans les réseaux mobiles sont: l'accessibilité, la continuité, l'intégrité, la mobilité, la disponibilité, l'utilisation et le trafic. Le chapitre 3 traitera des différents KPI.

III.8. Mécanismes de QoS dans LTE :

Le contrôle de la qualité de service est essentiel pour l'opérateur afin de garantir une expérience satisfaisante à l'utilisateur. La technologie LTE offre des mécanismes dits de qualité de service différenciée afin de faciliter la prise en compte des contraintes de services différents.

III.8.1. Les bearers :

Le concept de bearer a été introduit dès la conception du système GSM, pour affecter efficacement les ressources aux besoins des abonnés. Un bearer peut être vu comme un tuyau entre deux entités du réseau qui communiquent entre elles sur une interface, tuyau dont certaines caractéristiques sont négociées lors de son établissement et qui permet le transfert de données.

Le concept de bearer est ainsi décliné sur les interfaces du réseau dont les ressources doivent être économisées, et en particulier sur :

- L'interface radio, entre l'UE et l'eNodeB.
- L'interface S1 entre l'E-UTRAN et le réseau cœur.
- Les interfaces du réseau cœur.

Les bearers sur ces interfaces forment un bearer agrégé, entre l'UE et le réseau cœur : le bearer EPS (ou EPS bearer). La figure suivante en donne une parfaite illustration :

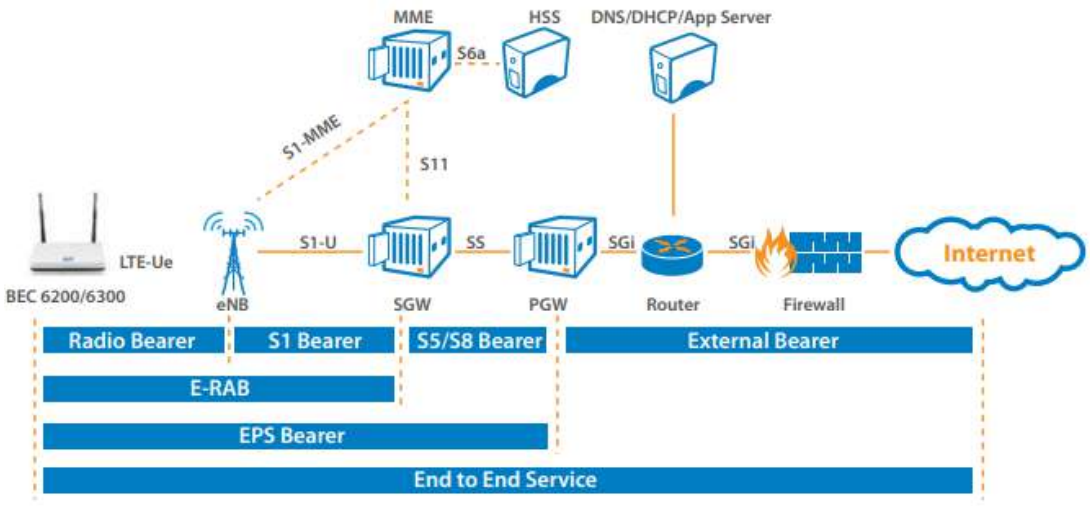


Figure 24 - Les bearers au sein des interfaces

Le bearer EPS est défini comme étant une connexion logique entre deux points de terminaison (PGW et UE) au sein de l'architecture LTE/EPS.

Le LTE supporte différents types de services tels que la voix, le streaming vidéo, le téléchargement de données, etc. La prise en charge de ces services implique des contraintes différentes au niveau du réseau. Par exemple, une latence et une gigue réduites sont nécessaires au bon fonctionnement du service voix. En revanche, les contraintes de latence sont relâchées pour le téléchargement de données, mais ce dernier requiert un taux d'erreur plus faible. Le concept de qualité de service défini dans le cadre du LTE a pour objectif de répondre aux contraintes de chaque service via la définition de règles de priorité entre les flux.

Il existe deux types de bearers EPS : le bearer par défaut (default *bearer*) et le bearer dédié (decicated bearer).

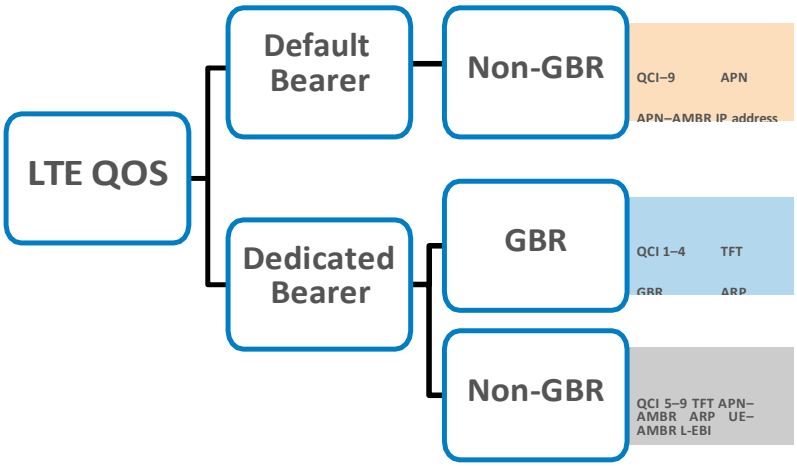


Figure 25 - Différents types de bearers [29]

III.8.1.1. Le bearer par défaut :

Lorsque L'UE initialise la connexion avec le réseau LTE pour la première fois, le réseau lui attribue un bearer par défaut dont les paramètres correspondent au profil d'abonnement (téléchargé par le MME depuis le HSS) se bearer sera maintenu jusqu'à la déconnexion de L'UE vis-à-vis le réseau. Le bearer par défaut ne supporte aucun débit garanti, il fournit les services en mode *best effort*, chaque bearer a une adresse IP ; L'UE peut avoir un deuxième bearer par défaut dans le cas d'une demande de connexion à un deuxième APN. Dans ce cas, une deuxième adresse IP sera allouée par la passerelle de cet APN. Les QCI 5 jusqu'à 9 correspondent à ce bearer.

III.8.1.2. Le bearer dédié :

C'est un autre *bearer* très important pour un traitement d'un service spécifique comme VoLTE, vidéo. IL ne requière pas une adresse IP additionnelle parce qu'il partage l'adresse IP qui a été allouée pour le *bearer* par défaut. Les flux accommodés dans ce bearer peuvent avoir un débit garanti (GBR).pour offrir le traitement spécifique à ces flux, chaque bearer dédié contient les paramètres définit dans le TFT Template, le bearer dédié peut être classé comme étant [1] :

III.8.1.2.1 Guaranteed Bit Rate Bearer (GBR Bearer):

Ce bearer représente le minimum de débit garanti alloué pour des applications temps-réel tels que : la VoLTE.

Chaque bearer est associé avec une valeur GBR prédéterminée. Si le trafic transporté est égale à cette valeur, donc il n'y aura pas de congestion qui peut entrainer une perte des paquets. Le bearer GBR est établi à la demande parce qu'il bloque toutes les ressources de transmission pour lui être réservées durant la procédure de contrôle d'admission.

III.8.1.2.2. Non-Guaranteed Bit Rate Bearer (Non-GBR Bearer) :

Ce bearer ne garantit aucun débit binaire, il est principalement utilisé pour les applications nous-temps réel comme la navigation web et le transfert des fichiers. Les services acheminés pace bearer sont souvent en risque d'avoir une congestion qui peut entrainer la suppression de leurs paquets. L'établissement de ce bearer ne bloque pas les ressources d'une transmission spécifique. Le bearer non-GBR peut être associé au bearer dédié ou le bearer par défaut.

III.8.2. Paramètres QoS des bearers :

Un bearer EPS est défini par quatre paramètres ou leurs valeurs dépondent de la nature du service demandé, de la priorité de l'abonné qui est liée à son profil et de l'état actuel des ressources de l'opérateur, ces paramètres sont :

- QoS Class Indicator (QCI)
- Allocation and Retention priority (ARP)
- Guaranteed Bit Rate (GBR) – réservé pour les services temps- réels.
- Maximum Bit Rate (MBR) –réservé pour les services temps-réels.

III.8.2.1. Quality of Service Class Indicator (QCI):

Le QCI indique le traitement spécial à appliquer sur un trafic ou un paquet IP qui est mise sur un bearer spécifique. Ce traitement peut inclure la priorité d'ordonnancement, le seuil d'admission … Etc.

3GPP recommande pour chaque classe QCI l'ensemble des valeurs suivantes :

QCI	Bearer Type	Priority	Packet Delay	Packet Loss	Example
1	GBR	2	100 ms	10	VOIP Call
2		4	150 ms	10	Video Call
3		3	50 ms		Online Gaming (Real Time)
4		5	300 ms	10	Video Streaming
5	Non-GBR	1	100 ms		IMS Signaling
6		6	300 ms		Video, TCP based services e.g. email, chat, ftp etc.
7		7	100 ms	10	Voice, Video, Interactive gaming
8		8	300 ms	10	Video, TCP based services e.g. email, chat, ftp etc.
9		9			

Tableau 1 - Caractéristiques QCI [28]

III.8.2.2. Allocation and Retention Priority (ARP) :

ARP indique si un bearer (établi ou modifié) peut être accepté ou rejeté par l'opérateur dans le cas d'une congestion dans ces liens de transmission. Il est utilisé par l'eNB pour supprimer les paquets qui ont une faible ARP pour le but de libérer la capacité du réseau et d'alléger sa charge. Ce paramétré peut être un paramètre important lors du handover lorsque UE déplacé vers une cellule congestionnée.

III.8.2.3. Maximum Bite Rate (MBR):

MBR est spécifié pour les bearer de type GBR et il est applicable juste dans les services temps réel. Il spécifie le débit binaire maximum dans un bearer pour lequel le trafic ne peut par le dépassé [29].

III.8.2.4. Guaranteed Bite Rate (GBR):

Le GBR est principalement défini pour le GBR bearer, il spécifie il le débit binaire qui doit le réseau garantir pour un bearer particulier. Dans la release 8du 3GPP le MBR doit être égale au GBR c à d que le débit garantie c'est aussi le débit maximum garantie qui est permet par le réseau.

3GPP a ajouté un paramétre avec les 4 autre paramétres qui est Aggregate Maximum Bit Rate (AMBR) et qui est appliqué seulement sur un groupe des bearer non GBR. AMBR permet aux opérateurs de limité la somme total de débit binaire consommer par un seul utilisateur. Ce paramétre est appliquer dans les deux sens UL et DL… [30]

III.8.3. Le scheduling :

L'allocation de ressources ou ordonnancement ou scheduling vise à partager des ressources radio communes entre les UE. Elle forme donc une fonctionnalité clé de l'interface radio pour les performances du système et le maintien de la qualité de service envers l'utilisateur.

La transmission de données en LTE, comme avec ses prédécesseurs, repose sur des canaux partagés dont l'accès est géré dynamiquement en fonction de paramètres de QoS et typiquement en fonction de la qualité de canal perçue par l'UE. L'accès au canal est déterminé par le scheduler, aussi parfois appelé ordonnanceur en français, dont la tâche est de décider des paramètres suivants :

– Quels UE servir en un temps donné

– Quelles ressources en fréquence allouer à chaque UE

– Quelle puissance appliquer, principalement en voie montante

Le scheduler tient compte des trois dimensions afin de mieux servir les UE :

- **La dimension temporelle :** Les données sont transmises sur des canaux partagés entre les UE. La raison est double, d'une part, les besoins en ressources des UE peuvent considérablement varier au cours du temps en fonction du type de service requis. Par exemple avec les appels voix, les périodes de silence sont nombreuses et cours de ces dernières aucune données n'est transmise. Réserver des ressources pour ces périodes reviendrait à les gaspiller ; l'idée est d'allouer ces périodes de silence à d'autres UE. Il est donc plus efficace pour le système de mutualiser les ressources radio en canaux partagés et de les allouer aux UE en fonction de leurs besoins instantanés.

L'autre avantage d'un accès partagé est le gain de diversité multi-utilisateur. Cette diversité exploite les variations rapides du canal de transmission afin de servir les UE lorsque celui-ci est dans un état favorable, typiquement un état d'évanouissement constructif. Ce qui a pour

avantage lorsque l'on a un grand nombre actif d'UE simultanée d'avoir une meilleure qualité que la moyenne, bénéficiant ainsi d'un débit plus important sur les ressources allouées.

- **La dimension fréquentielle :** Tout comme l'adaptation aux évolutions du canal dans la dimension temporelle, le scheduler peut tirer parti des variations du canal dans la dimension fréquentielle, en allouant à chaque utilisateur des ressources en fréquences (PRB) bénéficiant de conditions radio favorables. On parle alors de scheduling adaptatif en fréquence, ou encore sélectif en fréquence.

Cela implique que l'UE retourne une information sur la qualité du canal dans la dimension fréquentielle. La dimension fréquentielle permet de coordonner l'interférence entre cellules voisines mais également d'influer sur la densité spectrale de la puissance (DSP) d'émission.

- **La dimension spatiale :** La gestion des transmissions MIMO impose au scheduler de prendre en compte une dimension supplémentaire : la dimension spatiale. Celle-ci entre en jeu en émission via l'opération de pré codage spatial, qui donne une propriété spatiale à la transmission (par exemple, en formant un faisceau pointant vers une direction privilégiée). En réception, les antennes multiples révèlent des propriétés spatiales des signaux, par exemple les directions d'arrivée. La dimension spatiale permet notamment de transmettre plusieurs flux d'informations, ou couches spatiales, sur les mêmes ressources temps-fréquence, mais aussi d'accroître la robustesse de la transmission lorsqu'une seule couche spatiale est transmise.

III.8.3.1 Les Algorithmes de scheduling :

L'algorithme de scheduling proprement dit n'est pas normalisé car il ne requiert pas d'interfonctionnement avec d'autres équipements et fait donc l'objet d'une implémentation propriétaire. Il vise généralement à maximiser un critère de performance, sous un certain nombre de contraintes. Ce critère peut être, par exemple, la capacité de la cellule, éventuellement sous la contrainte d'une latence et/ou d'un débit garanti à un (ou plusieurs) UE en fonction du ou des service(s) requis.

Les algorithmes de scheduling sont nombreux mais dans ce qui suit on en citera que trois :

A. **Le scheduler Round Robin:**

Alloue des ressources aux UE à tour de rôle, indépendamment de leurs conditions radio. Ce scheduler est le plus équitable, mais est peu efficace en termes de débit total du système, puisqu'il ne tire pas parti des conditions radio.

B. **Le scheduler Max-CQI :**

Alloue des ressources aux UE qui bénéficient des meilleures conditions radio. Ce scheduler maximise le débit total du système mais n'est pas équitable, puisque les UE en mauvaise condition radio, en particulier ceux situés en bordure de cellule, ne sont jamais servis. Pour cette raison, le critère max-CQI ne présente pas d'intérêt pratique s'il est utilisé seul. En revanche, si un autre critère est utilisé pour choisir les UE à servir dans le domaine temporel, le critère max-CQI peut être utilisé dans le domaine fréquentiel pour attribuer chaque PRB à l'UE qui en tirera le meilleur parti (par exemple sous la contrainte d'un nombre donné de PRB par UE).

C. **Le scheduler Proportinal Fair :**

Alloue des ressources aux UE qui maximisent une métrique du type débit instantané atteignable à l'instant courant par l'UE divisé par son débit moyen. Ce scheduler réalise un compromis entre les deux schedulers précédents, puisqu'il tient compte à la fois des conditions radio (à débits moyens similaires, l'UE avec la meilleure qualité de canal instantanée sera sélectionné en priorité), mais aussi de l'équité entre les UE (à qualités instantanées du canal similaires, l'UE ayant reçu le débit le plus faible jusque-là sera sélectionné en priorité).

III.8.3.2 Types de scheduling :

On distingue en LTE: le scheduling dynamique, qui se subdivise en scheduling adaptatif en fréquence et scheduling non adaptatif, et le scheduling semi-persistant.

III.8.3.2.1. Scheduling dynamique :

Le scheduler dynamique prend ses décisions à chaque milliseconde en LTE, en fonction des informations d'entrée (puissance disponible, taille des buffers, indicateur de surcharge, qualité du canal, pré codage préféré…). Il peut ainsi tirer parti de la connaissance de la qualité

de canal (quasi-) instantanée des UE, afin d'optimiser les débits utilisateur ainsi que le débit total de la cellule.

En plus de l'adaptation dans le domaine temporel, le scheduling dynamique peut être adaptatif en fréquence (généralement en voie descendante) pour une efficacité maximale. Pour être efficaces, les décisions prises par le scheduler sur la base des informations sur l'état du canal de l'UE doivent être toujours valides au moment où la transmission s'effectue.

III.8.3.2.2. Scheduling semi-persistant :

Contrairement au scheduling dynamique, le scheduling semipersistant (SPS) préserve des ressources en fréquence pour une durée donnée, avec une période prédéfinie entre chaque allocation. Ce mode d'allocation est adapté à des flux réguliers, dont les unités de données sont produites et émises périodiquement (voix et visiophonie..).

III.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, et après comprendre les différentes techniques de la qualité de service (Qos) on peut finalement dire que l'optimisation de QoS a donné une amélioration satisfaisante au niveau du réseau.

Le dernier chapitre va être une application par l'utilisation de deux logiciels **Mapinfo** et le **Mapbasic**.

Chapitre IV : Application sur les collisions RSI dans les cellules

IV.1. Introduction :

Parmi les plus grands concernes des opérateurs de réseau mobile sont : l'optimisation et le soutenir des performances du réseau .mais maintenir les performances à toujours prouvé une grande difficulté surtout pour les réseaux grands et complexes. Dans loin terme, on a beaucoup de changements dans le réseau et ça peut augmenter le nombre de conflits. [31]
Et pour but de finaliser ce travail et après avoir expliqué le Qos dans le chapitre 3, on va utiliser les deux logiciels mapinfo et mapbasic pour faire une simulation de l'optimisation du qos. Cette dernière utilise un algorithme pour détecter les collisions du RSI sur le réseau.

IV.2. Le choix du simulateur :

On a choisi le mapinfo qui est édité par la société Pitney Bowes Software (PBS), anciennement Pitney Bowes Business Insight, MapInfo et Group 1 Software. Ce dernier est un Système d'information géographique à l'origine Bureautique créé dans les années 1980 aux États-Unis. C'est un logiciel qui permet de réaliser des cartes en format numérique. MapInfo est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones, image raster ... Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données... Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des cartes et bases de données cartographiques. MapInfo est ouvert vers le Web et les globes virtuels ; il permet de publier sur le web des cartes réalisées sur un PC, de faire de la cartographie interactive, d'incorporer des informations des globes virtuels... [32]

Donc c'est l'outil convenable pour crée les secteurs qui représente les cellules et pour montrer l'effet d'optimisation sur le réseau.

IV.3. pour quoi L'optimisation de la 4G :

L'optimisation 4g réfère à la pré-optimisation et l'optimisation c'est-à-dire l'optimisation avant et après le lancement du réseau, les résultats de ce dernier est directement relié la future performance, la stabilité et la capacité du réseau.

Une bonne optimisation peut :

- Réduire totalement le niveau d'interférences dans le réseau.
- Améliore la performance du réseau et le taux de la réussite des appels.
- Réduire l'interruption des services.

- Améliore le débit de data.
- Optimiser le taux de succès des handovers.
- Augmenter la capacité du réseau.

L'optimisation est une activité continue et quotidienne.[1]

IV.4. Le RSI :

Quand un équipement terminal veut se connecter à un réseau lte il passe par son procédure d'accès aléatoire, qui peut être effectué en utilisant deux différentes solutions :

Des solutions basées sur les conflits et autres non- basées sur les conflits.

Une cellule lte utilise 64 canal d'accès aléatoire (prach) préambules, 24 sont réservé par le e-nodeB pour l'accès non-basée sur les conflits. Les autres 40 préambules sont sélectionnées par défauts par les équipements des utilisateurs pour l'accès basées sur les conflits, ces dérnier sont calculé par les paramètres rsi transmis par les cellules lte au système d'information block 2 par le canal d'accès aléatoire physique. Quand deux cellules adjacentes ou plus opère. [31]

Comment détecter les zones qui contiennent une collision RSI ?

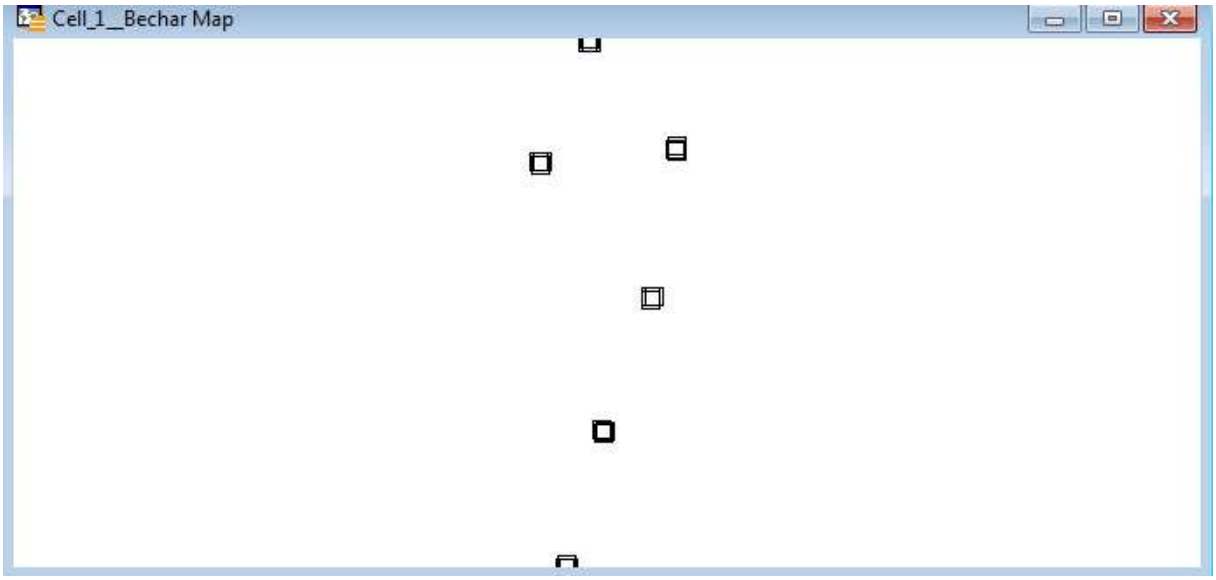
IV.5. Application avec Mapinfo :

Par la suite on va montrer les étapes parcourue pour avoir les résultats finals :

IV.5.1. Importer le tableau, crée les points et construire la carte :

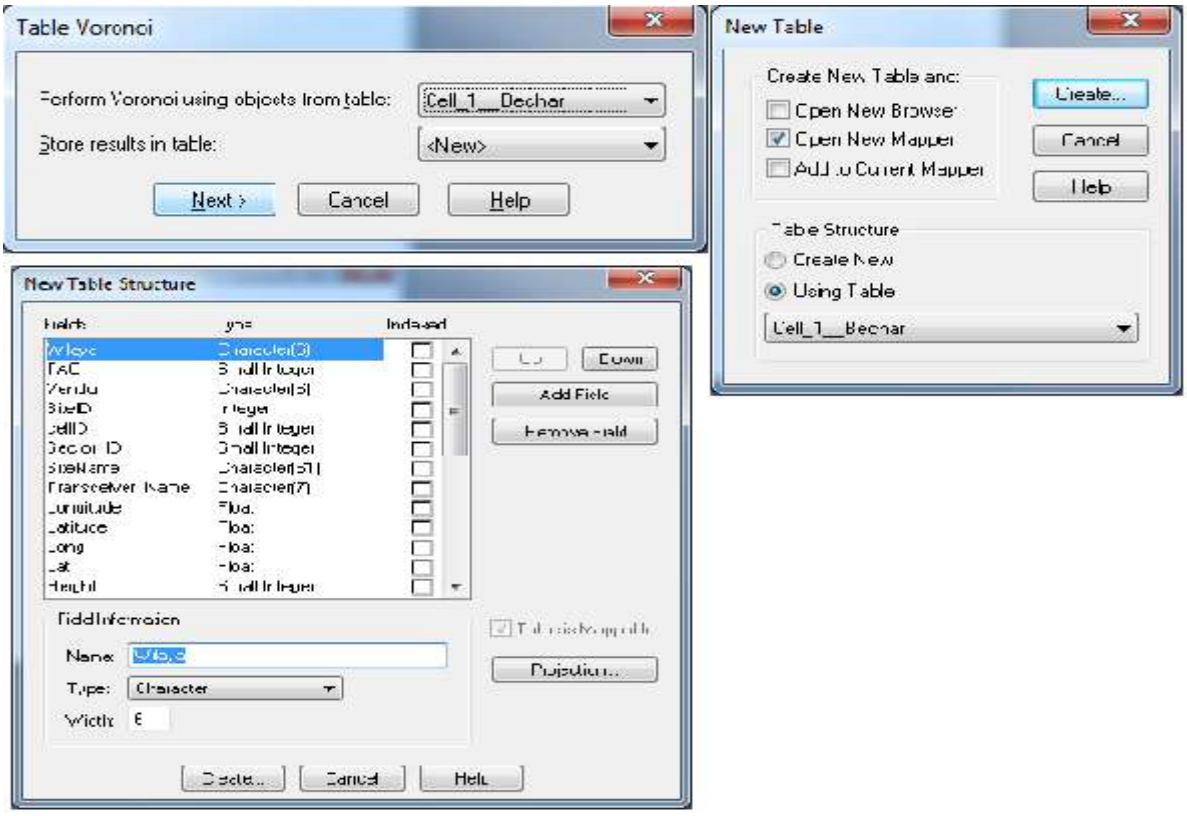
Premièrement et après ouvrir le fichier ouvrir la table voulue par l'icône ouvrir (open),

Crée les points par Table→create points… et ouvrir le fichier crée (.TAB) les points va apparaitre comme suivants :

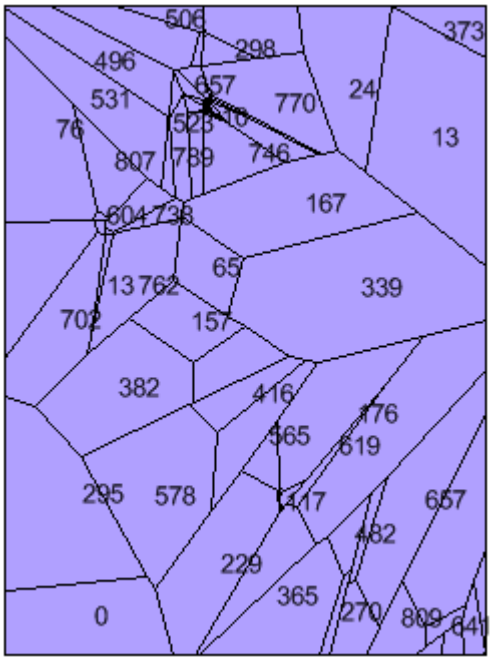


Ensuite on va construire les zones de couverture de ces cellules par voronoi, qui représente la zone la plus proche d'un point sous forme d'un diagramme (polygone). Par :

Table→voronoi et après on suit les étapes par appuyer : next dans la première fenêtre → create… dans la deuxième fenêtre → create… dans la troisième fenêtre sans aucun changement au niveau des paramètres comme suivant :



On sauvegarde le travail sous un nom et en passe à l'étape de remplir les informations et la méthode le moment on appuyé sur suivant le diagramme de voronoi suivant apparait :



IV.5.2. Le code source :

Après on a le code source suivant par le Mapbasic (les commentaire en rouge) :

```
{

Le bloc de declaration des variables par la function declare:

Include "icons.def"

Include "mapbasic.def"

Declare Sub Main

Declare Sub Create_Button

Declare Sub Create_Dialog

Declare sub FindRSI (ByVal RSI as integer)

 Le bloc de creation de la function principale qui fait l'appel à la function qui la suit:

Sub Main  'la function principale

  Call Create_Button
```

```
End Sub
```

le bloc de création du bouton en spicifiant les dimensions (largueur el longer) et l'icône du bibliothéque (Icon).

```
Sub Create_Button
  '.Dialog
  '  .Title "Dialog"
  'Width 199 Height 30
  Create ButtonPad "Find RSI" As
     PushButton
     Icon MI_ICON_DISTRICT_SAME
     Calling  Create_Dialog
     HelpMsg "Find RSI\n"
  Separator
     Show
End Sub
```

Le bloc de préciser le role du bouton par créer un texte et envoie la valeur mentionner au variable sx et fait l'apel à la function FindRSI aprés on appuie sur le bouton.

```
Sub Create_Dialog
  Dim sx as integer
  Dialog
  Title "Dialog"
  Width 199 Height 30


Control OKButton
```

```
  Title "OK"
  Id 1
  Position 139, 9
  Width 51 Height 14
Control EditText
  Id 2
  Position 54, 11
  Width 82 Height 12
  Value 0
  Into sx

Control StaticText
  Position 8, 12
  Width 16 Height 8
  Title "RSI"

 if CommandInfo(CMD_INFO_DLG_OK) then

    Call FindRSI(sx)

  end if
end sub
```

Ce bloc est pour comparer le RSI du cellule mentionner avec 7 indice avant et 7 indice aprés pour la detection du collision et colorer ces zones.

```
Sub FindRSI (ByVal _RSI as integer)


  Dim win_id As Integer

  win_id = FrontWindow() ‘ get id of active front window


 shade window win_id 1 with RSI ignore 0 values
(_RSI + 7 +838) mod 838 Brush (2,16752800,16777215) ,

(_RSI + 6+838) mod 838 Brush (2,41040,16777215) ,

(_RSI + 5+838) mod 838 Brush (2,7381247,16777215) ,

(_RSI + 4+838) mod 838  Brush (2,19424,16777215) ,

(_RSI + 3+838) mod 838 Brush (2,16772272,16777215) ,

(_RSI + 2+838) mod 838 Brush (2,16744448,16777215) ,

(_RSI + 1+838) mod 838 Brush (2,10551200,16777215) ,

(_RSI +838) mod 838 Brush (2,Red,16777215) ,

(_RSI - 1+838) mod 838 Brush (2,13672703,16777215) ,

(_RSI - 2+838) mod 838 Brush (2,9445631,16777215) ,

(_RSI - 3+838) mod 838 Brush (2,16777104,16777215) ,

(_RSI - 4+838) mod 838 Brush (2,16776960,16777215) ,

(_RSI - 5+838) mod 838 Brush (2,16752848,16777215) ,

(_RSI - 6+838) mod 838 Brush (2,16720016,16777215) ,

(_RSI - 7+838) mod 838 Brush (2,10551295,16777215) ,
```

(_RSI + 8+838) mod 838 Brush (2,53456,16777215)

Default Brush (2,White,0)

‘ create legend

Create Designer Legend From Window win_id Behind Default Frame Title "# Legend" Font ("Arial",0,10,0) Default Frame Style "%" Font ("Arial",0,8,0) Frame From Layer 1

End Sub

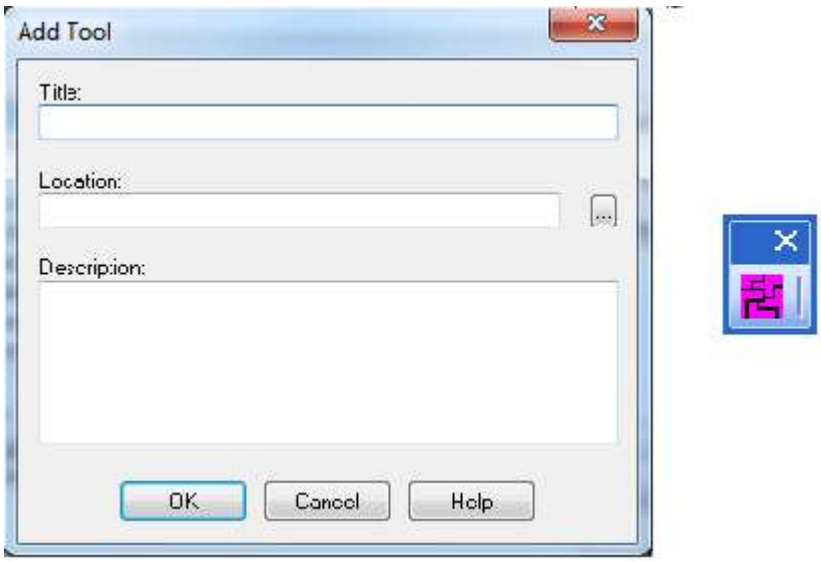
}

Ce code source sert a détecté les zones où il existe une collision RSI par comparer l’indice du RSI du cellule cible avec les sept indice RSI avant et après, et il affiche ces zones (s’il existe) par une autre couleur.

À l’aide du logiciel Mapinfo on va créer un fichier d’extension (.mbx) pour on l’utilise comme une outil dans le Mapinfo.

IV.5.3. Importer l’outil et l’appliquer sur la carte :

Pour importer l’outil (tool) il faut juste appuyer sur : Tools→Tool Manager… une fenêtre apparait sur laquelle on sélectionne notre outil



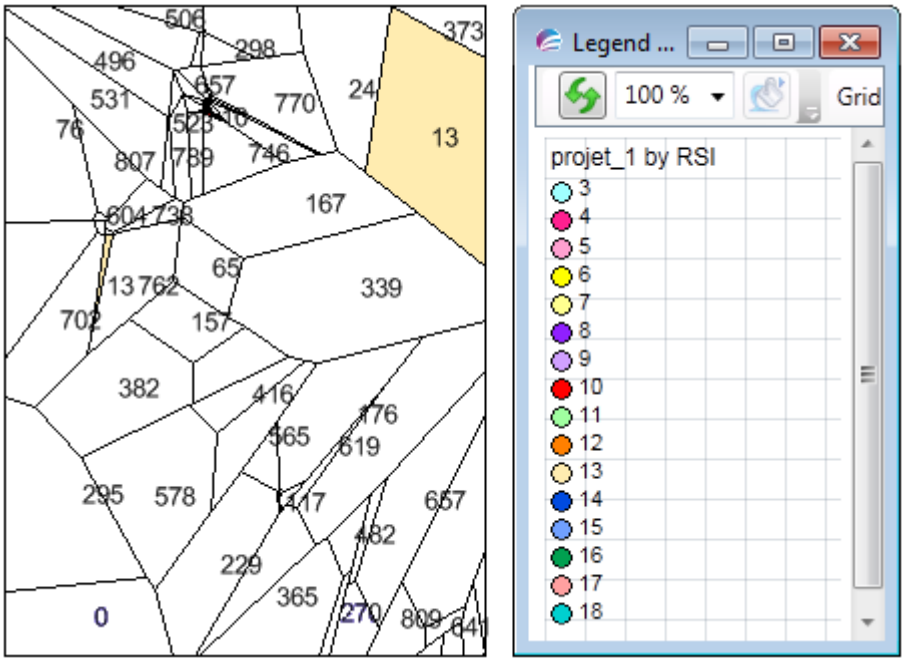
Pour utiliser l’outil on appuyé tous simplement sur son icone une petite fenêtre apparaisse



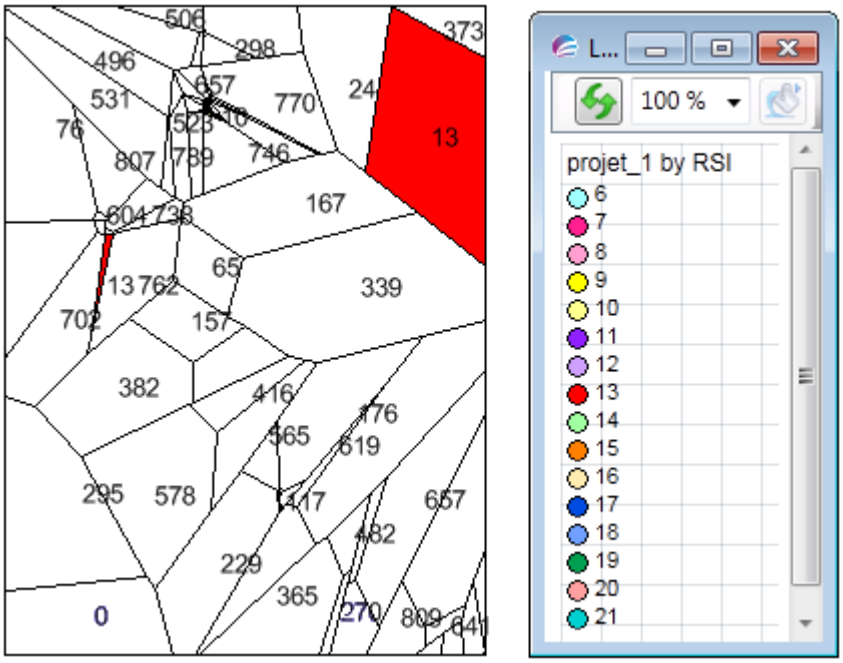
On peut changer l'indice d'RSI entre 0 et 837 pour tester chacune des cellules.

IV.5.4. Quelques exemples :

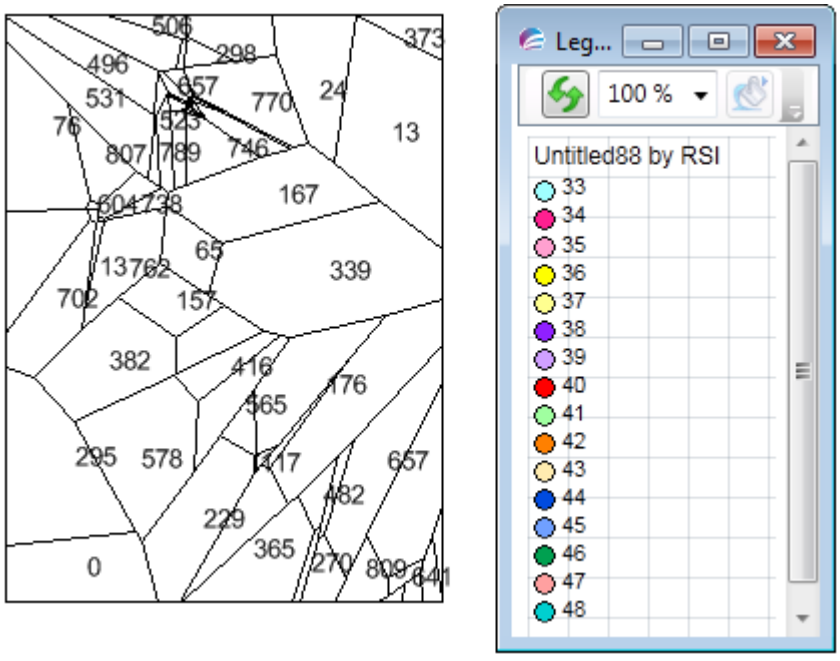
Pour RSI=10 on a :



Pour RSI=13 on a :



Pour RSI=40 qui n'a pas de collision on a :



IV.6. Conclusion :

Pour terminer ce chapitre, on peut dire qu'on a réussi à appliquer le code source crée sur le Mapbisic, et appliquer dans Mapinfo (comme outil) pour détecter un des problèmes du réseau LTE qui est : les collisions RSI des cellules. On a appliqué l'outil sur des cellules situées à Bechar, les résultats nous précisent les cellules ou se trouvent des collisions, et nous permettra prochainement de les résoudre.

Conclusion générale

On a pu déduire que la 4G a continué d'évoluer sur le champ des générations antécédentes.

On est arrivé à conclure en premier lieu que les générations mobiles ont amélioré la capacité ainsi que les débits offerts dans la même bande de fréquences restreinte, ce développement radical est dû à des nouvelles techniques inventées par les opérateurs.

En deuxiéme lieu on a pu atteindre par la 4G, des débits plus élevés et des temps de réponses plus courtes que les générations antécédentes, grace à les renovations sur les téchniques d'accés et quelques entités.aprés cette étape on a analysé les indicateurs QoS à travers plusieurs étapes, ce qui nous a laissé dire que l'optimisation de QoS nous a donné une amélioration satisfaisante au niveau du réseau.

A la clôture de notre travail on a mis en œuvre un code source une solution au problème critique qui se présente dans « la détection des collisions RSI dans les cellules du réseau LTE ».

Pour cet objectif , on a utilisé l'outil sur les cellules situées sur une zone à Bechar, les résultats nous précisent les cellules qui sont atteints par des collisions, et nous permis a passé à l'étape suivante de l'optimisation.

Enfin et pour répondre à la problématique qui se résume dans « la détection des collisions des RSI dans cellules et ces étapes » et pour démonter le rôle essentiel des indicateurs KPI's on établit notre application dans le dernier chapitre.

Ainsi par ce travail on a dégagé l'importance de la détection des collisions RSI dans l'optimisation.

Bibliographie

[1] Yannick Bouguen et Éric Hardouin , François-Xavier Wolff "LTE et les réseaux 4G", © Groupe Eyrolles, 2012.

[2] 3GPPTS 36.306, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio accesscapabilities (Release 8)”.

[3] GHASSEN.A.A, MAHAMOD.I et KASMIRAN.J, “Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants”, Académie mondiale des sciences, 2011.

[4] TONYE.E et EWOUSSAOUA.L, «Planification Et ingénierie Des Réseau De Télécoms», mémoire pro 2 de telecommunication, Université de Yaounde I, 2011.

[5] «Introduction to UMTS», Document ALCATEL.

[6] M.Terré, Y. Dupuch ET B Fino, “UMTS, evolution de la capacité”,

[7] Thierry LUCIDARME, «Principe’s de radio communication de troisiéme generation GSM, GPRS, UMTS…. », vuiber, paris, 2002.

[8] Benoit BARRAQUE «Avantages de l’UMTS ET l’état actuel de son déploiement dans le monde», Université Claude Beranrd, Lyon, 2005.

[9] M.R. Karim and M. Sarraf «W-CDM and CDMA2000 for 3G Mobile Network », Août 2005.

[10] Yang yang et jing Xu, "5G Wereless Systems Simulation and Evaluation Techniques", © Groupe Springer International Publishing AG 2018.

[11] Verizon to deliver 5G service to pilot customers in 11 markets across U.S. by Mid-2017.

[12] M. Rumney, LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges, Ed.Wiley-Blackwell, 2013.

[13] Tara Ali-yahia, Understanding LTE and its performance, springer, 2011.

[14] Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, LTE et les réseaux 4G, Edition Eyrolles, 2015.

[15] Rakesh Kumar Singh, Ranjan Singh, "4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards", International Journal of Emerging Research in Management & Technology, Vol. 5, Issue-12, pp. 1-6 Dec. 2016.

[16] 3GPP TS 36. 300 Release 13 –LTE; Evolved Universal Terrestrial Radoi Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radoi Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage2, version. 13.2.0, Jan 2016.

[17] André Pérez, LTE Advanced: les interfaces radioélectriques du réseau mobile 4G, ISTE editions, 2016.

[18] F. Afroz, K. Sandrasegaran and H. Al Kim, "Interference management in LTE downlink Networks", International Jornal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), Vol. 7, No. 1, February 2015-pp 91-106.

[19] Erik Dahlman, Stephan Parkvall and Johan skold, 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, Academic Pressed, 2014.

[20] 3GPP TS 36.211version 14.2.0 Release 14 –LTE; Evolved Universal Terrestrail Radio Access (E-UTRA); physical channels, and modulation, version 14.2.0 Avril 2017.

[21] Alain Sibille, Claude Oestges and Alberto Zanella, MIMO from the theory to implementation, Academic press Ed, 2010.

[22] Ralf Kreher, Karsten Gaenger, LTE Signaling: Troubleshooting and optimization, Ed. Wiley, 2011.

[23] QoS Document « BEC Technologies ».

[24] Jean-Louis Mélin, « Qualité de service sur IP ». Editions EYROLLES 2001.

[25] Zoubir MAMMERI, «Gestion de la Qualité de Service: Concepts et mécanismes».Université Paul Sabatier de Toulouse. Notes de cours de Septembre 2003

[26] R. Braden, D. Clark, S. Shenker : Integrated services in the Internet Architecture :an Overview . juin 1994.

[27] Leila TOUMI, « Algorithmes et mécanismes pour la qualité de service dans des réseaux hétérogènes ». Thèse de doctorat soutenue le 20 décembre 2002.

[28] K. Nichols, V. Jacobson, L. Zhang: A Two-bit Differentiated ServicesArchitecture for the Internet. Juillet 1999.

[29] Bectechnologies, << Quality of Service (QoS) in LTE >>.

[30] Amandeep N, A Survey on Quality of Service in LTE Networks, International Journal Science and Research (IJSR), 2015.