

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

**Par** :

**BELAID Fatima**

**CHEMLOUL Souhila Dounia**

**Sujet**

# **Etude, conception et réalisation d'une plateforme intelligente pour l'optimisation d'un réseau LTE-Advanced**

Soutenu publiquement, le 27 / 06 /2019, devant le jury composé de :

Mr. MERZOUGUI. R	Maitre de Conférences	Univ. Tlemcen	Président
Mr. ZERROUKI. H	Maitre de Conférences	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr. HADJILA. R	Maitre de Conférences	Univ. Tlemcen	Examinateur

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ma chère maman Dalila, ma source de tendresse qui n'a jamais cessée de m'encourager et de prier pour moi.*

*Mon cher papa Khaled, l'homme qui a sacrifié sa vie pour nous qui m'a toujours encouragée d'avancer dans ma vie.*

*A mes chers frères Yassine, Islam et chères sœurs Manel, Nadjet que dieu les gardes pour moi.*

*A mon cher mari BENYAHIA Abdeljalil.*

*A ma grande mère Zoulikha et ma Hbibba, je vous remercie pour votre douae et votre encouragement*

*A toute la famille CHEMLOUL et CHOUACHI, à mes proches cousines et cousins, je vous dédie ce travail et je vous remercie pour être toujours là pour moi.*

*A mon binôme BELAID Fatima, qui était gentille, patiente, et sérieuse dans notre travail.*

*A mes très chers amis Houda, Sabrina, je ne peux pas trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, en souvenir de notre profonde amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

*A l'ensemble de nos camarades et collègues de la promotion de « Réseaux de Télécommunication ».*

*Dounia CHEMLOUL*

# *Dédicace*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : je dédie ce modeste travail à tous ce qui me sont chers.*

*A la mémoire de mon cher père Boumedién*

*Qui a été toujours dans mon esprit. J'aurais tant aimé que tu sois présent. Que dieu miséricordieux, t'accueille dans son éternel paradis.*

*A ma chère mère Fatma*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*A ma chère sœur*

*Soumia que dieu me la garde*

*A mes chers frères*

*Abdelkarim, Ismail, Khiredine*

*A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment*

*A mon binôme Chemloul Dounia qui était gentille, patiente, et sérieuse dans notre travail.*

*A mes chères amies et connaissances*

*A tout ce qui m'ont aidée et encouragée de près ou de loin...*

*Fatima.....*

## Remerciements

*Tout d'abord nous remercions ALLAH le tout puissant le miséricordieux, qui nous a donné la force, la patience et la volonté de mener bien à ce modeste travail.*

*Que nos parents voient aujourd'hui leurs efforts et leurs sacrifices couronnés par ce rapport. Ils ont veillé à nous éduquer avec infiniment d'amour et d'affection. Que Dieu nous permette de leur rendre au moins une partie, aussi infime qu'elle soit, de tout ce que nous leur devons.*

*Au terme de ce modeste travail, on remercie vivement notre encadreur Mr. **Zerrouki Hadj**, Maitre de conférences à l'Université de Tlemcen, pour nous avoir guidés et dirigés durant tout le long de notre travail.*

*Nos vifs remerciements s'adressent aussi à Mr. **MERZOUGUI Rachid**, Maitre de conférences à l'Université de Tlemcen, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance ainsi qu'à Mr. **HADJILA Mourad**, Maitre de conférences à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nos remerciements et nos reconnaissances à nos parents pour l'amour et le soutien constant qu'ils m'ont témoigné tout au long de notre carrière d'étude.*

*Enfin, nous exprimons toute notre gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## Résumé

---

Le LTE (*Long Term Evolution*) est l'évolution la plus récente des normes de téléphonie mobile. C'est une technologie sans fil qui dispose d'un ensemble de techniques hertziens, permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP, par l'intermédiaire d'un lien radio. Le rôle du LTE est de promouvoir l'utilisation du haut débit mobile en utilisant l'expérience et les investissements des réseaux qui l'ont précédé, son objectif est d'atteindre des débits encore plus élevés.

LTE-Advanced c'est une norme de communication mobile 4G qui succède à la technologie LTE, elle offre des vitesses plus rapides que la LTE. De plus, la LTE-A permet une connectivité mondiale, une transition facile entre les réseaux et une interopérabilité avec les normes sans fil existantes. Pour bien mener le marché concurrentiel, tout opérateur doit déployer la technologie la plus efficace et la plus performante d'un part, et optimale d'un autre part.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de réaliser une plateforme intelligente sous l'environnement HTML, CSS et JavaScript, dans le but d'optimiser le réseau LTE-A en termes couverture, de capacité et de débit, tout en minimisant les frais de déploiement en garantissant une meilleure qualité de service (QoS).

**Mots-clés :** LTE-A, 4G, Dimensionnement, Optimisation, Couverture, Capacité, eNodeB, Cellule.

## Abstract

---

LTE (Long Term Evolution) is the latest evolution of mobile phone standards. It is a wireless technology that has a set of wireless techniques, allowing connecting a remote user to the IP network, via a radio link. The role of LTE is to promote the use of mobile broadband using the experience and investments of the networks that preceded it; its goal is to achieve even higher speeds.

LTE-Advanced is a 4G mobile communication standard that replaces LTE technology and offers faster speeds than LTE. In addition, LTE-A enables global connectivity, easy transition between networks, and interoperability with existing wireless standards. To successfully lead the competitive market, any operator must deploy the most efficient and powerful technology on the one hand, and optimal on the other hand.

The aim of this end of study project is to create an intelligent platform under the HTML, CSS and JavaScript environment, in order to optimize the LTE-A network in terms of coverage, capacity and throughput, while minimizing deployment costs by ensuring a higher quality of service (QoS).

**Keywords:** LTE-A, 4G, dimensioning, Optimization, Coverage, Capacity, eNodeB, Cell.

## Table des matières

Dédicaces.....	i
Remerciement .....	iii
Résumé et Abstract .....	iv
Table des matières .....	v
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	x
Liste des abréviations .....	xi
Introduction générale.....	1

### Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

I.1 Introduction.....	3
I.2 Principe de base d'un réseau mobile .....	3
I.3 Evolution des systèmes radio cellulaires.....	4
I.3.1 La première génération (1G) .....	4
I.3.2 La deuxième génération (2G) .....	4
I.3.1.1 Le réseau GSM .....	4
I.3.1.2 Le réseau GPRS (2.5G).....	7
I.3.2.4 Architecture du GPRS (2.75G) .....	7
I.3.1.3 Le réseau HSCSD ou EDGE.....	10
I.3.2 La troisième génération (3G) .....	10
I.3.2.1 Le réseau UMTS .....	10
I.3.2.2 HSDPA (3.5G ou 3G+) .....	13
I.3.3.3 HSUPA (3.75G ou 3G++) .....	13
I.3.3 La quatrième génération (4G) .....	13
I.3.3.1 Le réseau LTE.....	13
I.3.3.2 Le réseau LTE-Advanced .....	14
I.4 La cinquième génération (5G) .....	15
I.5 Conclusion .....	15

### Chapitre II : Le réseau LTE-Advanced (LTE-A)

II.1 Introduction.....	17
II.2 But de la 4G .....	17
II.3 Historique du LTE.....	17
II.4 Présentation du réseau LTE .....	18
II.5 Architecture du réseau LTE .....	19
II.5.1 User Equipement (UE).....	19
II.5.2 Le réseau d'accès Evolved-UTRAN (E-UTRAN) .....	20
II.5.3 Les réseaux cœur (EPC).....	21
II.5.3.1 Mobility Management Entity (MME) .....	21
II.5.3.2 Home Subscriber Server (HSS) .....	22
II.5.3.3 Serving Gateway (SGW) .....	22

II.5.3.4 Policy and Charging Rules Function (PCRF).....	22
II.5.3.5 Packet Data Network Gateway (PDN-GW).....	22
II.5.4 La partie IMS (IP Multimedia Sub-système) .....	22
II.6 Les technologies utilisées en LTE .....	23
II.6.1 Les modes du duplexage .....	23
II.6.1.1 Le mode FDD .....	23
II.6.1.2 Le mode TDD.....	22
II.6.2 Modulation et techniques d'accès multiple .....	24
II.6.2.1 OFDM .....	24
II.6.2.2 OFDMA et SC-FDMA.....	25
II.6.3 La technologie MIMO.....	26
II.7 Les couches de réseau LTE .....	27
II.7.1 La couche 1 (couche physique) .....	28
II.7.2 La couche 2 (couche liaison de donnée) .....	28
II.7.2.1 La couche Mac .....	28
II.7.2.2 La couche RLC.....	28
II.7.2.3 La couche PDCP .....	29
II.7.3 La couche 3 (couche réseau).....	29
II.7.3.1 La couche RRC .....	29
II.7.3.2 La couche NAS .....	29
II.8 Caractéristiques de réseaux LTE .....	29
II.8.1 La capacité en nombre d'utilisateur simultané.....	29
II.8.2 Le débit.....	29
II.8.3 La mobilité.....	30
II.8.4 La latence .....	30
II.8.4.1 La latence du plan de contrôle.....	30
II.8.4.2 La latence du plan usager.....	30
II.8.5 La qualité de service.....	30
II.9 Conclusion .....	31

### Chapitre III : Dimensionnement du réseau mobile LTE-A

III.1 Introduction .....	32
III.2 Processus de dimensionnement d'eNodeB.....	32
III.2.1 Processus du dimensionnement du réseau LTE-A .....	33
III.3 Dimensionnement orienté couverture .....	33
III.3.1 Bilan de liaison .....	35
III.3.1.1 Puissance de rayonnement isotrope équivalente (EIRP).....	36
III.3.1.2 Sensibilité de récepteur (Srx) .....	37
III.3.1.3 Puissance du bruit thermique .....	37
III.3.1.4 Rapport du signal a interférence et bruit (SINR) .....	38
III.3.1.5 Marge d'interférence .....	39
III.3.1.6 Marge de shadowing (Fading) .....	40
III.3.2 Model de propagation .....	40
III.3.2.1 Modèles déterministes ou physiques.....	40
III.3.2.2 Modèles empiriques .....	40

III.3.3 Détermination de nombre de sites .....	42
III.4 Dimensionnement orienté capacité.....	43
III.4.1 Introduction .....	43
III.4.2 Planification de la capacité LTE .....	43
III.4.3 Capacité en nombre d'utilisateur.....	44
III.4.4 Calcul du débit moyen de site (cell throughput) .....	44
III.4.5 Estimation de la demande de trafic et le facteur de surréservation .....	44
III.4.6 Capacité en fonction du nombre du site.....	46
III.5 Conclusion .....	46

#### **Chapitre IV : Conception et réalisation d'une plateforme de dimensionnement du réseau LTE-A**

IV.1 Introduction .....	47
IV.2 Spécification des besoins .....	47
IV.2.1 Besoins fonctionnels .....	47
IV.2.2 Besoins non fonctionnels.....	48
IV.3 Etude technique .....	48
IV.3.1 Matériels de base.....	48
IV.3.2 Outils de conception .....	48
IV.4 Choix du langage de modélisation .....	48
IV.4.1 Langage HTML.....	49
IV.4.2 Langage CSS .....	50
IV.4.3 Langage JavaScript .....	51
IV.5 Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-A .....	51
IV.5.1 Interface d'accueil (d'authentification) .....	52
IV.5.2 Interfaces dimensionnement couverture .....	53
IV.5.2.1 Onglet « paramètre de zone et système » .....	53
IV.5.2.2 Onglet « Bilan de liaison » .....	54
IV.5.2.3 Onglet « COST-231 Hata » .....	55
IV.5.3 Interface dimensionnement de capacité.....	56
IV.5.3.1 Onglet « Paramètre capacité » .....	56
IV.5.4 Interface de Résultats .....	57
IV.6 Conclusion .....	59
Conclusion Générale .....	61
Bibliographie.....	63

## Liste des figures

Figure I.1 : Le concept cellulaire dans les réseaux cellulaires .....	3
Figure I.2 : L'architecture du réseau GSM .....	5
Figure I.3 : L'architecture du réseau GPRS .....	8
Figure I.4 : L'acheminement des paquets du réseau GPRS.....	9
Figure I.5 : Architecture du réseau UMTS .....	11
Figure II.1 : Historique du LTE .....	18
Figure II.2 : L'architecture général du réseau LTE.....	19
Figure II.3 : Architecture du réseau d'accès E-UTRAN .....	21
Figure II.4 : Architecture générale du réseau LTE-A .....	21
Figure II.5 : Les modes FDD et TDD .....	23
Figure II.6 : Principe de la modulation OFDM .....	24
Figure II.7 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA .....	25
Figure II.8 : Schéma de système MIMO .....	26
Figure II.9 : Schéma des différents systèmes d'antennes .....	27
Figure II.10 : La modélisation en couches protocolaire de l'interface radio LTE .....	28
Figure III.1 : Processus de dimensionnement. ....	32
Figure III.2 : Processus de dimensionnement du réseau LTE-A.....	34
Figure III.3 : Radio Link Budget pour une liaison descendante.....	35
Figure III.4 : Radio Link Budget pour une liaison montante.....	36
Figure III.5 : Variation du SINR en fonction de nombre de bloc de ressource pour différents schémas de modulation et de codage .....	38
Figure III.6 : Le SINR pour liaison montante et descendante .....	39
Figure IV.1 : Structure d'un document HTML.....	49
Figure IV.2 : Structure de base d'un document HTML.....	50
Figure IV.3 : Un exemple de règle CSS.....	50

Figure IV.4 : Principe de fonctionnement d'un script coté client .....	51
Figure IV.5 : Interface d'authentification (Accueil) .....	52
Figure IV.6 : Echec d'authentification .....	52
Figure IV.7 : Les paramètres de la zone de couverture et du système .....	53
Figure IV.8 : Le bilan de liaison radio pour le calcul de l'affaiblissement maximale .....	55
Figure IV.9 : Les paramètres de modèle de propagation COST-231 Hata.....	56
Figure IV.10 : Les paramètres de dimensionnement par capacité en DownLink.....	57
Figure IV.11 : Interface d'affichage des résultats.....	58
Figure IV.12 : Le résultat global de dimensionnement par couverture et par capacité. ....	59

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Récapitulation des caractéristiques des réseaux mobiles.....	14
Tableau III.1 : Paramètres pour le calcul du la PIRE.....	37
Tableau III.2 : $IM_{dB}$ en fonction de la charge de la cellule.....	40
Tableau III.3 : Paramètre du modèle COST231-Hata.....	41
Tableau III.4 : Comparaison entre les 3 modèles de propagation.....	42
Tableau III.5 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs.....	43
Tableau III.6 : Débit moyen des cellules DL pour le LTE.....	45

## Liste des abréviations

**1G** : première génération.  
**2G** : deuxième génération.  
**3G** : troisième génération.  
**4G** : quatrième génération.  
**5G** : cinquième génération.  
**3GPP** : 3rd Génération Partnership Project.

### A

**AUC** : Authentification Center.  
**AMC** : Adaptive Modulation and Coding.  
**AMPS** : Advanced Mobile Phone System.

### B

**BSC** : Base Station Controller.  
**BTS** : Base Transceiver Station.  
**BSS** : Base Station Subsystem.  
**BG** : Border Gateway.

### C

**CC** : Component Carrier.  
**CoMP**: Coordinated Multi-Point transmission/reception.  
**CS** : Core System.  
**CDMA**: Code Division Multiple Access.

### D

**DL** : Downlink.

### E

**ETACS** : Extended Total Access Communication System.  
**EDGE** : Enhanced Data Rates for GSM Evolution.  
**EIR** : Equipment Identification Register.  
**E-UTRAN** : Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network.  
**ENodeB**: Evolved NodeB.  
**EPC** : Evolved PacketCore Network.  
**EPS** : Evolved Packet System.

### F

**FDD** : Frequency Division-Duplexing.  
**FDMA** : Frequency Division Multiple Access.

### G

**GGSN** : Gateway GPRS Support Node.  
**GSM** : Global System for Mobile communications.

**GPRS** : General Packet Radio Service.  
**GTP** : GPRS Tunneling Protocol.  
**GMSC** : Gateway MSC.

### H

**HSDPA** : High Speed Downlink Packet Access.  
**HSUPA** : High Speed Uplink Packet Access.  
**HLR** : Home Location Register.  
**HSS** : Home Subscriber Server.

### I

**IP** : Internet Protocol.  
**ITU**: International Télécommunications Union.  
**IMEI** : International Mobile Equipment Identity.  
**IMSI** : International Mobile subscriber Identity.  
**IMS** : IP Multimedia Sub-système.

### L

**LTE** : Long Term Evolution

### M

**MAC** : Medium Access Control.  
**MME** : Mobility Management Entity.  
**MISO** : Multiple Input Single Output.  
**MSC** : Mobile services Switching Center.  
**MIMO** : Multi-Input Multiple-Output.  
**MAPL** : Maximum Allowable Path Loss.

### N

**NSS** : Network Switching SubSystem  
**NMC** : Network and Management Centre.  
**NRB** : nombre de blocs de ressources.  
**NGN** : Next Generation Network.  
**NAS** : Non access Stratum.

### O

**OSS** : Opération SubSystem.  
**OMC** : Operations and Maintenance Center.  
**OFDMA**: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.  
**OFDM** : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.  
**OSI** : Open System Interconnection.

- P**
- PDP** : Packet Data Protocol.
  - PLMN** : Public Land Mobile Network.
  - PS** : Packet Système.
  - PDN** : Packet Data Network.
  - PDN-GW** : Packet Data Network Gateway.
  - PCRF** : Policy and Charging Rules Function.
  - PGW** : Packet Gateway .
  - PDCP** : Packet Data Convergence Protocol.
- Q**
- QoS** : Quality of Service
  - QAM**: Quadrature Amplitude Modulation
  - QPSK** : Quadrature Phase Shift Keying.
- R**
- RB** : Resource Block.
  - RE** : Resource Element.
  - RTCP** : Protocol de Transport en temps Reel.
  - RNIS** : Réseau Numérique a Integration de Service .
  - RNC** : Radio Network Controller.
  - RLC** : Radio Link Control.
  - RRC** :Radio Ressource Control.
- S**
- S1** : The interface between NodeB and the Evolved Packet Core.
  - SGSM** : Serving GPRS Support Nœud .
  - SISO** : Single Input Single Output.
  - SC-FDMA** : Single-carrier Frequency Division Acces.
  - SIMO** : Single Input Multiple Output.
- SMS** : Short Message Service.
- SINR** : Signal-to-Interference-and-Noise Ratio.
- SNR** : Signal-to-Noise Ratio.
- SIM** : Subscriber Identity Mobile.
- SDN** : Software Dynamic Network.
- SGW** : Serving Gateway.
- T**
- TDMA** : Time Division Multiple Access.
  - TDD** : Time Division Demultiplexed.
  - TS** : Time slot.
  - TACS** : Total Access Communication System.
  - TD-SCDMA** : Time Division Synchronous Code Division Multiple Access.
- U**
- UE** : User Equipment .
  - USIM** : Universal Subscriber Identity Mobile.
  - UL** : Uplink.
  - UMTS** : Universal Mobile Telecom-munications System.
- V**
- VLR** : Visitor Location Register.
  - VoIP** : Voice over IP.
- W**
- WCDMA** : Wideband Code Devision Multipel Access.
- X**
- X2** : The interface between NodeBs.

---

# *Introduction Générale*

---

## ***Introduction Générale***

L'augmentation massive du volume de trafic fait appel à des débits élevés, pour soutenir les applications et les services avancée, qui sont devenus une partie intégrante de notre quotidien. Pour répondre à ce besoin, l'organisme de standardisation *Third-Generation Partnership Project (3GPP)* a mené le projet *Long Term Evolution (LTE)* pour la quatrième génération des réseaux mobiles, afin de fournir un débit considérablement élevé par rapport à ses processus avec un temps de latence réduit pour l'accès aux différents services.

Les systèmes LTE sont continuellement mis à jour depuis l'introduction de la version 8, en vue l'amélioration des performances des réseaux sans fil, la version 12 est la plus récente adoptée en 2014. Par ailleurs, l'appellation de LTE a changé à *LTE-Advanced (LTE-A)* depuis la version 10, ou le mot *Advanced* a été ajouté principalement pour mettre en évidence la relation entre la version 10 de LTE et l'UIT/IMT-Advanced.

*LTE-Advanced* est devenue la technologie la plus prometteuse avec l'émergence des nouvelles techniques d'accès radio, qui introduisent l'agrégation des composants porteuses, Il fournit une bande passante et un débit plus élevés afin de confronter les exigences accrues du trafic mobile et de maximiser le nombre d'utilisateurs admis et servis.

Cette évolution a conduit les opérateurs à adapter leurs méthodes de dimensionnement et de planification aux nouvelles technologies. La planification doit répondre à de nouveaux défis, l'accroissement des nouveaux services, la compatibilité avec les réseaux actuels, la gestion intercellulaire des utilisateurs ainsi que la qualité de service.

Dans ce cadre, se réalise notre projet de fin d'étude. Au cours de notre rapport, nous avons quatre chapitres à mettre en œuvre :

Le premier chapitre donnera un aperçu général des différentes normes de téléphonie mobile, tel que la 1<sup>ère</sup> génération (1G) comme l'était, au départ, la téléphonie fixe, le GSM (2G) qui donnaient accès au service voix en mobilité, le GPRS (2,5 G), l'EDGE (2,75 G) et l'UMTS (3G) qui permettent aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.

Le deuxième chapitre est une étude profonde sur le réseau LTE-Advanced, son architecture, ses caractéristiques, ses technologies d'accès et ses protocoles.

Le troisième chapitre sera consacré pour détailler le dimensionnement dans lequel nous expliquons en détails son processus dans le réseau LTE-Advanced, et nous allons étudier et proposer une solution pour la planification orientée couverture et orientée capacité.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous présentons les différentes interfaces de notre plateforme de dimensionnement ainsi que son principe de fonctionnement. Nous élaborons la conception et la réalisation par l'exposition des différentes interfaces de l'application accompagnée d'une description précise.

A la fin, nous terminerons avec une conclusion qui récapitule notre travail et qui présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

---

***Chapitre I :***

*Généralités sur les réseaux  
mobiles*

---

## I.1 Introduction

Les communications sans fil sont aucun doute le segment le plus dynamique de l'industrie des communications, en tant que telles, elles ont attiré l'attention des medias et de l'imagination du public. Les systèmes cellulaires ont connu une croissance exponentielle au cours de la dernière décennie, et il y a actuellement pas moins de sept milliards d'utilisateurs dans le monde. En effet, les téléphones cellulaires sont devenus un outil de travail essentiel et une partie de la vie quotidienne dans la plupart des pays de monde. En outre, du fait de leur flexibilité et leur mobilité. Le développement des réseaux mobiles a vécu quatre générations (1G, 2G, 3G, 4G) et prochainement la 5<sup>ème</sup> génération qui n'est pas encore mise en œuvre. Ces différentes générations ont connues une évolution remarquable vu qu'elles apportent plein d'avantage concernant le débit et la largeur de bande passante, et surtout le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

La 1<sup>ère</sup> génération des téléphones mobile a débutée dans le début des années 80, en offrant un service médiocre. Médiocre mais très couteux ainsi que cette génération avait beaucoup de défauts. Dans les années 90 le GSM est apparu, c'est une norme mondiale, il s'agit de la norme 2G s'appuyant sur les transmissions numériques. Son principe est de passé des appels téléphoniques ainsi qu'il permet l'émission de SMS. La 3G a été impulsée par les exigences de l'IMT-2000 dans les années 2000 pour permettre des applications vidéo sur le mobile. En 2010 la norme LTE-Advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence.

Dans ce chapitre, on va présenter chaque une de ces générations, et donner leurs architectures brièvement ainsi que d'autres services.

## I.2 Principe de base d'un réseau mobile

Le fonctionnement du réseau mobile base sur le système cellulaire (Figure I.1). La cellule peut utiliser plusieurs fréquences qui seront différentes de celle des cellules voisines, alors que ces même fréquences peuvent se réutiliser par d'autre cellule de façon a éviter les interférences (la réutilisation de fréquence).

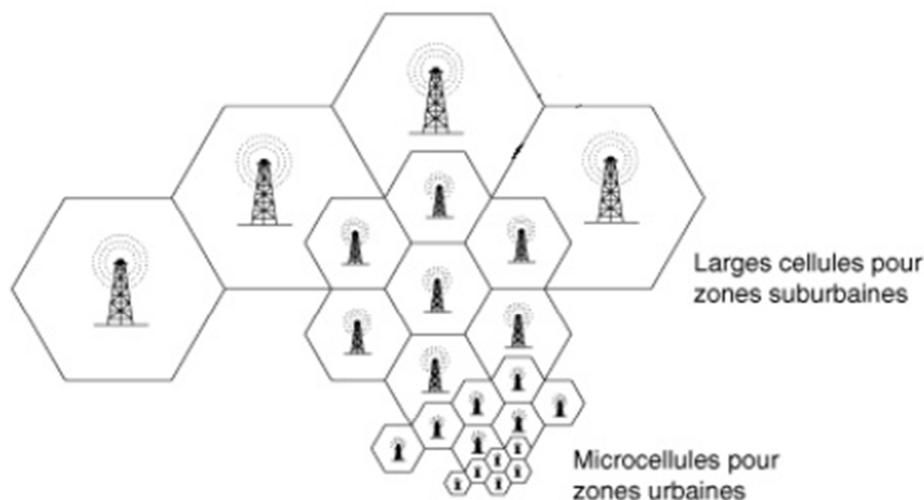


Figure I.1 : Le concept cellulaire dans les réseaux mobiles.

Le nombre de communications simultanées par une station de base est limité par le nombre de porteuse disponible. Dans les zones urbaines denses, l'opérateur utilise des microcellules de quelques centaines de mètres de rayon pour écouler un trafic important par unité de surface. Dans les zones rurales faiblement peuplées, les cellules sont de tailles importantes jusqu'à 30 km et sont appelées des macro-cellules.

## I.3 Evolution des systèmes radio cellulaires

### I.3.1 La première génération (1G)

La première génération des systèmes cellulaires dénommé (1G) fait son apparition dans les années 1970-1980, elle reposait sur un système de communication mobile analogique. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 ; le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base. Elle avait beaucoup de défauts (les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux, elle est non sécurisé).

La première génération de systèmes cellulaires (1G) utilisait essentiellement les standards suivant :

- **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*) : Lancé aux Etats-Unis 1976, c'est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA, ce réseau possédait un faible mécanisme de sécurité ce qui donne la possibilité de piratage des lignes téléphoniques.
- **TACS** (*Total Access Communication System*) : Il repose sur la technologie AMPS, c'est une version européenne. Ce système utilisé en Angleterre ensuite en Asie, sa bande de fréquence est de 900 MHz.
- **ETACS** (*Extended Total Access Communication System*) : C'est une amélioration du standard TACS développée par le royaume uni, qui utilisait un nombre plus important de canaux de communications.

### I.3.2 La deuxième génération (2G)

La seconde génération de réseaux mobiles (notée 2G) a marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires, grâce au changement de la technologie qu'elle a réalisée. Ce changement inclut le passage de la transmission analogique à la transmission numérique. Ces principaux standards sont : GSM, GPRS et EDGE.

#### I.3.1.1 Le réseau GSM

Le réseau GSM (*Global System for Mobile communication*) constitue au début de 21<sup>ème</sup> siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Le GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC). Il s'interface avec le RTC et comprend des commutateurs. Enfin, comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

- **GSM 900** : Système radio mobile à vocation urbaine et rural (macro cellule) et utilisant la fréquence des 900 MHz avec des sous bande de largeur 25 MHz (890-915) MHz et (935-960) MHz.
- **DCS 1800** : Exploite la fréquence 1800 MHz avec des sous bande de largeur 75 MHz destiné pour les réseaux mobiles spécialement dans les zones urbaines (microcellule).

### a) Historique de la norme GSM

L'histoire de GSM a commencé en 1979 date à laquelle LUIT a ouvert la bande des 900 Mhz aux services mobiles.

- En 1982 : Il Ya eu allocation de sous bandes de largeurs de 25Mhz, de 890 MHz à 915 MHz pour les transmissions des terminaux vers les réseaux (*Uplink*) et de 935 Mhz à 960 MHz pour les transmissions en sen inverses (*Downlink*).
- En 1987 : Le GSM (Groupe européen (France – Allemagne)) choisit la transmission numérique avec multiplexage temporel, le type de modulation, le codage du canal le codage de la parole à débit réduit.
- En 1988 : Lancement de l'appel d'offre en France.
- En 1991 : Déploiement du réseau GSM prototype en France, France Telecom, SFR.
- En 1993 : Ouverture commerciale du réseau GSM.
- En 1991 : Sous impulsion des britanniques, un système parallèle a GSM 900 MHz, le DCS 1800 exploite la fréquence 1800 MHz avec des sous bandes de largeurs 75 MHz, destiné pour les réseaux mobiles spécialement dans les zones urbaines de forte densité.
- Actuellement, dans beaucoup de pays, la norme GSM inclut le DCS 1800 [1].

### b) Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM est caractérisé par un accès très spécifique: la liaison radio. La figure suivante présente l'architecture de GSM :

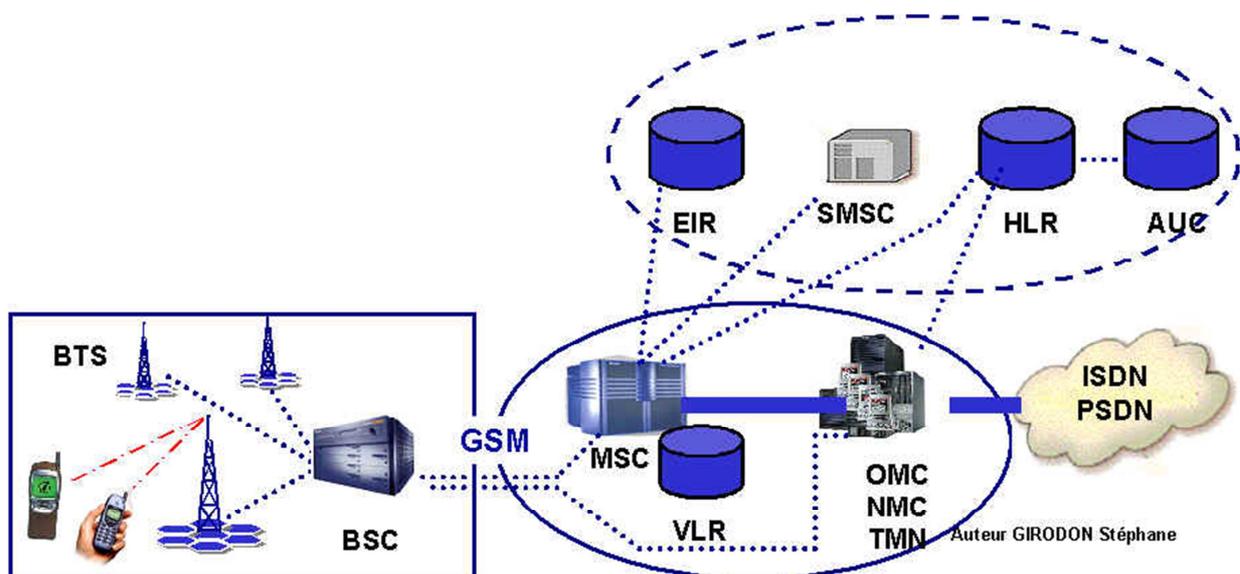


Figure I.2 : L'architecture de réseau GSM.

Un réseau GSM est constitué de 3 sous-systèmes plus la station mobile :

➤ **La station mobile (*mobile station*)**

Le terminal de l'utilisateur dans un réseau GSM (téléphone portable) est appelé station mobile, il permet à l'abonné d'accéder au service du réseau au travers des systèmes cellulaires.

Une station mobile est composée par un numéro unique l'IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) et une carte SIM (*Subscriber Identity Module*) permettant d'identifier l'utilisateur, elle contient le numéro d'identification de l'abonné IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) et des algorithmes de chiffrement [2].

➤ **Le sous-système radio BSS (*Base Station Subsystem*)**

C'est un sous-système qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio. Il se compose de deux équipements :

- La **BTS** (*Base Transceiver Station*) : Ce sous système est composé d'un ensemble des émetteurs/récepteurs pilotant une ou plusieurs cellules. Il assure la réception des appels entrant et sortant des équipements mobiles.
- Le **BSC** (*Base Station Controller*) : Présente l'organe intelligent du BSS, ce composant a le rôle d'assurer le contrôle des stations de base. elle s'occupe de l'administration des ensembles des stations de base BTS.

➤ **Le sous-système d'acheminement NSS (*Network Switching SubSystem*)**

Le NSS comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour appels et gestion de la mobilité, il permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. Il constitue par les équipements suivants :

- Le **HLR** (*Home Location Register*) : Le HLR est une base de données centrale qui assure le stockage des informations sur identité et la localisation des abonnés.
- Le **VLR** (*Visitor Location Register*) : Une base de données associée à un commutateur MSC, il assure le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau, les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présentes dans la zone concernée.
- Le **MSC** (*Mobile Service Switching Center*) : Le MSC est le centre de commutation de mobile, il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC ainsi qu'il assure la commutation dans le réseau.
- L'**AUC** (*Authentication Center*) : Le centre d'authentification AUC mémorise pour chaque abonné une clé secrète pour chiffrer les communications, son rôle est d'assurer l'authentification des terminaux des réseaux.
- L'**EIR** (*Equipment Identification Register*) : L'EIR est une base de données annexe contenant les identités des terminaux, il permet de gérer les problématiques liées au

terminal visé, l'EIR est consulté lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier si le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau ou non.

➤ **Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (*Opération SubSysteme*)**

L'OSS permet à l'opérateur d'exploiter son réseau, comme il assure la gestion et la supervision du réseau.

- Le **NMC** (*Network and Management Center*) : Permet l'administration de l'ensemble de réseau par un contrôle centralisé.
- Le **OMC** (*Operation and Maintenance Center*) : Permet la supervision des équipements (ils supervisent les ensemble de BTS et de BSC, et autre supervisent de MSC et des VLR).

### **1.3.1.2 Le réseau GPRS (2.5G)**

Le GPRS (*General Radio Packet Service*) c'est une technologie orientée paquet, destinée à fonctionner sur des réseaux GSM, il a fait son apparition en 2001, il peut considérer comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux système de 3<sup>ème</sup> génération, en terme de service et de débit , Son objectif est de relier le monde GSM au monde internet.

Un réseau GPRS comprend des abonnés mobiles ou fixes et peut être relié a divers réseaux de donnés fixes reposant sur différents protocoles : IP (*Internet Protocol*), X25 (protocole de l'IUT orienté connexion).

Les recommandations GPRS reprennent l'architecture du BSS mais une architecture différente du NSS. La figure 1.3 présente l'architecture de réseau GPRS .

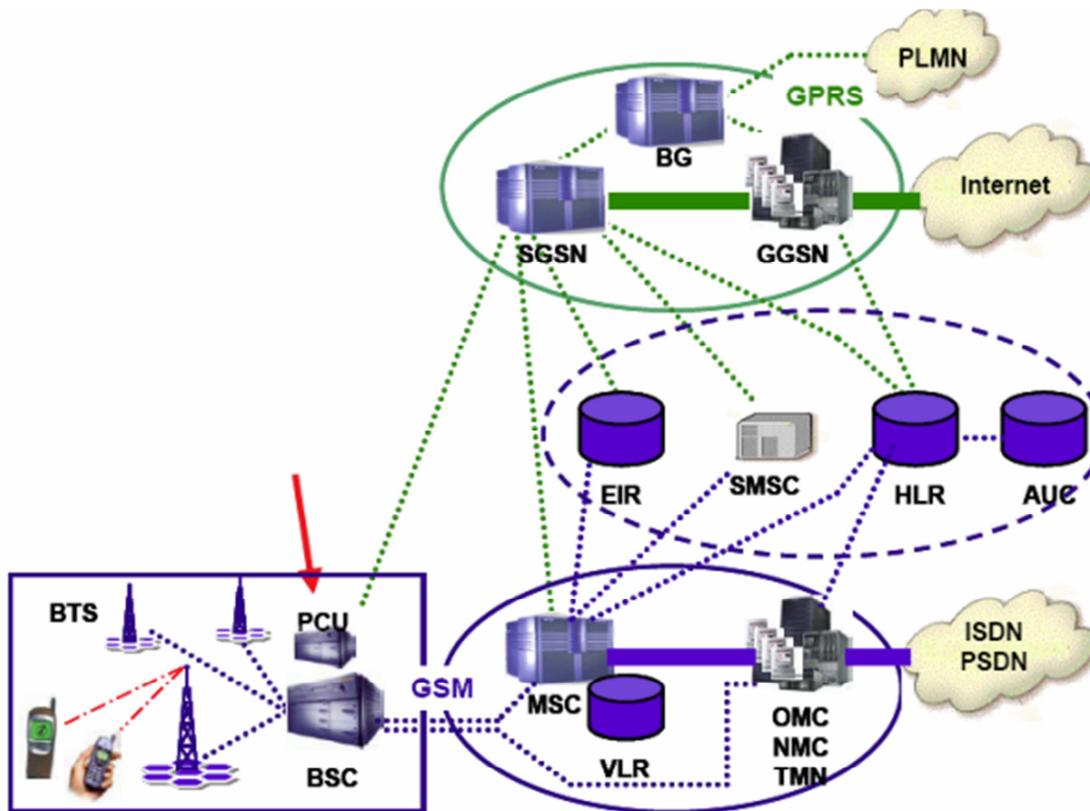


Figure 1.3 : Architecture de réseau GPRS.

#### a) Les éléments du réseau cœur(GPRS)

Pour acheminer efficacement les paquets des mobiles vers les réseaux paquet publics, tel que X25 ou IP, le GPRS met en place un réseau fixe à commutation de paquet constitué de routeur. Aux frontières de ce réseau paquet on distingue deux types de routeurs, doté de fonctions particulières :

- **Le nœud de service (SGSN) :** (*Serving GPRS Support Node*) est un routeur IP en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gère les transmissions radio (BTS, BSC, HLR), il est relié a un ou plusieurs BSS du réseau GSM. Le SGSN est le contrôleur des terminaux GPRS, il est responsable de l'acheminement des paquets entre le réseau fixe et le mobile. Il gère en conséquence les contextes de mobilité et de sécurité du mobile, ainsi qu'un contexte caractéristique du réseau de données avec lequel le mobile est connectée contexte PDP (*Packet Data Protocol*).
- **Le nœud de passerelle (GGSN) :** Le nœud de passerelle GPRS dénommé GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) est relié a un ou plusieurs réseaux de données (internet, autre réseau GPRS). C'est une passerelle d'interconnexion entre le réseau paquet mobile et les réseaux IP externes, c'est aussi un routeur qui permet aux paquets venant de réseaux de données externes d'être acheminés vers le SGSN du destinataire.

- **Le module BG pour la sécurité :** Le module BG (*Border Gateway*) définit comme nœud qui permet de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assure les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux. Ces BG permettent de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux, ainsi qu'ils jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (*Public Land Mobile Network*).

### b) Principe générale de l'acheminement des données

Lorsque les données sont transmises par un mobile vers un terminal fixe du réseau de données PDP, les données transmises arrivent via le BSS jusqu'au SGSN qui les envoie à son tour vers le GGSN, ce dernier route les données vers le destinataire vu que c'est une passerelle avec le réseau PDP.

Le routage des données vers les terminaux mobiles utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnel (Entre le GGSN et le SGSN, les données utilisateur sont simplement encapsulées par le protocole GTP (*GPRS Tunneling Protocol*)) [3].

Dans l'acheminement des paquets (figure I.4) dans des tunnels entre le SGSN et le GGSN, Le GGSN joue le rôle d'agent local, tandis que le SGSN représente l'agent étranger. Toutefois, les protocoles issus du monde IP.

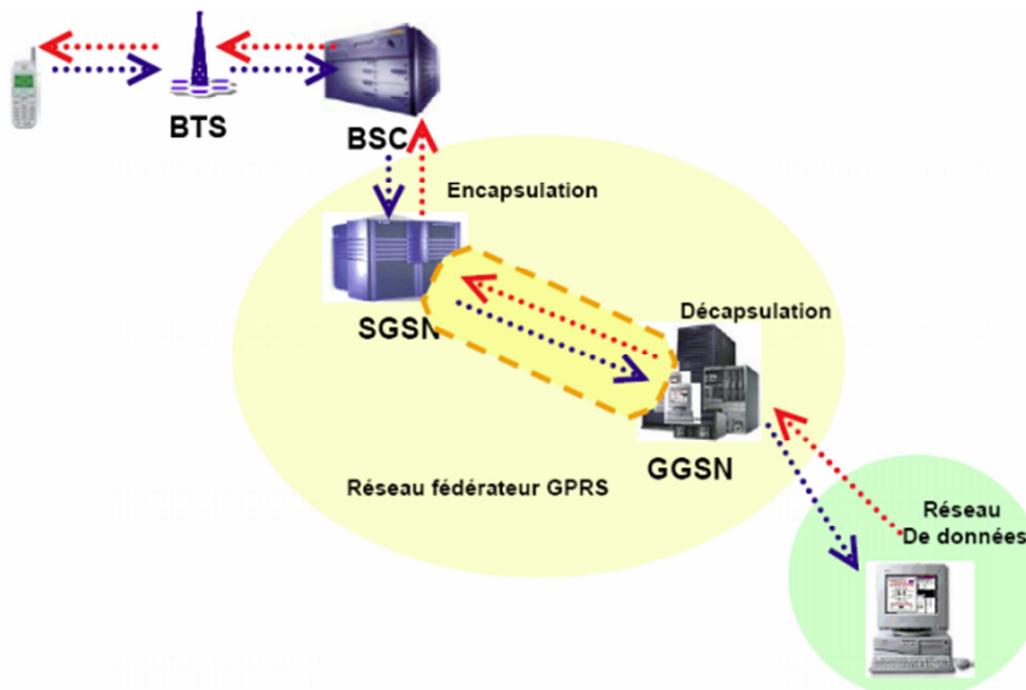


Figure I.4 : L'acheminement des paquets du réseau GPRS.

Le débit maximal instantané annoncé pour le GPRS est de 171.2Kbit/s même s'il est limité à 48 Kbit/s en mode descendant. (Limite actuelle des terminaux GPRS). La mise en place d'un réseau GPRS permet à un opérateur de proposer de nouveaux services de type data avec un débit de données 10 fois supérieur au débit maximum théorique de GSM (9.6 Kbit/s).

### 1.3.1.3 Le HSCSD ou EDGE (2.75G)

Cette technologie fait partie de deuxième génération, entre le GPRS et UMTS (*Universal Mobile Télécommunication System*), elle est initialement développé par Ericsson, puis repris par l'ETSI (*Européen télécommunications Standards Institute*)

De même que le GPRS, l'EDGE utilise une technologie en mode paquets offrant des débits de 384 Kbit/s pour un utilisateur immobile. Comme il utilise une nouvelle modulation du signal (8 PSK), qui permet d'améliorer l'efficacité spectrale, la capacité de réseau et le taux de transmission de données.

## 1.3.2 La troisième génération (3G)

### 1.3.2.1 Le réseau UMTS

La 3<sup>ème</sup> génération (3G) apparue en 2000, désigne une génération de norme de téléphonie mobile, elle est basée principalement sur les normes *Universal Mobile Télécommunication System* (UMTS) et CDMA2000 permettant une bande de fréquences plus larges et un système des données par paquets.

Permettant des débits de (2 à 42 Mbits/s définit par la dernière génération du réseau UMTS), elle est capable d'offrir des services supplémentaires comme la transmission des vidéos, la téléphonie mobile et la visiophonie.

L'UMTS repose sur la technique d'accès multiple W-CDMA, une technique dite à étalement de spectre, alors que l'accès multiple pour le GSM se fait par une combinaison de division temporelle TDMA et de division fréquentielle FDMA [1].

Les spécifications des IMT-2000 (*International Mobile Télécommunication for the year 2000*) définissent les caractéristiques de la 3G qui sont les suivantes :

- Un haut débit de transmission :
  - ✓ 144 kbps avec une couverture totale pour une utilisation mobile.
  - ✓ 384 kbps avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne.
  - ✓ 2 mbps avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe.
- Compatibilité mondiale.
- Compatibilité de couverture mobile de 3eme génération avec les réseaux de seconde génération.

Pour un usage plus confortable de la connexion haut débit il fallu améliorer les terminaux (Smartphone, tablette, ...) [3].

La mise en place d'un réseau UMTS permet à un opérateur de compléter son offre existante par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant, ainsi les réseaux GSM et GPRS. L'architecture du réseau UMTS est représentée par la figure ci-dessous.

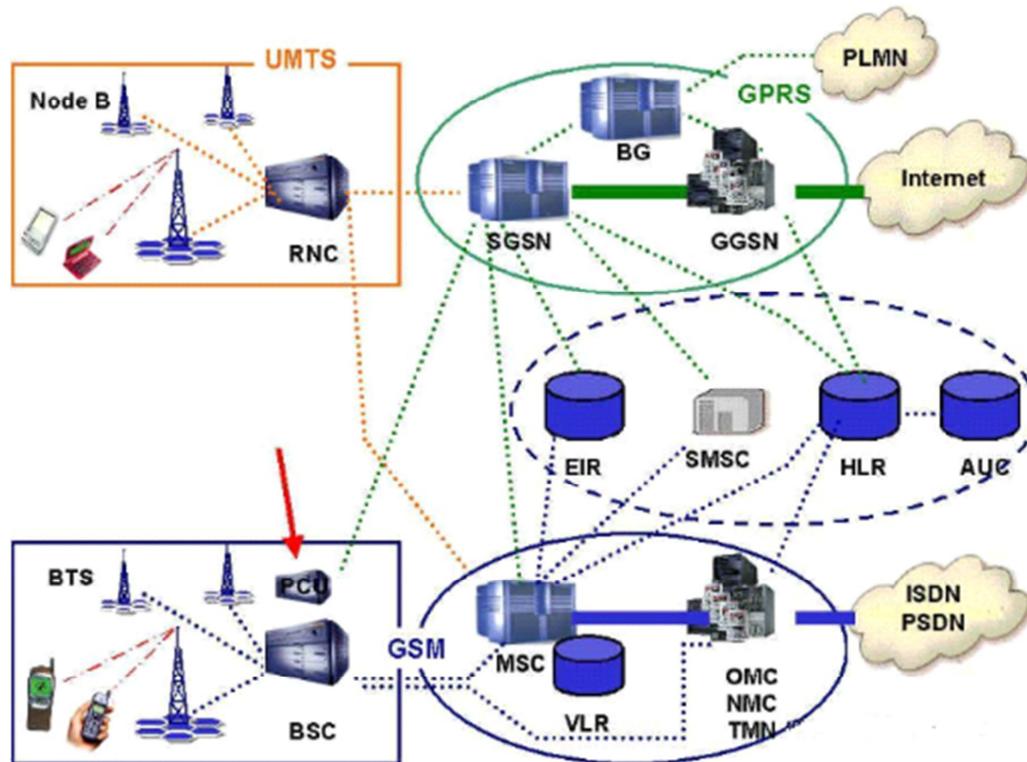


Figure I.5 : Architecture du réseau UMTS.

#### a) Les équipements du réseau UMTS

L'architecture UTRAN est le réseau d'accès terrestre pour le système UMTS qui est composée de :

- **Les cellules :** Une cellule est une zone géographique couverte par le champ radioélectrique d'une station de base et est définie par une identité de cellule sur un canal physique.
- **Le Node B :** Le Node B est l'équivalent du BTS au réseau GSM. Ces fonctionnements principaux sont :
  - Gérer la couche physique de l'interface radio.
  - Administrer le codage canal
  - L'entrelacement.
  - L'adaptation du débit.
  - L'étalement et le désétalement.
- **Le RNC (Radio Network Controller) :** Le RNC constitue la partie intelligente de l'accès et correspond à l'interface entre le Core Network et les Nodes B. Il est encore l'équivalent du BSC dans le réseau GSM. Il gère et contrôle les ressources radio en utilisant le protocole RRC (*Radio Resource Control*) pour définir les procédures et communication entre mobiles et le réseau.

- **La carte USIM** : La carte USIM assure la confidentialité des communications, en utilisant des algorithmes de cryptage à clés publique. La carte USIM est l'équivalent de la carte SIM en 2G. Actuellement, il existe des cartes tri-modes GSM/GPRS/UMTS permettant un accès à ces réseaux.
- **Le mobile** : Les technologies de l'informatique et des télécommunications se rapprochent sur les terminaux UMTS par l'intégration de système d'exploitation et d'application. Les terminaux s'adapteront sur différents réseaux et devront être capables de fonctionner sur quatre environnements :
  - Dans une zone rurale.
  - Dans des espaces urbains.
  - Dans un bâtiment (indoor).
  - Avec un satellite.

### b) fréquences et modes de transmission de l'UMT

L'UIT (*Union Internationale des Télécommunications*) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel **TDD** (*Time Division Demultiplexed*) : [1885-1920] MHz (*Uplink bande de 35MHz*) et [2010-2025] MHz (*Downlink bande de 15MHz*).
- Duplex fréquentiel **FDD** (*Frequency Division Demultiplexed*) [1920-1980] MHz (*Uplink bande de 60MHz*) et [2110-2170] MHz (*Downlink bande de 60 MHz*).
- Bandes satellites : [1980-2010] MHz (*Uplink de 30 MHz*) et [2170-2200] MHz (*Downlink de 30MHz*).
- La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale de 4,685 MHz [1].

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

- **Le domaine circuit** : Ce domaine permet de gérer les services temps réels tel que les appels téléphoniques, la visioconférence et les applications multimédias. Ces applications exigent un temps de transfert très réduits. Le débit supporté par ce mode peut arriver jusqu'à 384 kbit/s. L'infrastructure pour le domaine circuit s'appuie sur un MSC/VLR (*Mobile Switching Center/Visitor Location Register*) correspond à un commutateur téléphonique auquel est rattachée une base de données pour les abonnés visiteurs de la zone de service de ce MSC et sur un GMSC (*Gateway MSC*) pour la commutation vers les réseaux externes tel que les RTCP (*Réseau téléphonique commuté publique*).
- **Le domaine paquet** : Ce domaine traite les services non temps réelle tel que les téléchargements des fichiers ou des e-mails, les jeux en réseau, la navigation sur le Web. Le temps de transfert pour ce type d'application n'est pas important. Le débit pourra atteindre 2Mbit/s. Le réseau IP est basé sur un SGSN (*Serving GPRS Support Node*)

jouant le même rôle que le MSC/VLR en mode paquet et un GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) pour faire transiter les données vers les réseaux externes de transmission de données, et négocie la qualité de service réseau. On trouve le HLR (*Home Location Register*), comme un élément commun aussi bien pour le domaine de paquet que pour le domaine de circuit. Il s'agit d'une base de données contenant les profils et toutes les informations concernant les données [1].

### **1.3.2.2 HSDPA (3.5G ou 3G+)**

La troisième génération (UMTS) impose des investissements énormes pour des débits qui ne sont pas éloignés de ceux du GPRS et se voit rapidement remplacée par la nouvelle génération 3,5G, appelée HSDPA. Cette nouvelle technologie offre des débits pouvant atteindre 8 à 10 Mbit/s sur le lien descendant. Le HSDPA peut être installé déployé sans changer radicalement l'architecture de l'UMTS. Il permet du coup aux opérateurs de réaliser cette évolution à moindre coût [3].

### **1.3.2.3 HSUPA (3.75G ou 3G++)**

La 3.75G est une variante de HSDPA sur la voie montante. HSUPA peut être considérée comme le successeur de HSDPA, elle porte le débit montant (*Uplink*) vers les 20 Mbit/s comme en HSDPA. L'intérêt de cette technologie est d'offrir la possibilité d'émettre vers d'autres mobiles toutes sortes des documents électroniques (images, vidéos ...) favorisant ainsi le développement de l'Internet haut débit mobile [4].

## **1.3.3 La quatrième génération (4G)**

La technologie 4G est la nouvelle génération des standards téléphoniques, en voie d'expansion à travers le monde. Alors qu'au sein du réseau 3G, les données internet et conversations téléphoniques étaient séparées, le débit devant alors se partager entre les utilisateurs connectés, la 4G réunit l'ensemble de ces données. Cela garantit un transfert de données de meilleure qualité.

La 4G assure la convergence de la 3G avec les réseaux de communication radio fondés sur le protocole IP. la connexion devra être possible quel que soit le mode de couverture [5].

### **1.3.3.1 Réseau LTE**

La norme LTE, définie par le consortium 3GPP, a d'abord été considérée comme une norme de troisième génération « 3.9G » (car proche de la 4G), spécifiée dans le cadre des technologies IMT-2000, car dans les « versions 8 et 9 » de la norme, elle ne satisfaisait pas toutes les spécifications techniques imposées pour les normes 4G par l'*Union internationale des télécommunications* (UIT). La norme LTE n'est pas figée, le consortium 3GPP a fait évoluer en permanence (en général, une nouvelle version tous les 12 à 18 mois).

Avec la 4G on se dirige vers la transmission de toutes les informations-voix et données par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins chère à gérer.

### 1.3.3.2 Le réseau LTE-Advanced :

La norme LTE-A a été établie par les membres du projet 3GPP (3rd Generation Partnership Project) auquel participent plusieurs organismes régionaux de normalisation en communications. La première version de la norme LTE-A a été complétée en 2011 par l'Institut européen des normes de télécommunications et le 3GPP.

En résumé, un réseau LTE-A mise sur l'utilisation maximale de 100 MHz de spectre de fréquences, contre un maximum de 20 MHz de spectre de fréquences pour un réseau fondé sur la norme LTE. L'utilisation du spectre de fréquences pour les réseaux LTE-A est fondée sur l'agrégation de porteuses (*Carrier Aggregation* en anglais), où il y a combinaison de spectres qui sont situés à l'intérieur d'une même bande ou bien dans plusieurs bandes qui seront contigües ou non [5].

#### a) Tableau récapitulatif

Standard	Génération	Bande de fréquence	Débit	
GSM	2G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de faible volume.	9,6 kpbs	9,6 kpbs
GPRS	2.5G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de volume modéré.	21,4-171,2 kpbs	48 kpbs
EDGE	2.75G	Permet le transfert simultané de voix et de données numériques.	43,2-345,6 kpbs	171 kpbs
UMTS	3G	Permet le transfert simultané de voix et de données numériques à haut débit.	0.144-2 Mbps	384 Kbps
LTE	4G	Permet le transfert simultané de voix et de données numériques à haut débit.	10-300 Mbps	5-75 Mbps

Tableau I.1 : Récapitulation des caractéristiques des réseaux mobiles.

#### b) Technologie de nouvelle génération

Le NGN (*Next Generation Network*) pourrait être traduit par "le réseau de demain" ou "le réseau de la prochaine génération". Il s'agit d'un concept utilisé pour se référer à une architecture basée sur les paquets ayant pour but d'apporter de nouveaux services aux utilisateurs. Le NGN représente le cœur des évolutions des architectures de réseaux pour la téléphonie sur IP et les services multimédia [6].

### I.3.4 La cinquième génération (5G)

La « 5G » est une nouvelle génération des standards de la téléphonie mobile. Cette technologie de télécommunication sans fil promet de révolutionner la manière dont le monde communique. Absolument tout, des véhicules autonomes, aux robots chirurgicaux, en passant par les dispositifs de réalité virtuelle augmentée, les drones, « Internet des Objets » (*Internet of Things* ou IoT), plus généralement, toutes les communications mobiles seront couvertes par une nouvelle tranche de bande passante située entre 6 GHz et 300 GHz. Une partie de cette tranche sera sous licence, mais une grande partie libre.

La 5G est différente des générations précédentes. Pour la première fois, l'infrastructure physique sera séparée de l'infrastructure logique ou « virtuelle ». Un réseau de type « SDN » (*Software Dynamic Networks* - réseaux définis par logiciel) sera selon, la demande, mis en place, supprimé, agrandi, ou réduit. La gestion complexe du réseau sera effectuée par apprentissage automatique (*Machine Learning* ou ML) et au moyen de l'Intelligence artificielle (AI). Mais pour que tout cela fonctionne, les principaux opérateurs devront accepter les normes internationales et ouvrir leurs interfaces à des acteurs extérieurs voire même à la concurrence. C'est à ce niveau que se jouera la bataille réglementaire et juridique. A moins d'une attention suffisante accordée dès à présent à ces problèmes émergents, les utilisateurs qui dépendent des télécommunications avancées en Amérique du Nord et dans l'Union européenne se verront empêchés de profiter de la large gamme d'avantages promis par 5G ; en conséquence, l'Innovation risquerait de prendre du retard par rapport à d'autres régions du monde<sup>1</sup>.

Les vitesses de téléchargement de données sur les réseaux 5G devraient être plusieurs centaines de fois supérieures à celles de la 4G. Cette dernière va changer les moyens d'utiliser les téléphones portables avec une bande passante très élevée.

Les réseaux 5G seront probablement déployés commercialement entre 2020 et 2025. Si les normes mondiales sont finalisées d'ici 2019, les déploiements commerciaux les plus précoces pourraient avoir lieu d'ici 2020 [7].

Les combinés 3G et 4G ne fonctionnent pas sur les réseaux 5G. Elle nécessitera de nouveaux chipsets et dispositifs capables de supporter des vitesses supérieures à 10 gigabits par seconde. La 4G et la 3G fonctionnent à une fraction de cette vitesse.

## I.4 Conclusion

Les réseaux de téléphonie mobiles se sont beaucoup plus développés, qu'ils soient filaires ou hertziens. L'apparition de nouveaux réseaux sans fil pour la communication à distance a pour le but d'être connecté en permanence à un réseau mobile.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur l'évolution des réseaux cellulaires qui sont utilisées dans notre vie quotidienne, on a passé de la première génération analogique en suite la deuxième génération GSM et son architecture, le GPRS, l'EDGE puis

le réseau UMTS ainsi que ses deux évolutions HSPA et HSPA+, le réseau LTE et le LTE *Advanced*. Finalement, un peu aperçu sur la cinquième génération.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier en détail le réseau LTE-*Advanced*, son architecture et ses nouvelles techniques de transmissions.

---

## ***Chapitre II :***

### *Le réseau LTE-Advanced (LTE-A)*

---

## II.1 Introduction

Le processus d'évolution à long terme du 3GPP a engendré une succession de standards, LTE : Rel-8, Rel-9, Rel-10 et bientôt Rel-11, faisant intervenir des technologies avancées, à savoir la modulation OFDM, la technologie MIMO, la technique d'accès multiple OFDMA et l'agrégation de porteuses pour croiser avec les exigences de l'IMT-Advanced (à partir de Rel-10)

Dans ce chapitre, on va particulariser la présentation du réseau radio mobile LTE (*Long Term Evolution*), aussi nous représenterons les différents composants de la technologie LTE-Advanced et ces caractéristiques, les technologies OFDM, SC-FDMA, MIMO et les types de modulation et codage.

## II.2 But de la 4G (LTE)

Le LTE (*Long Term Evolution*) est une évolution des normes de mobile GSM/EDGE, CDMA2000, TD-SCDMA et UMTS. Elle est considérée comme une norme de troisième génération « 3.9G » (car proche de la 4G), spécifiée dans le cadre des technologies IMT-2000.

La 4<sup>ème</sup> génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle offre des meilleurs débits aux usagers en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes.

Elle assure une mobilité et performance : surfer sur Internet plus rapidement, télécharger des applications en un temps record, partager des photos et des vidéos en instantané, regarder des films en haute définition... Tout va beaucoup plus vite avec la 4G !

## II.3 Historique du LTE :

Une *Release* correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini neuf Releases entre 1998 et 2011 :

- Release 97 : définition du GPRS ;
- Release 99 : introduction de l'UMTS ;
- Release 4 : ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit ;
- Release 5 : introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS
- Release 6 : introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS
- Release 7 : introduction du HSPA+ MIMO ;
- Release 8 : introduction des évolutions HSPA+ CPC et DCHSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC.
- Release 9 : évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et introduction du DC-HSUPA ; seconde Release du LTE.
- Release 10 : évolution multi-porteuse du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée *LTE-Advanced*.

- La Release 11: « *Overview of 3 GPP Release 11* » V0.0.8 en 2011 (septembre) définit la réalisation de la LTE.
- La Release 12: « *Overview of 3 GPP Release 12* » V0.0.5 en 2012 (septembre) concerne les récentes extensions [1].

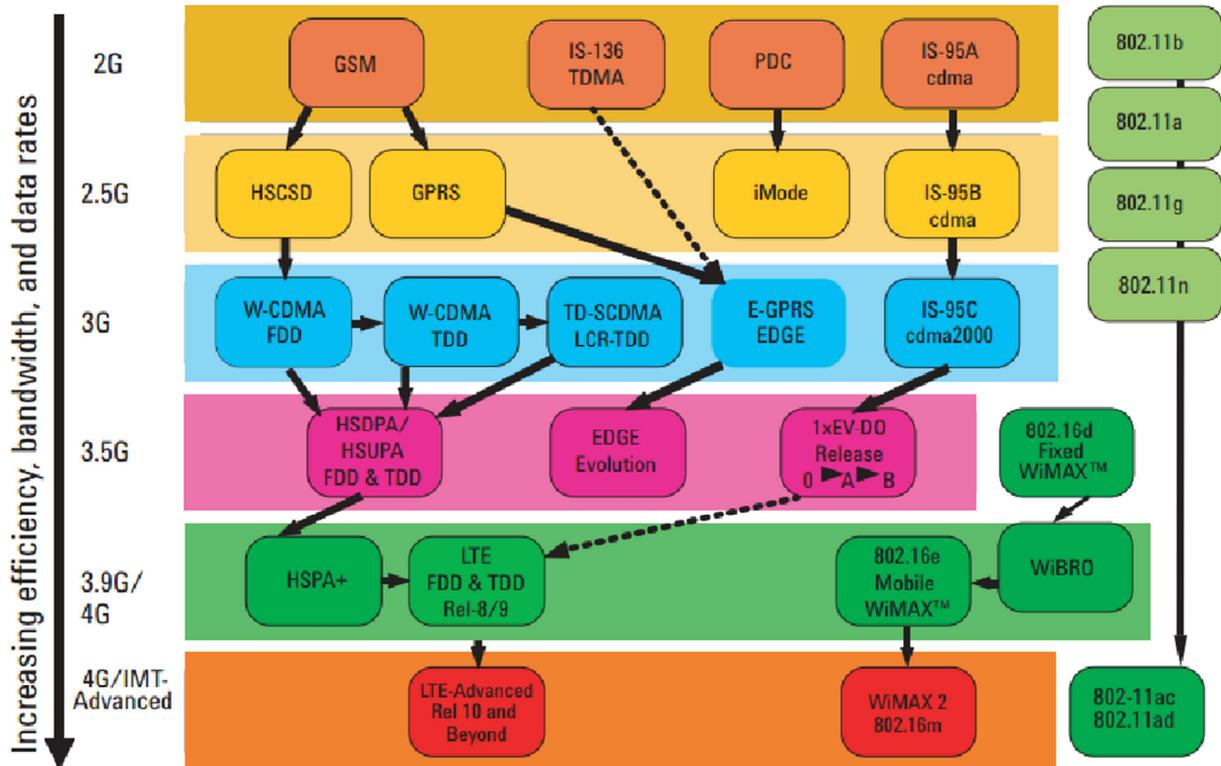


Figure II.1 : Historique du LTE [1].

## II.4 Présentation du réseau LTE

3GPP (*Third generation partnership project*) a commencé à travailler sur l'évolution des systèmes mobiles 3G en novembre 2004. L'occasion a été l'évolution RAN *Work Shop*, à Toronto, au Canada. Cet atelier a été ouvert pour tous les organismes intéressés, les membres et les non-membres de 3GPP. Cela a conduit à la participation de plus de 40 contributeurs de tous les domaines du business Mobile. Il s'agissait d'opérateurs, de fabricants et des instituts de recherche en donnant leur avis sur l'évolution de l'*Universal Terrestrial Radio* accès réseau (UTRAN). Un ensemble d'exigences de niveau élevé a été identifié dans l'atelier afin d'affiner la fourniture du service et réduire les coûts pour l'utilisateur et l'opérateur.

En somme, les principaux objectifs et cibles du développement du LTE-A peuvent être énoncés par l'augmentation de la capacité du système et réduire le coût par bit, ainsi que l'utilisation du spectre 2G et 3G existants avec le nouveau spectre. Ainsi la réalisation notable de la hausse des taux de données mis en balance avec les systèmes 3G existants.

Avec l'objectif de 100 Mbps en liaison montante et sur 50 Mbps en liaison descendante, la couverture plus large en offrant des débits supérieurs au plus large des domaines et souplesse d'utilisation des bandes de fréquences existantes et nouvelles [3].

## II.5 Architecture du réseau LTE

L'architecture ci-dessous illustre l'architecture globale du réseau LTE, en incluant tous les blocs pour montrer la relation entre eux.

La figure II.2 montre les interfaces de signalisation. Dans des cas, les deux (signalisation et DATA) sont supportés par les interfaces (comme S1, S2 ou 3G PS Gi interfaces) mais, dans d'autres cas les interfaces sont dédiés pour les plans de contrôle, et ne supportent que la signalisation (comme les interfaces S6 et la S7).

Les nouveaux blocs spécifiés pour le LTE, connu aussi sous le nom d'EPS (*Evolved Packet System*), sont l'EPC (*Evolved Packet Core*) et l'E-UTRAN (*Evolved UTRAN*).

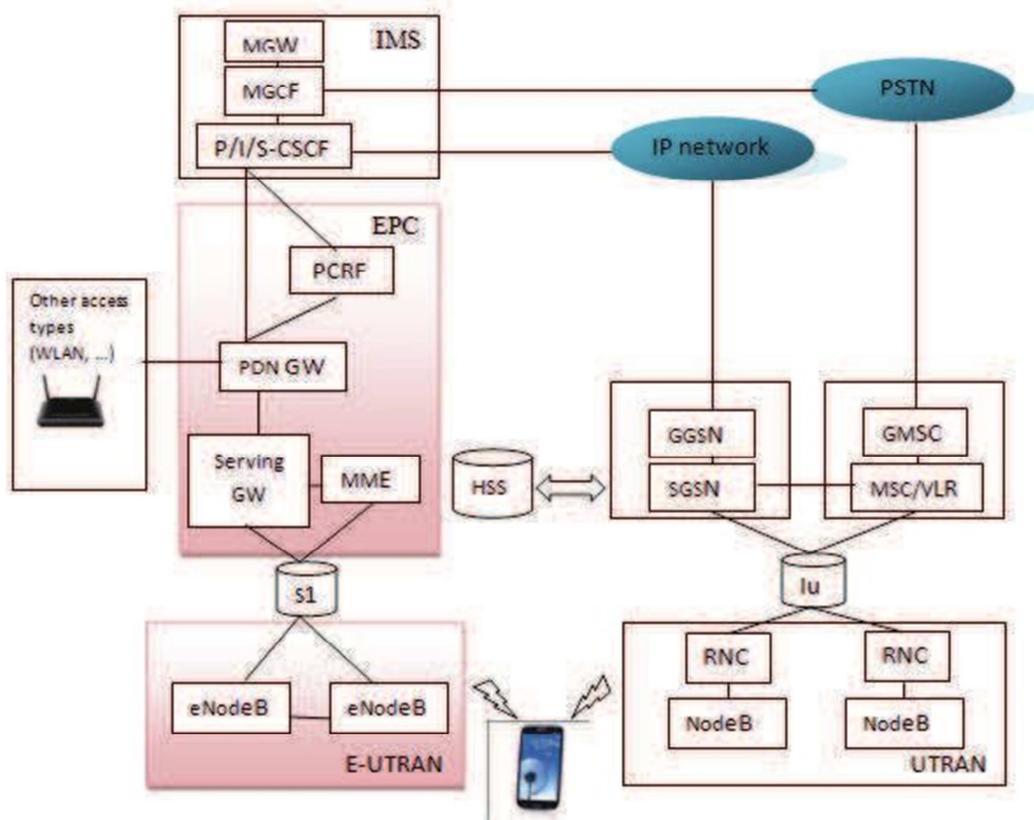


Figure II.2 : L'architecture générale du réseau LTE [1].

Les autres blocs sont également affichés, comme l'UTRAN (le réseau d'accès de l'UMTS). Les deux parties PS et CS du réseau cœur, reliés respectivement, au réseau d'IP public (ou privé) et au réseau du téléphone.

L'IMS (*IP Multimedia Subsystem*) est localisé au sommet de la partie cœur et fournit l'accès aux réseaux IP publique et privée, et le réseau public du téléphone via les entités du réseau *Media Gateway*. L'architecture générale du réseau LTE comporte 3 parties :

### II.5.1 User Equipment (UE)

Représente l'équipement terminal (Laptop, Smartphone, Tablette ...).

## II.5.2 Le réseau d'accès Evolved-UTRAN (E-UTRAN)

Le réseau d'accès E-UTRAN est composé principalement de stations de base appelées eNodeB (eNB). Une station de base eNB est responsable de la réception et la transmission radio avec l'UE. De plus, l'eNB prend en charge des fonctions de mesures radio et préparation de rapport de mesures utiles pour la gestion de mobilité ainsi que pour l'ordonnancement. Cet élément du réseau est responsable aussi de la sélection d'un MME pour chaque UE lors de la procédure d'attachement, si la configuration fournie à cet usager ne précise pas de MME. Plusieurs fonctions primordiales pour le fonctionnement du réseau sont prises en charge par l'élément radio eNB.

Chaque eNB est connecté au réseau Core EPC à travers une interface appelée S1. Ce lien se compose de deux interfaces : la première interface *S1-Usager* (S1-U) permet de connecter l'eNB et le S-GW. En effet, l'eNB achemine les données du plan usager vers le S-GW, la deuxième interface S1-MME assure la connectivité entre l'eNB et le MME [i9, 20].

D'autre part, une nouvelle interface, appelée interface X2, a été introduite entre les eNBs adjacents. Cette interface permet de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode *handover*. En effet, Lors d'un processus de *handover*, de nouvelles ressources radio sont allouées au nouvel eNB pour l'UE en déplacement.

Cependant, le réseau continue à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNB jusqu'à ce que le nouveau eNB informe le réseau de lui relayer les paquets de l'utilisateur. L'ancien eNB relaie les paquets de données vers le nouvel eNB à travers l'interface X2. Afin de satisfaire l'évolution de la demande des services de communication sans fil, le système LTE a subi des améliorations majeures et un nouveau système dit 4G a été développé par le groupe 3GPP.

Le réseau d'accès (figure II.3) contient des eNodeB qui assurent l'échange radio avec l'E-UTRAN. A la différence de la 3G, les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur SGW. Les eNodeB sont reliés entre eux par une interface X2 [6].

- **L'interface X2** : C'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant *handover* ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1.
- **L'interface S1** : C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires : Cette dernière consiste en S1-U (S1- Usager) entre l'eNodeB et le SGW et S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

Les eNodeB ont offert deux qualités au réseau : la sécurité en cas de problème d'un relais et le partage des ressources équitable en cas de saturation du lien principale.

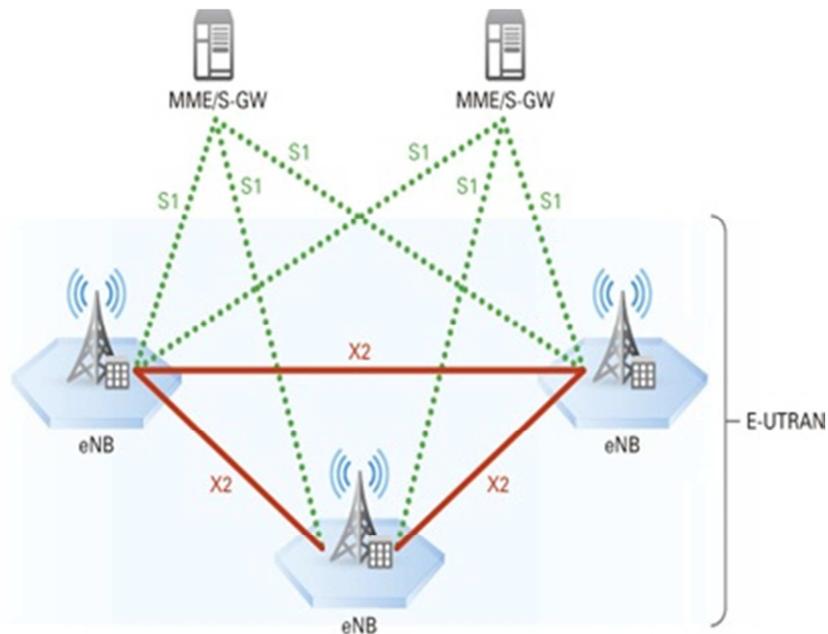


Figure II.3 : Architecture du réseau d'accès E-UTRAN.

### II.5.3 Les réseaux cœur (EPC)

C'est le nom du réseau cœur évolué, paquet tout IP. EPC est aussi peut communiquer avec les réseaux 2G/3G. Son architecture est simplifiée, comme montre la figure II.4, en la comparant à celle de 2G/3G.

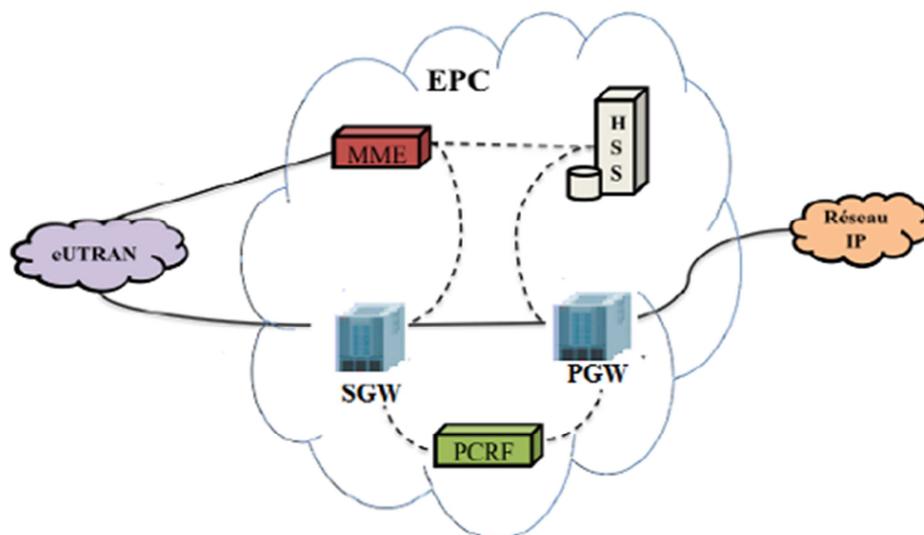


Figure II.4 : Architecture générale du réseau LTE-A

Le système EPC utilise trois plateformes différentes pour connecter l'utilisateur à son univers de communication mobile plus deux entités.

#### II.5.3.1 Mobility Management Entity (MME)

Il contient des fonctions principales dans le plan de contrôle. Il sert à gérer des sessions : signalisation, et négociation des qualités de service, à fournir des procédures de sécurité telles

que : initiation, et négociation de chiffrement/protection d'intégrité, et à mettre à jour la position de l'UE.

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

Le HSS est comme le HLR et AuC qui étaient déjà introduits dans les réseaux 2G et 3G. C'est une base de données contenant les informations de souscriptions de l'utilisateur telles que le profil de QoS de l'abonné ou les restrictions d'accès en itinérance. Il contient également les informations concernant les réseaux de données (PDN) auxquels l'utilisateur peut se connecter.

### **II.5.3.3 Serving Gateway ( SGW)**

Il est comme une ancre locale qui sert pour la mobilité inter-eNodeBs et vers les réseaux 3GPP (interconnexions de LTE avec les autres 3GPP). Achemine des paquets de l'eNodeB vers le réseau cœur et vice-versa). Les paquets transmis inter-eNodeBs (et inter-réseaux 3GPP) sont en transit via cette ancre.

### **II.5.3.4 Policy and Charging Rules Function ( PCRF)**

Fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. Aussi il est responsable de la prise de décision principale du contrôle.

### **II.5.3.5 Packet Data Network Gateway (PDN-GW )**

C'est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN elle se divise en trois segments :

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW. [7]

## **II.5.4 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)**

IMS est une architecture indépendante de l'accès physique, et par conséquent le service est délivré quel que soit le terminal (téléphone mobile, PC via ADSL ou FO, ...). De plus, les services sont accessibles à l'utilisateur même en cas de mobilité, de *Roaming*, ...

L'*IP Multimedia Sub-system* (IMS) est une architecture standardisée NGN (*Next Generation Network*) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée. Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de Circuits) sont pris en charge.

L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de *Roaming*) que depuis chez eux.

L'IMS est donc le réseau incontournable qui permettra à la 4G (LTE) de bénéficier de toutes ses fonctionnalités, notamment de la voix.

## II.6 Les technologies utilisées en LTE

Chaque système radio mobile définit une technique d'accès qui permet une gestion des ressources radio disponible.

### II.6.1 Les modes du duplexage

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante et sur la voie montante. La voie descendante, aussi appelée *Downlink* (DL), correspond à la transmission de la station de base vers l'UE. La voie montante, aussi appelée *Uplink* (UL), correspond à la transmission de l'UE vers la station de base. Il existe deux principaux modes de duplexage (Figure II.5), tous deux gérés par l'interface radio du LTE :

- Le duplexage en fréquence ou *Frequency Division Duplex* (FDD).
- Le duplexage en temps ou *Time Division Duplex* (TDD) [6].

#### II.6.1.1 Le mode FDD

Le multiplexage de type FDD utilise une bande passante de 5 Mhz pour le débit descendant, et une bande passante de 5 Mhz pour le débit montant. Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires.

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principal avantage face à l'autre technique majeure de duplexage, le TDD (*Time Division Duplexing*) [8].

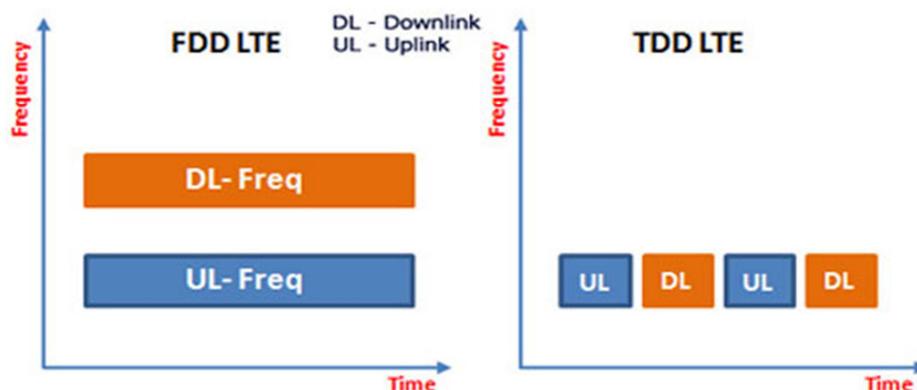


Figure II.5 : Les modes FDD et TDD.

### II.6.1.2 Le mode TDD

Le multiplexage de type TDD n'utilise qu'une seule bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) utilisables aussi bien pour le débit montant que pour le débit descendant. Elle comprend donc une composante TDMA (Time Division Multiple Access) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits de services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

## II.6.2 Modulation et techniques d'accès multiple

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

OFDM est un format de signal qui utilise un grand nombre de porteuses proches espacées, chacune étant modulée avec un flux de données à faible débit. Les signaux espacés les plus proches devraient normalement interférer les uns avec les autres, mais en rendant les signaux orthogonaux les uns par rapport aux autres, il n'y a pas d'interférence mutuelle. Les données à transmettre sont partagées entre toutes les porteuses, ce qui offre une résilience contre les évanouissements sélectifs dus aux effets à chemins multiples.

Le multiplexage OFDM est une technique qui permet d'offrir une grande efficacité au niveau de l'utilisation du spectre et de la puissance grâce à l'utilisation de  $N$  sous-porteuse orthogonales et très proche l'une de l'autre.

L'OFDM divise la plage de fréquence en plusieurs sous-canaux espacé par des zones libres de taille fixe cela pour émettre un signal comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de système de transmission (des émetteurs par exemple) indépendant et à des fréquences différentes (Figure II.6).

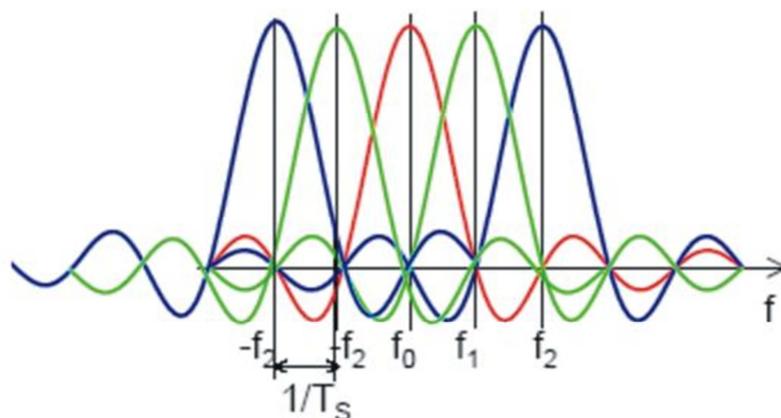


Figure II.6 : Principe de la modulation OFDM.

L'OFDM présente une grande simplicité dans la modulation et la démodulation ayant besoin d'un seul modulateur et d'un seul démodulateur. Ceci a lieu dans le cas où les différents éléments fondamentaux sont correctement sélectionnés : nombres porteuses, intervalle de garde entrelacement et des bonnes informations sur l'état du canal.

### II.6.2.2 OFDMA et SC-FDMA

L'OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*) consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales.

L'OFDMA est utilisée dans la liaison descendante LTE. C'est la combinaison de TDMA et FDMA essentiellement. Pour la voie montante, on en utilise une dérivée appelée SC-FDMA. Les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse. L'OFDMA dans le sens descendant. L'OFDMA est une candidate prometteuse pour les réseaux d'accès large bande post.

En OFDMA, l'ordonnancement de niveau MAC (*Medium Access Control*) est indissociable de la couche physique. Ces problématiques sont souvent énoncées sous l'expression *cross layer*. Désormais, en plus de l'état du trafic (considéré dans les techniques classiques), la sélection des utilisateurs doit tenir compte des conditions radio pour garantir un bon *Throughput* (bonne utilisation des ressources). Les décisions doivent cependant tenir compte de l'équité. Un utilisateur pourrait être longtemps privé de transmissions si l'on ne considérait que les conditions radio.

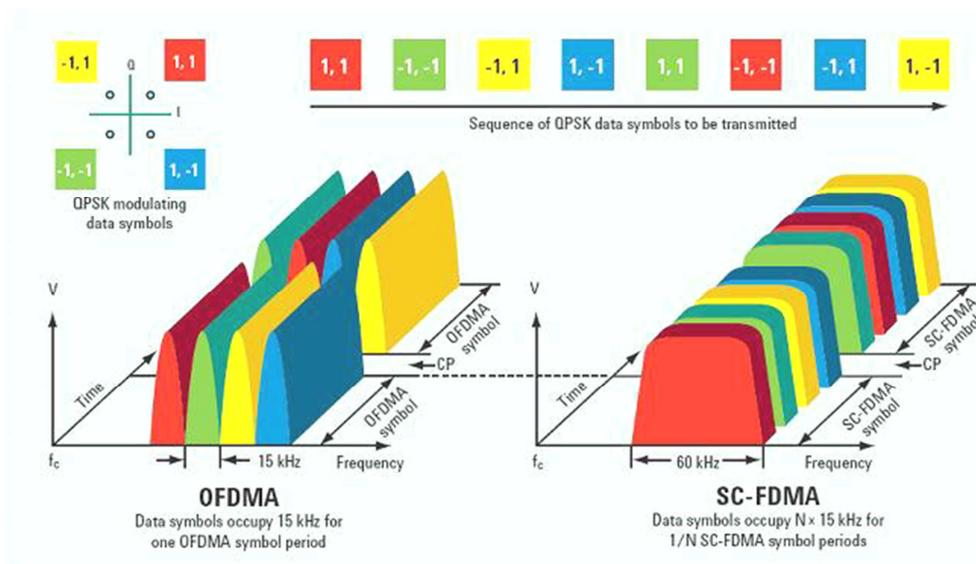


Figure II.7 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA.

Le SC-FDMA (*Single-Carrier FDMA*) est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4<sup>ème</sup> génération LTE. Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs.

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

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où PAPR (*Peak to Average Power Ratio*) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (Smartphone ou tablette tactile). Il a été adopté pour les liaisons *Uplink* de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (E-UTRAN) des réseaux mobiles LTE, car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio *Downlink* des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé [9].

### II.6.3 La technologie MIMO

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) c'est une technique de multiplexage utilisés dans les réseaux sans fil et les réseaux mobiles, elle consiste à transmettre des blocs d'informations différents en parallèle en utilisant des antennes multiples en émission c'est-à-dire en entrée du canal radio et en réception (en sortie de canal radio).

Un système MIMO (Figure II.8) comporte un nombre  $M$ , d'antennes en émission et un nombre  $N$  en réception à travers le canal radio chaque antenne reçoit le signal direct qui lui est destiné mais également les signaux indirects destinés aux autres antennes.

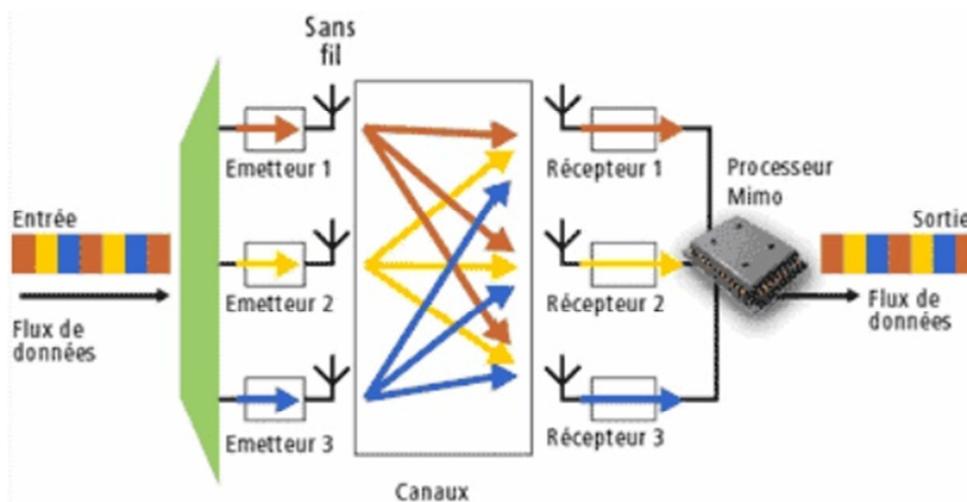


Figure II.8 : Schéma de système MIMO.

Alors le système MIMO a des entrées multiples ainsi que des sorties multiples par contre lorsqu'un tel système comprend une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, le système est dit SIMO (*Single Input Multiple Output*) de même on appelle un système MISO (*Multiple Input Single Output*) celui qui comprend plusieurs antennes à l'émission et une seule antenne à la réception, sinon si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (*Single Input Single Output*) (Figure II.9).

L'opération MIMO nécessite une connaissance a priori de toutes les réponses du canal.

Ses avantages est d'améliorer le taux nominal de données du système (augmentation de débit) et le rapport SNR (signal a bruit) et donc le taux d'erreurs binaires.

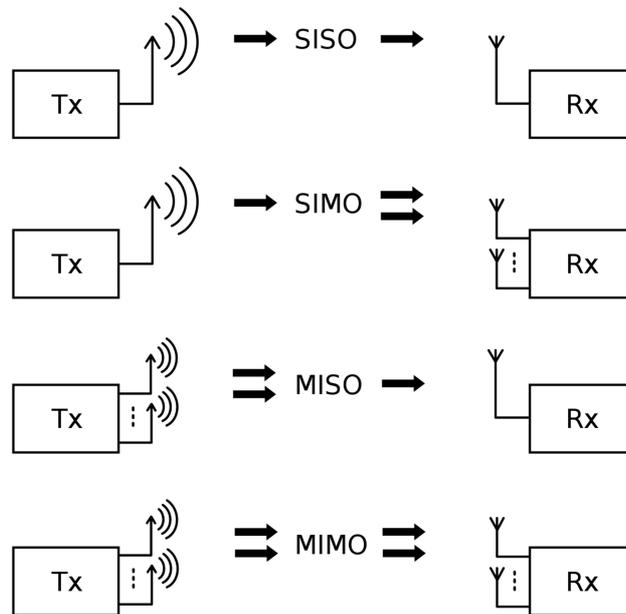


Figure II.9 : Schéma des différents systèmes d'antennes

## II.7 Les couches de réseau LTE

En télécom, le modèle OSI a tenté de définir un standard de développement par couche/niveau/protocole. Même si ce modèle n'a pas vraiment réussi à s'imposer réellement, les concepts développés sont utilisés de manière assez universelle au niveau des 3 premières couches (couche physique, couche de liaison de données et couche réseau).

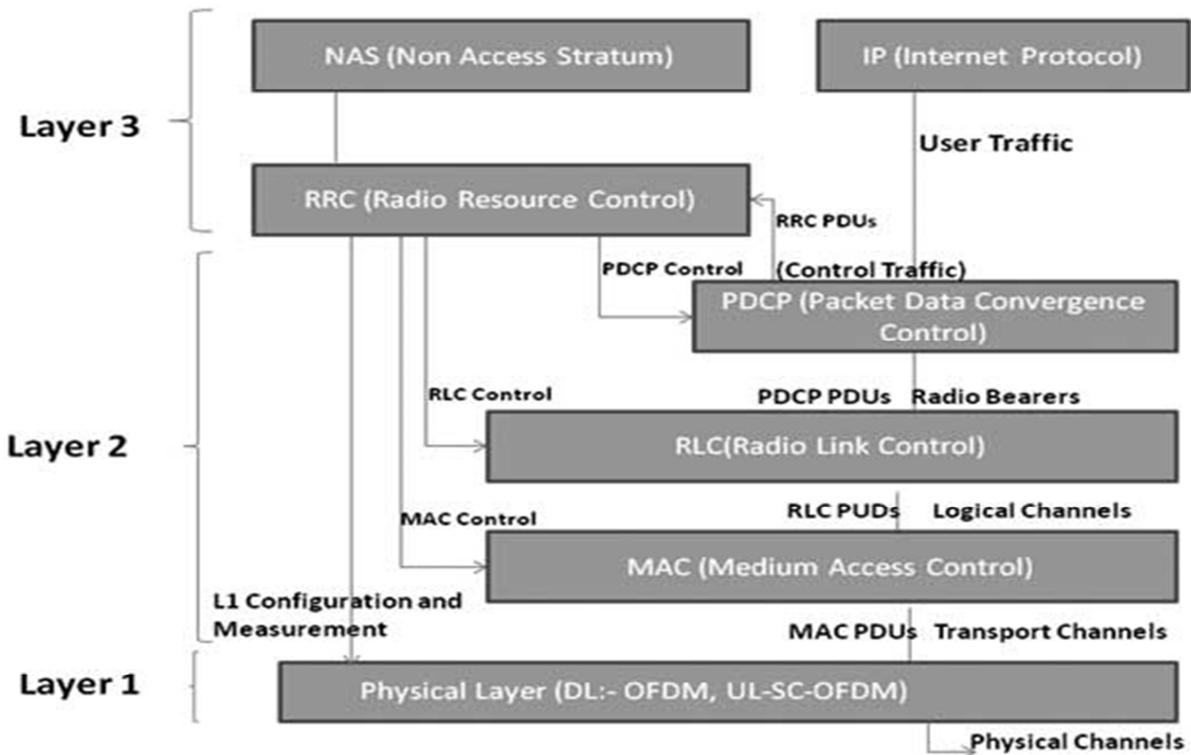


Figure II.10 : La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio LTE.

### II.7.1 La couche 1 (couche physique)

La couche physique (appelée également la couche PHY) sert à recevoir/transmettre via la radio toute les informations provenant de la couche RLC, elle a le rôle d'assurer la transmission de donnée sous une forme capable de se propager dans l'air, ainsi qu'elle offre de service de transport sur l'interface air a la couche MAC.

### II.7.2 La couche 2 (couche liaison de donnée)

#### II.7.2.1 La couche MAC (Medium Access Control)

La couche MAC est responsable du multiplexage et démultiplexage de données vers les porteuses radio différents, ainsi qu'elle permet l'accès et l'adaptation au support de transmission.

#### II.7.2.2 La couche RLC (Radio Link Control)

Cette couche est chargée de la segmentation/concaténation des paquets de données des couches supérieures, de la retransmission des paquets perdus. Comme elle assure les fonctions de contrôle du lien de données dévolues à la couche 2 du modèle OSI (*Data Link Control*). La couche RLC utilise trois modes de transmission :

- Le mode transparent TM (*Transport Mode*)
- Le mode acquitté AM (*Acknowledged Mode*)
- Le mode non acquitté UM (*Unacknowledged Mode*)

### **II.7.2.3 La couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)**

Le rôle de la couche PDCP est d'assurer les fonctions de sécurité et de transfert de donnée, en plus précisément elle s'occupe de la compression et la décompression des en-têtes et la distribution de paquet.

Ces couches (RRC, RLC) interviennent pour le transfert des données, du plan usager comme du plan de contrôle, par contre la sous couche PDCP est conçue pour traiter différemment les données de ces plan.

### **II.7.3 La couche 3 (couche réseau)**

#### **II.7.3.1 La couche RRC (Radio Resource Control)**

La couche Radio Resource Control représente la couche clé dans le processus de la gestion de la signalisation de la connexion radio, elle sert au contrôle de l'interface radio. La couche RRC est responsable de la configuration et du contrôle des couches de niveau 1 (PHY) et niveau 2 (MAC, RLC, PDCP).

#### **II.7.3.2 La couche NAS (Non Access Stratum)**

Le NAS (*strate de non accès*) représente un ensemble de protocoles qui s'établit entre l'UE et le réseau cœur. Le NAS permet l'échange d'information de contrôle ou de données quel que soit l'accès radio. Le NAS s'appuie donc sur l'AS pour transporter ses données. La couche NAS a deux rôles essentiels :

- Gestion des sessions (et des appels pour la 3G)
- Gestion de la mobilité.

## **II.8 Caractéristiques de réseaux LTE**

L'objectif majeur du réseau LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de latence.

### **II.8.1 La capacité en nombre d'utilisateur simultané**

Le système doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures [3].

### **II.8.2 Le débit**

La technologie LTE a entré un défi d'offrir des meilleurs services et des meilleurs débits aux usagers entre les différents acteurs des communications mobiles. Elle a donc marqué l'avènement du très haut débit mobile.

Le débit est jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et une course aux débits est en marche dans certains pays. Enfin, les débits plus élevés ouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, source de revenus et de différenciation pour les opérateurs.

### II.8.3 La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquence) tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des *handovers* intra système (procédure de la mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent.

Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un *handover* intra système [8].

### II.8.4 La latence

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système, elle désigne le temps nécessaire à un paquet de données pour passer de la source à la destination à travers un réseau, ainsi qu'elle traduit la capacité de système à traiter rapidement des demandes d'utilisateurs ou des services. On distingue deux types de latence :

#### II.8.4.1 La latence du plan de contrôle

C'est le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder aux services. La technologie LTE a le but d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif.

#### II.8.4.2 La latence du plan usager

Représente le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès.

La technologie LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms pour des faibles charges du réseau et des paquets IP de petite taille.

### II.8.5 La qualité de service

La qualité de service ou *Quality of Service* (QoS) est la capacité à véhiculer dans des bonnes conditions un type de trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de pertes de paquet. La qualité de service est un concept de gestion qui a pour le but d'optimiser les ressources d'un réseau ou d'un processus et de garantir de bonne performance aux applications critiques pour l'organisation.

La qualité de service 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 structure, elle

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

## **II.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la nouvelle génération LTE-Advanced, une bonne connaissance de l'architecture et de ses caractéristiques qui assure des nouveaux besoin (débit élevé, qualité de service ...), cela permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources et faciliter l'évolution de réseau en intégrant des technologies plus performantes.

Le chapitre suivant agit d'une étude sur la planification et le dimensionnement de réseau LTE-A dans laquelle nous détaillons le processus de dimensionnement pour l'optimisation de ce réseau.

---

***Chapitre III :***

*Dimensionnement du réseau  
mobile LTE-Advanced*

---

### III.1 Introduction

Le dimensionnement d'un réseau est la phase initiale de processus global de la planification. Il fournit la première estimation du nombre d'éléments du réseau ainsi que la capacité de ces éléments.

Le but de dimensionnement est d'estimer le nombre requis de stations de base (eNodeB) radio nécessaires pour soutenir un trafic spécifié dans une zone bien définie.

Dans ce chapitre, nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur ces deux plans : couverture et capacité.

### III.2 Processus de dimensionnement d'eNodeB

Le processus de dimensionnement d'eNodeB est la partie la plus sensible du processus de dimensionnement, elle doit être bien développée.

Pour dimensionner les eNodeB, nous avons besoin à suivre deux méthodes :

- Un dimensionnement orienté couverture.
- Un dimensionnement orienté capacité.

Le premier tient compte des exigences en couverture et le deuxième donne une estimation des ressources nécessaires pour supporter un trafic de données avec un certain niveau de qualité de service QoS (*Quality of Service*). En outre, le nombre des eNodeB serait le maximum du nombre issu des deux méthodes [9]:

$$Nbr_{eNodeB} = \text{Max}\{Nbr_{eNodeB}(\text{couverture}), Nbr_{eNodeB}(\text{capacité})\} \quad (\text{III.1})$$

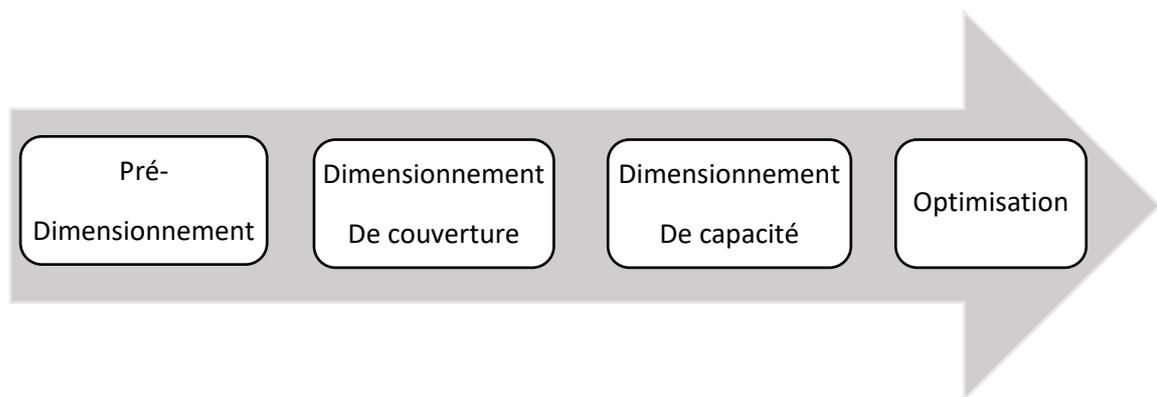


Figure III.1 : Processus de dimensionnement [3].

Donc, le processus de dimensionnement comporte 4 étapes :

#### ❖ Pré- Dimensionnement

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. Par exemple :

- Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE.
- Les informations sur la zone de déploiement.
- Type d'antenne à utiliser.

- Les services à offrir (voix, données)...

#### ❖ Dimensionnement de couverture

L'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE est l'analyse de couverture. Dans cette étape, on va se baser sur le bilan de liaisons (RLB : *Radio Link Budget*), qui permet d'estimer le taux de perte de trajet. Donc, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié et ça va donner la taille de la cellule à couvrir comme résultat final ainsi qu'une estimation sur le nombre total de site.

#### ❖ Dimensionnement de capacité :

Le résultat obtenu par l'analyse de couverture (la taille des cellules, le nombre des sites), sera effectué par le dimensionnement de capacité, afin de vérifier si le système peut supporter la charge demandée. Sinon des nouveaux sites doivent être ajoutés.

#### ❖ Optimisation :

L'optimisation consiste à comparer les résultats obtenus de deux dimensionnements. Donc, c'est un processus itératif de contrôle et de suivi afin de maintenir les exigences de QoS préétablis.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous allons nous intéresser à la phase de dimensionnement de couverture et de capacité, qui consiste à déterminer le nombre des eNodeB requis, la capacité requise en nombre d'utilisateur et débit fourni.

### III.2.1 Processus du dimensionnement du réseau LTE-A

Comme on a indiqué précédemment, le processus de dimensionnement nécessite une liaison conjointe entre la capacité et la couverture. De ce fait, deux méthodologies doivent être mises en place pour le dimensionnement de notre réseau LTE-A : un dimensionnement orienté couverture et un dimensionnement orienté capacité.

La première tient compte des exigences en couverture et la deuxième tient compte des exigences en capacité et en trafic que doit être absorbé et transporté par le réseau. Finalement, le nombre des eNodeB serait le maximum du nombre issu des deux méthodes. La figure III.2 résume le processus de dimensionnement du réseau LTE-A de début jusqu'à la fin.

### III.3 Dimensionnement orienté couverture

La couverture d'une station de base possède des limites, comme les perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de couverture apparaît lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeB n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile.

La mauvaise couverture provoque une élévation de taux d'échec d'accès, taux de coupure de communication, taux de handover [3].

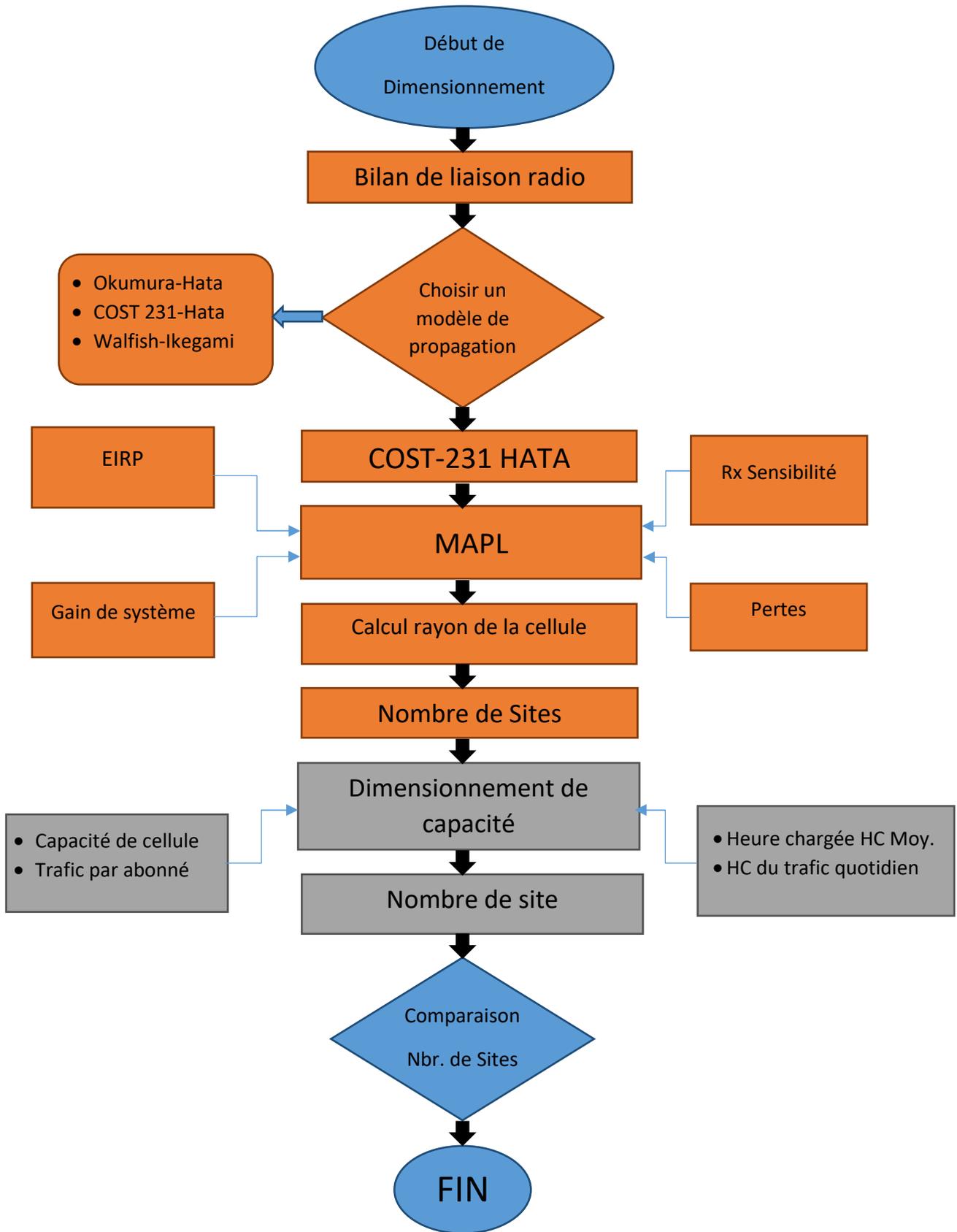


Figure III.2 : Processus du dimensionnement du réseau LTE-A

Pour ce faire, nous devons suivre les étapes suivantes :

### III.3.1 Bilan de liaison

Le bilan de liaison radio (RLB) donne la perte de trajet maximale autorisée, et à partir de laquelle la taille des cellules est calculée, en utilisant un modèle de propagation approprié.

Le RLB pris en compte : les puissances d'émission, les gains, les pertes d'antenne, les gains de diversité, les marges d'interférence.

La figure ci-dessus illustre le bilan de liaison pour la liaison descendante.

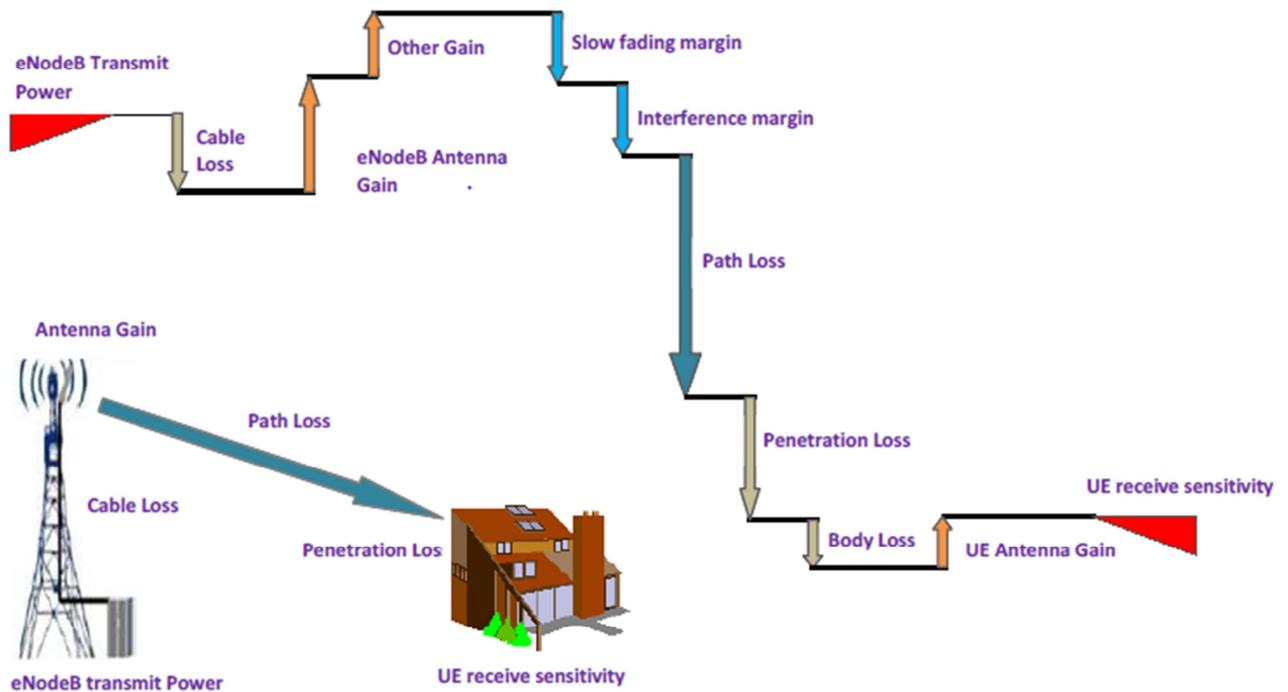


Figure III.3 : Radio Link Budget pour une liaison descendante [3].

Son équation est comme suit :

Downlink :

$$MAPL(DL) = EIRP(DL) - S_{UE} - LNF - IM(DL) - L_{pen} + GEU_{antenna} \quad (III.2)$$

Avec :

**MAPL(DL)** : Perte de trajet totale rencontrée par le signal envoyé de l'eNodeB au UE (dB).

**EIRP(DL)** : Puissance de rayonnement isotrope équivalente en *Downlink*.

**S<sub>UE</sub>** : Sensibilité de récepteur (UE : *User Equipement*).

**LNF** : Log normal de la marge de fading.

**IM(DL)** : Marge d'interférence en *Downlink*.

**L<sub>pen</sub>** : Perte de pénétration.

**GEU<sub>antenne</sub>** : Gain de l'antenne d'émission d'UE.

La figure ci-dessus illustre le bilan de liaison pour la liaison montante.

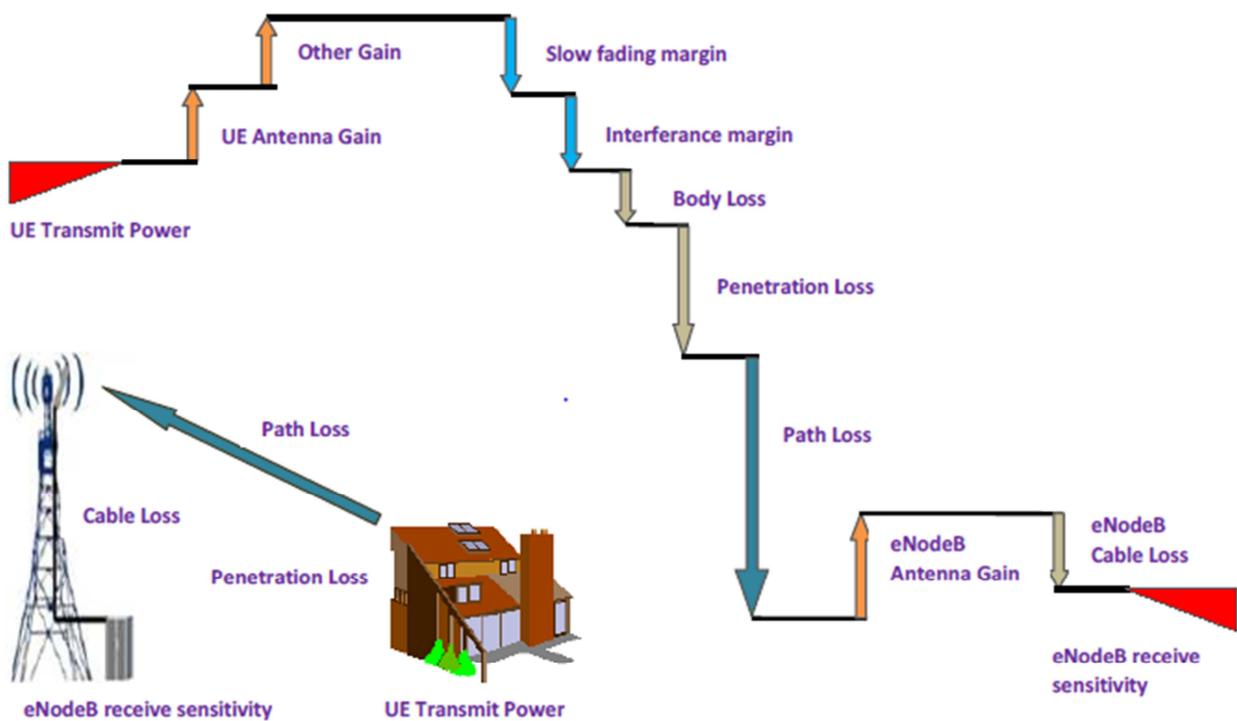


Figure III.4 : Radio Link Budget pour une liaison montante.

L'équation est comme suit :

Uplink :

$$MAPL(UL) = EIRP(UL) - S_{eNB} - LNF - IM(UL) - L_{pen} - L_{bodyloss} + GeNB_{antenna} \quad (III.3)$$

Avec :

**MAPL(UL)** : Perte de trajet totale rencontrée par le signal envoyé d'UE à l'eNodeB (dB).

**EIRP(UL)** : Puissance de rayonnement isotrope équivalente en Uplink.

**S<sub>eNB</sub>** : Sensibilité eNodeB.

**LNF** : Log normal de la marge de fading.

**IM(UL)** : Marge d'interférence en Uplink.

**L<sub>pen</sub>** : Perte de pénétration.

**L<sub>bodyloss</sub>** : Perte de pénétration du corps humain.

**GeNB<sub>antenne</sub>** : Gain de l'antenne d'émission de l'eNodeB.

### III.3.1.1 Puissance de rayonnement isotrope équivalente (EIRP)

La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) ou *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), est la puissance rayonnée par une antenne pour atteindre la densité maximale observée dans la direction d'antenne maximale.

La PIRE est donnée en dBm par la formule suivante :

$$PIRE = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} \quad (III.4)$$

Paramètre	eNodeB	UE
$P_{Tx}$	Puissance de l'émission de l'eNodeB au niveau du connecteur de l'antenne (43-49 dBm).	Puissance d'émission de l'UE (dépend de la catégorie du UE) Catégorie 1->5 UE de Rel-8/9 Catégorie 6-7-8 UE de Rel-10/11
$G_{Tx} = \sum_{i \in UE/eNodeB} G_i$	$G_a$ : Gain de l'antenne de l'eNodeB, il dépend du constructeur. $G_{Tx,d}$ : Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'eNodeB et de la taille du motif de coopération ( $M_c$ ).	$G_a$ : Gain de l'antenne de l'UE, il dépend du constructeur. $G_{Tx,d}$ : Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'UE
$L_{Tx} = \sum_{i \in UE/eNodeB} L_i$	$L_{feeder}$ : Pertes des câbles d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne : elle dépend de la longueur, type et fréquence du câble. (1-6 dBm) $L_{other}$ : Autres pertes liées à l'eNodeB (exemple : connecteurs).	$L_{feeder}$ : Perte du corps humain, dépend de l'équipement de l'utilisateur (téléphone/cléUSB/tablette) $L_{other}$ : Autres pertes liées à l'UE.

Tableau III.1 : Paramètres pour le calcul de la PIRE [13]

### III.3.1.2 Sensibilité de récepteur ( $S_{rx}$ )

La sensibilité de réception indique le niveau de puissance minimal de réception pour éviter la coupure de lien radio. Sa formule est la suivante :

$$S_{RX} = N_{sub-t} + SINR + F_{noise} + N_{RB} \quad (III.5)$$

Avec :

$N_{sub-t}$  : Puissance de bruit thermique par sous porteuse (correspond à 15 kHz).

$SINR$  : Rapport signal d'Interférence et de bruit.

$F_{noise}$  : *Noise Figure*, ou facteur de bruit, dépend du mode de duplexage et l'écart duplex.

$N_{RB}$  : Nombre de ressource block en fonction de la bande passante.

### III.3.1.3 Puissance du bruit thermique ( $N_{sub-T}$ )

$$N_{sub-T} = K \times T \times B \quad (III.6)$$

Avec :

$N_{sub-T}$  : Puissance du bruit thermique.

$T$  : Température en Kelvin.

$K$  : Constante de Boltzmann.

$B$  : Bande passante.

### III.3.1.4 Rapport du signal à interférence et bruit (SINR)

Le signal à Interférence et bruit (SINR : *Signal to Interference and Noise Ratio*) est le rapport de puissance de signal utile à brouillage total, qui provient des cellules voisines ainsi que le bruit thermique, c'est un indicateur principal de performance pour le LTE. Le bord de la cellule est défini en fonction du SINR requis pour un débit de cellule donnée.

Donc la connaissance exacte du SINR requis est au cœur de l'authenticité de la RLB et donc du processus de dimensionnement. Le SINR requis dépend des facteurs suivants :

- Modulation et de codage (MCS)
- Modèle de canal de propagation

Plus le MCS est utilisé, plus le SINR est nécessaire et vice-versa. Cela signifie que l'utilisation de QPSK 1/2 aura un SINR inférieur à celui exigé 16-QAM 1/2 [9].

Le SINR dépend du nombre du bloc de ressource comme l'indique la figure suivante :

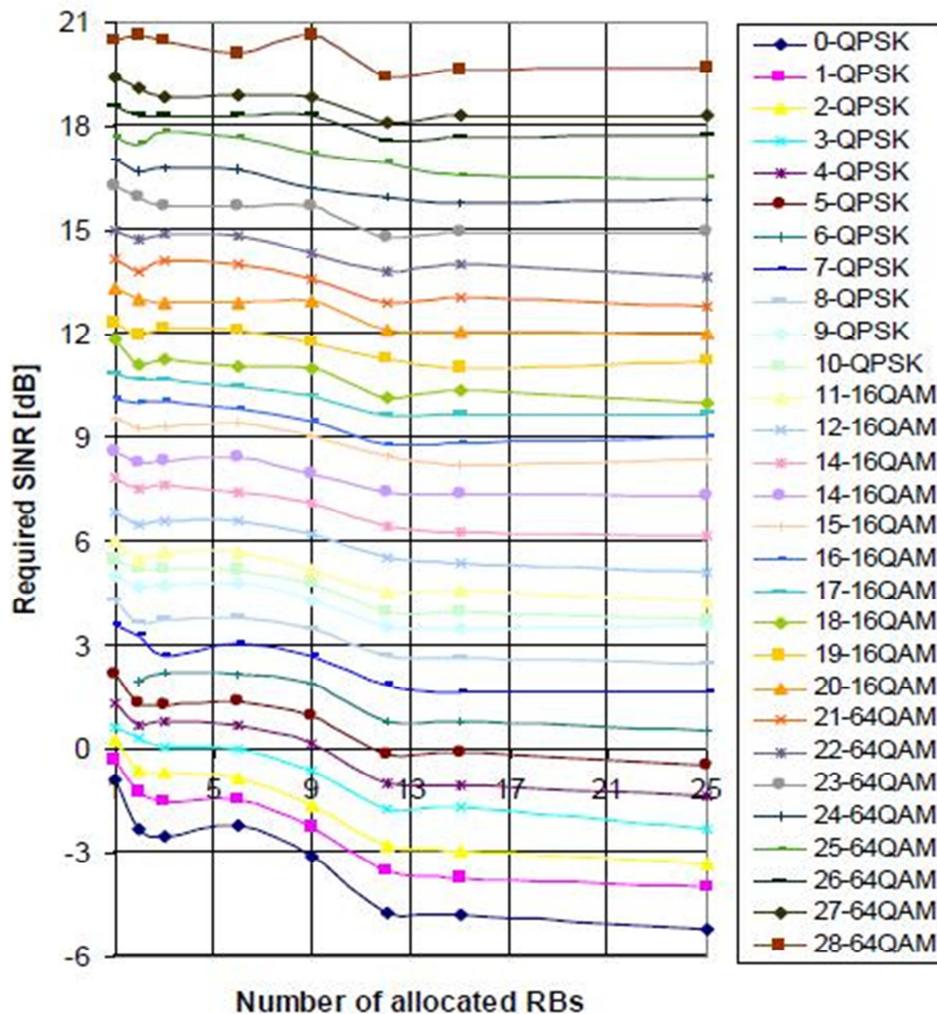
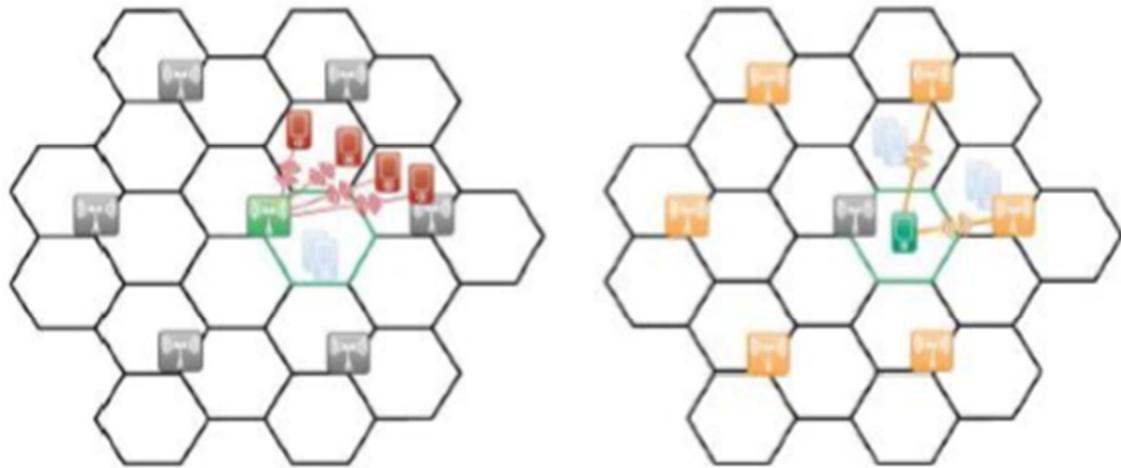


Figure III.5 : Variation du SINR en fonction de nombre de bloc de ressources pour différents schémas de modulation et de codage.

La figure suivante montre un exemple des interférences inter-cellules pour la liaison montante et descendante.



Interférence pour liaison montante

Interférence pour liaison descendante

Figure III.6 : Le SINR pour liaison montante et descendante [9].

### III.3.1.5 Marge d'interférence

L'interférence est due à la réutilisation de fréquence. En particulier en LTE-A, le facteur de réutilisation est de 1, ce qui mène à des niveaux d'interférence beaucoup plus importants.

D'autres sources d'interférence peuvent être prises en compte, tel que les interférences des autres systèmes (inter-système), on introduit une autre marge de sécurité pour maintenir l'équilibre du bilan de liaison. La marge d'interférence (*Interference Margin*) est donnée par l'équation :

$$IM_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{SNR}{SINR} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{I + N_{th} \cdot B_{Rx}}{N_{th} \cdot B_{Rx}} \right) \quad (III.7)$$

Où :

$I$  : Le niveau de l'interférence provenant des cellules adjacentes qui utilisent les mêmes PRB simultanément.

$N_{th}$  : La densité de bruit thermique (dB/Hz).

$B_{Rx}$  : La largeur de bande de réception.

La valeur d' $IM$  est fortement liée à la charge de la cellule (le taux d'occupation des ressources physiques), la technique de coordination de l'interférence dans le concept CoMP, la distance entre deux sites, etc.. [13].

Le tableau III.2 donne les valeurs de la marge d'interférence en fonction de la charge de la cellule.

Charge de la cellule (%)	$IM_{dB}$
35	1
40	1.3
50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

Tableau III.2 :  $IM_{dB}$  en fonction de la charge de la cellule [13].

### III.3.1.6 Marge de shadowing (Fading)

La marge de *shadowing* est l'effet masque, et c'est les variations du signal due au obstacle qui existe dans le milieu de propagation. Il s'agit d'une valeur aléatoire qui a la formule suivante :

$$LNF = X \times \sigma \quad (III.8)$$

Avec :

$\sigma$  : l'écart-type du lent fading

$X$  : Valeur calculée selon la loi journal normal

### III.3.2 Model de propagation

Le modèle de propagation permet d'estimer la valeur de l'atténuation du trajet, on distingue plusieurs types de modèles :

- Modèles déterministes ou physiques.
- Modèles empiriques.

#### III.3.2.1 Modèles déterministes ou physiques

Les modèles déterministes permettent de prédire la propagation des ondes radio et calculer les trajets de ces derniers, en tenant compte des phénomènes de réflexion et diffraction. Ces modèles donnent des résultats beaucoup plus précis, mais requièrent une quantité importante d'informations sur la zone où ils vont être appliqués, de plus ils demandent beaucoup de temps de calcul.

#### III.3.2.2 Modèles empiriques

C'est des mesures et des formules mathématiques utilisées pour permettre de prédire l'impact d'un émetteur, ainsi que sa valeur moyenne d'affaiblissement sur une certaine zone de réception. Les modèles empiriques sont simples et de faiblement dépendre de la caractéristique d'un site.

On distingue plusieurs types de modèle empirique :

**a) Le modèle Okumura-Hata**

C'est le modèle le plus fréquemment utilisée. Ce modèle est appliqué pour des cellules de taille relativement grandes (de rayon supérieur à 1 km). Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile, il prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain-dense, sous-urbain et rural) [1].

**b) Le modèle de Walfish- Ikegami**

Ce modèle est utilisé pour les environnements urbains et sous-urbains. Il prend en compte les propriétés de diffraction et de réflexion par les bâtiments, ce qui lui permet d'offrir une bonne précision, il est conçu pour les fréquences inférieures à 2 GHz.

Il est adapté à la macro, micro et pico-cellules (il est valable à partir de 20m). Mais, il peut être étendu pour atteindre des fréquences jusqu'à 6 GHz [1].

**c) Le modèle COST-231 Hata**

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumura-Hata, il est développé pour créer un autre opérant sur la bande de fréquence 1500 – 2000 MHz dans les zones urbaines vu que le modèle Okumura-Hata opère uniquement pour une plage de fréquence inférieure à 1500 MHz.

Ses formules de calculs sont données par le tableau suivant :

<b>Urbain</b>	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m)$ $+ (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + 3$ <p>Avec</p> $a(h_m) = 3.2 \log_{10}(11.75h_m)^2 - 4.97$
<b>Sous urbain et Rural</b>	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m)$ $+ (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d)$ <p>Avec</p> $a(h_m) = (1.1 \log_{10}(F) - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10}(F) - 0.8)$

**Tableau III.3 :** Paramètre du modèle COST231-Hata [14].

Avec :

$F$  : Désigne la fréquence en MHz  $\in [1500, 2000]$

$h_b$  : Désigne la hauteur de la station de base en mètre  $\in [30, 200]$

$h_m$  : Désigne la hauteur du terminal mobile en mètre  $\in [1, 10]$

Le tableau suivant présente une comparaison entre les 3 modèles de propagation.

Modèle	Fréquence Porteuse (MHz)	Hauteur du Mobile (m)	Hauteur de la station de base (m)	Distance (Km)
Okumura-Hata	150 - 1500	1 - 10	30 - 200	1 - 20
COST 231-Hata	1500 - 2000	1 - 10	30 - 200	1 - 20
Walfish- Ikegami	800 - 2000	1 - 3	10 - 80	0.1 - 8

**Tableau III.4 :** Comparaison entre les 3 modèles de propagation.

Pour notre étude, nous allons choisir le modèle de propagation empirique COST 231-Hata (Tableau III.3), vu qu'il a des meilleures performances comparant à d'autres modèles de propagations, il opère sur la bande de fréquence 1500-2000 MHz, en plus le modèle de perte de trajectoire pour COST-231 Hata donne une meilleure valeur de perte de chemin. Donc c'est le modèle le plus adapté dont sa formule dépend de plusieurs facteurs :

- La fréquence de l'onde.
- $T_x$  hauteur de l'antenne (les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception).
- $R_x$  hauteur de l'antenne et d'autres.
- La distance parcourue.
- Type de terrain.
- Clutter (Caractéristiques et densité des bâtiments), etc ...

### III.3.3 Détermination de nombre de sites

Après avoir déduire l'affaiblissement du parcours maximum (MAPL), par l'établissement de bilan de liaison équilibré, nous tentons de déterminer le rayon de la cellule en utilisant le modèle de liaison adapté. En effet, lorsque l'affaiblissement de parcours est égal à sa valeur maximale, la distance parcourue doit être égale au rayon de la cellule [9].

Pour bien admettre le principe, on peut traiter un exemple. En supposant que la zone d'affectation est urbaine et qu'on va y appliquer le modèle COST 231-Hata. Alors on obtient :

$$R_{cell} = 10^{\frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10}(F) + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]}} \quad (III.9)$$

Une fois le rayon de la cellule  $R_{cell}$  est calculé, on peut calculer la superficie de couverture de la cellule (appeler l'empreinte de site). Notant  $S_{cell}$ , cette dernière dépend du nombre de secteurs par site (tableau III.5), que nous notons  $N_{secteur}$ .

La figure ci-dessous exprime la configuration des secteurs :

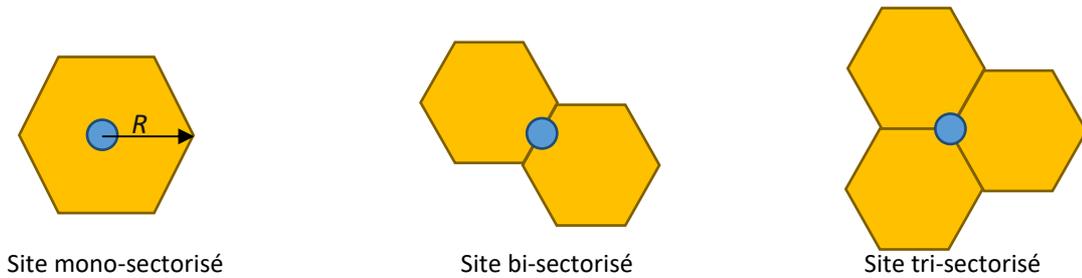


Figure III.7 : Configuration des secteurs cellulaires.

Nombre de secteur par site	Empreinte
Site mono-sectorisé	$S_{cell} = 2.6 \times R_{cell}^2$
Site bi-sectorisé	$S_{cell} = 1.3 \times 2.6 \times R_{cell}^2$
Site tri-sectorisé	$S_{cell} = 1.95 \times 2.6 \times R_{cell}^2$

Tableau III.5 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [9].

Après la résolution de l'empreinte du site. Nous pouvons enfin aboutir le nombre de sites demandés pour la couverture à l'aide de la formule suivante :

$$N_{eNodeB} = E \left( \frac{S_{zone}}{S_{cell}} \right) + 1 \quad (III.10)$$

Avec :

$S_{zone}$  : est la surface de la zone de déploiement.

## III.4 Dimensionnement orienté capacité

### III.4.1 Introduction

Le dimensionnement de capacité permet de trouver la capacité maximale qui peut être supporté par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre des sites nécessaires pour satisfaire les trafics des abonnés dans une zone donnée.

La capacité théorique du réseau est limitée par le nombre d'eNodeB installé dans le réseau. Elle dépend de plusieurs facteurs, tels que type de la zone, service, nombre des abonnés, interférences, etc.. [16].

### III.4.2 Planification de la capacité LTE

L'objectif de la planification est de déterminer le nombre minimal de sites requis pour assurer la couverture d'une zone bien déterminée, en fonction des services offerts et du nombre d'abonnés, en tenant compte des contraintes de qualité de service. Donc, il faudrait atteindre le maximum de couverture avec une capacité optimale, tout en maintenant le coût de déploiement le plus faible possible.

### III.4.3 Capacité en nombre d'utilisateur

La capacité d'une cellule est la valeur moyenne des débits dans un scénario impliquant plusieurs UE (*User Equipment*) actifs, pouvant être servis simultanément avec un débit donné.

Elle dépend de plusieurs paramètres comme, le type de milieu à planifier (urbain, dense urbain, rurale...), le nombre d'utilisateur connecté dans la même cellule, le type de service (VoIP, le téléchargement de fichier, vidéo streaming...), et aussi des technologies utilisés (technologie d'antennes, technologie d'accès,...). Elle est conditionnée par l'efficacité spectrale du système.

On définit l'efficacité spectrale cellulaire comme étant le nombre de bit par seconde par hertz (en bit/s/Hz), de même, l'efficacité spectrale en bordure de la cellule (en bit/s/Hz) qui caractérise le débit pouvant être offert à un UE en mauvaise condition radio.

### III.4.4 Calcule du débit moyen de site (*Cell Throughput*)

L'objectif de la tâche de planification de la capacité est d'obtenir une estimation du nombre de sites basée sur les besoins en capacité. Les exigences de capacité sont définies par les opérateurs de réseau basées sur leur trafic prévu. Un débit moyen de cellules est nécessaire pour calculer le nombre de sites en se fondant sur la capacité.

L'évaluation plus précise de la capacité (débit sous certaines contraintes) de la cellule est donnée en exécutant des simulations. Dès lors, la meilleure solution pour calculer le débit de la cellule est un mappage direct de distribution SINR, obtenu depuis un simulateur dans MCS (ainsi, le débit binaire) ou directement dans un débit moyen de résultats au niveau du lien approprié [17].

Le débit de la cellule est calculé aussi comme suit :

$$D_{cell} = \sum (SINR_{Op} \times D_{Moy(SINR)}) \quad (III.11)$$

Avec :

$SINR_{Op}$  : (*SINR\_Occurrence\_probability*) = Probabilité d'occurrence d'une valeur SINR spécifique au bord de la cellule obtenue à l'aide de simulations.

$D_{Moy(SINR)}$  : (*Average Throughput SINR*) = Débit moyen correspond à la valeur SINR.

Par la suite, le schéma de la modulation et de codage (MCS), pris en charge par chaque valeur de SINR est sélectionné, en utilisant la SINR minimale autorisée d'après les résultats de niveau de lien. Cela donne le taux correspondant de données prises en charge par la MCS. De cette façon, le débit de données correspondant à chaque valeur SINR est obtenu pour un scénario spécifique. Pour le modèle urbain de canal, et une distance entre les sites fixe de 1732 m, le débit des liaisons descendantes pour LTE est indiqué dans le tableau III.6.

MCS	SINR (min) (dB)	Débit de site en DL (Mbps)
QPSK 1/3	-0.75	4.00
QPSK 1/2	1.50	6.00
QPSK 2/3	3.50	8.00
16QAM 1/2	7.00	12.00
16QAM 2/3	9.50	16.01
16QAM 4/5	11.50	19.20
64QAM 1/2	11.50	21.0
64QAM 2/3	14.7	24.01

Tableau III.6 : Débit moyen des cellules DL pour le LTE [18].

### III.4.5 Estimation de la demande de trafic et le facteur de surréservation

Étant donné que la bande passante donnée peut seulement fournir une certaine quantité de capacité, puis la demande de trafic doit être comprise. La partie complexe est l'analyse de l'influence des types d'abonnés différents et des profils de trafic. Le résultat requis est le facteur de surréservation (*Overbooking factor*) qui décrit le niveau de multiplexage ou le nombre d'utilisateurs qui partagent un canal donné ou la capacité.

Les entrées principales sont énumérées ci-dessous :

- Composition du trafic et analyse de l'heure de pointe
- Densité des abonnés
- Volume de données par utilisateur
- Débit de pointe et moyenne
- Profil de trafic quotidien

Le dimensionnement de la capacité se fait séparément pour différents secteurs de services (urbains, suburbains et ruraux). Si nous utilisons des exigences correspondant au trafic aux heures de pointe, cela aboutirait à un sur dimensionnement (*Over dimensioning*). Les ressources précieuses seront gaspillées durant d'autres heures de la journée et le coût du réseau sera beaucoup plus élevé. C'est pourquoi il est important de définir le facteur de surréservation (OBF : *OverBooking Factor*).

L'OBF est le nombre moyen d'utilisateurs qui peuvent partager une unité donnée du canal. La voie de traitement utilisé dans le dimensionnement est le débit de pointe. Si nous supposons une charge des canaux de 100%, alors l'OBF est simplement égal au rapport entre le pic et les taux moyens.

Cependant, il n'est pas sécuritaire de dimensionner le réseau avec un chargement à 100%. Par conséquent, le facteur d'utilisation de paramètre est introduit. Dans la plupart des réseaux de données, le facteur d'utilisation est inférieur à 85% afin de garantir la qualité de Service (QoS), le coefficient de surréservation (OverBooking Factor) est calculé comme suit [9] :

$$OBF = PAR \times UF \quad (III.12)$$

Avec :

*OBF*: (*OverBooking Factor*), Facteur de surréservation.

*PAR*: (*Peak to Average Ratio*)

*UF*: (*Utilisation Factor*) : facteur d'utilisation.

#### III.4.6 Capacité en fonction du nombre du site

Avec le facteur de surréservation qui était calculé ci-dessus .le débit total pour le calcul de la capacité est :

$$ODR = NU \times PDR \times OBF \quad (III. 13)$$

Avec :

*ODR*: (*Overall Data Rate*), le débit de données total.

*NU*: (*Number of users*), le nombre des utilisateurs.

*PDR*: (*Peak Data Rate*), le débit de données maximal.

Le nombre de sites nécessaires pour supporter le trafic total calculé ci-dessus est simplement :

$$NSC = \frac{ODR}{SC} \quad (III. 14)$$

Avec :

*NSC*: Nombre de site capacité.

*SC*: (*Site Capacity*), la capacité de site.

### III.5 Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre pour aborder le principe de dimensionnement de l'eNodeB, qui fait intervenir deux composantes : la couverture et la capacité. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la conception et le développement de notre plateforme, qui est le contexte du chapitre suivant.

---

## ***Chapitre IV :***

### *Conception et Réalisation d'une Plateforme de Dimensionnement du Réseau LTE-A*

---

## IV.1 Introduction

Le dimensionnement d'un réseau cellulaire permet d'assurer un cout minimal de la liaison radio et de l'infrastructure du réseau. Il existe de nombreuses façons d'utiliser la méthode de dimensionnement, le principal résultat de l'analyse est toujours une estimation de la couverture et de la capacité [3].

Dans ce chapitre, nous élaborerons une étude conceptuelle détaillée de notre plateforme. La conception est une phase importante dans le cycle de développement d'un projet. Le support de cette phase par des techniques et des outils appropriés est délicat pour produire une application de grande qualité.

La conception doit prendre en compte les besoins, l'expérience et les capacités de l'utilisateur. Ainsi, pour réaliser notre plateforme, nous faisons appel au langage HTML. C'est ce langage HTML qui permet l'affichage des éléments du contenu de la page Web et fournit la structure de base des sites, améliorée et modifiée par d'autres langages tels que CSS et JavaScript. CSS est utilisé pour contrôler la présentation, la mise en forme et la mise en page. JavaScript est utilisé pour contrôler le comportement de différents éléments.

## IV.2 Spécification des besoins

La phase spécification est une étape primordiale dans le déroulement du projet. Dans cette section, nous allons présenter et modéliser les choix pris au cours de la conception et de la réalisation.

### IV.2.1 Besoins fonctionnels

Les besoins de ce travail viennent de la nécessité de pallier les insuffisances des couvertures pour le système LTE-A. Cela nécessite une bonne conception pour dimensionner les zones et de bien partager les capacités pour gérer les besoins des abonnés.

Ces fonctionnalités nécessitent généralement la présence de l'état actuel d'un équipement donné comme un eNodeB. Pour satisfaire ces besoins, notre plateforme doit prendre en charge plusieurs fonctionnalités qui visent essentiellement à assurer à l'administrateur pouvoir de dimensionner des eNodeBs selon la couverture et la capacité. Après l'étude et l'analyse des méthodes déjà faite au 3<sup>ème</sup> chapitre, on conclut que les fonctionnalités de la plateforme sont :

- ❖ Dimensionnement orienté couverture pour eNodeB : établir le bilan de liaison radio calculer l'affaiblissement de trajet maximum MAPL, pour déduire le rayon de la cellule, et par suite les nombres des eNodeB.
- ❖ Dimensionnement orienté capacité pour eNodeB : établir le modèle de trafic, calculer la capacité de la cellule, estimer le débit binaire du site et enfin déduire le nombre des eNodeBs.
- ❖ Elaborer un rapport qui contient tous les paramètres qui interviennent dans le dimensionnement.

### IV.2.2 Besoins non fonctionnels

Ce sont des nécessités qui ne concernent pas précisément le comportement du système mais plutôt l'assimilation des contraintes internes peut être présentée dans les points suivants :

- ❖ Le code doit être clair pour permettre de futures évolutions et améliorations.
- ❖ L'ergonomie : la plateforme donne une interface simple et facile à utiliser.
- ❖ La sécurité : la plateforme doit respecter la confidentialité des données.
- ❖ Garantir l'intégrité et l'agrégation des données à chaque mise à jour et à chaque intégration.

### IV.3 Etude technique

L'étude technique est une phase d'adaptation de la conception à l'architecture technique. Elle a pour objectif de décrire au plan fonctionnel la solution à réaliser d'une manière détaillée ainsi que la description des traitements. Cette étude, qui suit l'étude détaillée, constitue le complément de spécification informatique nécessaire pour assurer la réalisation du futur système.

Pour la réalisation de notre application, nous avons eu recours à plusieurs moyens matériels et logiciels :

#### IV.3.1 Matériels de base

Les différentes étapes de réalisation de notre projet sont réalisées sur une machine présentant les caractéristiques suivantes :

- Processeur Intel (R) Core (TM) i3 -2328M CPU @ 2.20 GHz.
- Disque dur de capacité : 500Go.
- Mémoire RAM : 4 Go.
- Système d'exploitation : Windows 7 Edition Intégrale avec 32 bits

#### IV.3.2 Outils de conception

Une page Web est un fichier texte d'un certain type d'extension. Ce fichier texte contient du code (langage de programmation) et du texte. Quel que soit la manière de construire, générer, créer une page Web (de façon statique ou dynamique), une page Web ne pourra que contenir du code que le navigateur Web sera capable d'interpréter et du texte.

Il n'existe que quelques langages par défaut que tous les navigateurs Web sont capable d'interpréter (de comprendre). Les plus utilisés étant le langage HTML, le langage CSS et le langage JavaScript.

### IV.4 Choix du langage de modélisation

Les 3 langages de bases (par défaut) compris par tous les navigateurs ont des rôles et possibilités différentes. En résumé, le langage HTML sert essentiellement à structurer la page

(création des balises, du squelette de la page Web), le langage CSS à positionner et mettre en forme les éléments (colorisation, design), le langage JavaScript à pouvoir par exemple créer du dynamisme sur la page (interactivité, animation d'éléments, ... exemple : vérifier que tous les champs d'un formulaire soient saisis avant l'envoi).

#### IV.4.1 Langage HTML

HTML est l'acronyme de *HyperText Markup Language*, il se réfère au code qui structure toute les éléments d'une page web. Le HTML ne définit pas le style de la page et n'ajoute pas d'interactivité complexe. Il laisse tout ça au CSS et au JavaScript.

Le HTML sert principalement à :

- Afficher un contenu (texte, image,...)
- Créer des liens hypertexte et relié les pages entre elle.
- Structuré un document (titre, paragraphe,...)
- Indiquer au navigateur ce qu'il doit afficher.
- Bien indexer les pages web dans les moteurs de recherches (choix de balise, mot clé...)

```
1  <!DOCTYPE html>
2  <html>
3  <head></head>
4  <body>Corps de la page</body>
5  </html>
```

Figure IV.1 : Structure d'un document HTML.

Un document HTML est un fichier texte qui contient des balises (ou *tag* en anglais). Ces balises sert à :

- Décrire correctement la structure du document.
- Définir au navigateur comment afficher le document.
- Intégrer différents médias comme les images, vidéo ou audio.

Plusieurs balises ont été introduite avec HTML pour délimités les différentes zones qui constituent la page web :

- *<header>* : en-tête.
- *<footer>* : pied de page.
- *<nav>* : liens principaux de navigation.
- *<section>* : section de page.
- *<aside>* : information complémentaire.
- *<article>* : article indépendant.

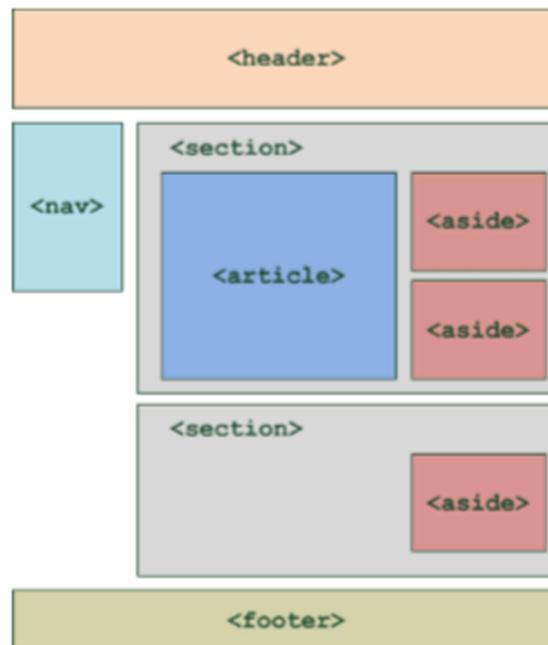


Figure IV.2 : Structure de base d'un document HTML.

Le HTML sert principalement à structurer sémantiquement et logiquement et de mettre en forme le contenu des pages, d'inclure des ressources multimédias dont des images, des formulaires de saisie et des programmes informatiques. Il permet de créer des documents interopérables avec des équipements très variés de manière conforme aux exigences de l'accessibilité du web... [19].

#### IV.4.2 Langage CSS

Les feuilles de styles en cascade, généralement appelées CSS, il permet de séparer la forme du fond présente de nombreux avantages, en particulier la conception et la maintenance des sites sont simplifiés. De plus, leur utilisation permet d'améliorer l'accessibilité des sites de façon sensible, sans altérer du tout la qualité visuelle des documents, bien au contraire [19].

Une règle CSS est composée de deux parties :

- ✓ Un sélecteur : est un élément HTML.
- ✓ Une déclaration : La déclaration à elle-même se compose de deux parties : une propriété et une valeur.

Les sélecteurs sont les éléments HTML, on peut donc indiquer pour chaque élément un ensemble de déclarations (lorsqu'il y en a plusieurs, on les sépare avec les points virgules). De même si des déclarations s'appliquent à plusieurs sélecteurs on peut les regrouper [19].

```
H1, P { color : red }
P { margin-left : 1cm ;
    text-style : italic
}
```

Figure IV.3 : Un exemple de règle CSS

### IV.4.3 langage JavaScript

JavaScript est un langage de programmation de script, principalement employé dans les pages web interactives, mais aussi pour les serveurs. C'est un langage orienté objet à prototype, c'est-à-dire que les bases de langage et ses principales interfaces sont fournis par des objets, qui ne sont pas des instances de classes, mais qui sont chacun équipé de constructeur permettant de créer leurs propriétés.

Le langage JavaScript permet des pages web interactives et à sous-titre est une partie essentiels des applications Web, une grande majorité des sites Web l'utilisent et la majorité des navigateurs Web disposent d'un moteur JavaScript dédié pour l'interprété.

Voici quelques exemples de ce qui est réalisable grâce au JavaScript :

- ✓ Un système de chat, comme celui de Facebook.
- ✓ Une suggestion lors de la frappe dans un champ de texte, comme lors d'une recherche avec Google.
- ✓ Un lecteur de vidéo ou de musiques. Aussi puissant que celui de Youtube.
- ✓ Des jeux exploitant la balise <canvas> comme Torus, un Tetris en 3D.
- ✓ Les formules mathématiques et les fonctions de calcul, comme notre cas.
- ✓ et bien d'autres choses...

Le JavaScript est un langage dit *client-side*, c'est-à-dire que les scripts sont exécuté par le navigateur chez l'internaute (le client). Cela diffère des langages de script dits *server-side* qui sont exécuté par le serveur Web c'est le cas des langages comme le PHP.

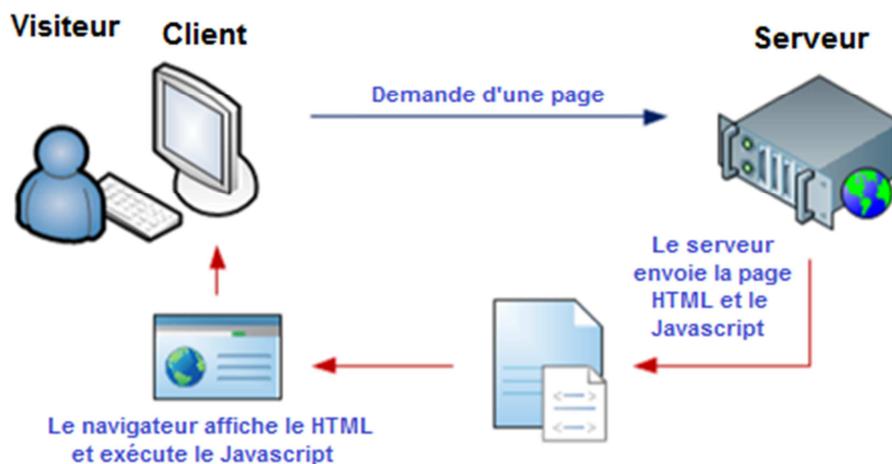


Figure IV.4 : Principe de fonctionnement d'un script coté client.

### IV.5 Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-A

Après les phases d'étude de l'existant, pour la conception et la modélisation fonctionnelle et organisationnelle, nous avons développé les interfaces de notre plateforme, notre plateforme est nommée **4G LTE-A Optim**.

### IV.5.1 Interface d'accueil (d'authentification)

Lorsque l'utilisateur lance notre plateforme, il se trouve face à une page d'accueil ou d'authentification, telle que présente la figure IV.1. La page d'accueil sert à authentifier les utilisateurs de l'application au moyen d'un identifiant et un mot de passe.



Figure IV.5 : Interface d'authentification (Accueil).

Si le nom d'utilisateur ou le mot de passe est faux (Identifiant non valide), un message apparait comme celui-ci, et de demande pour vérifier les paramètres de connections.

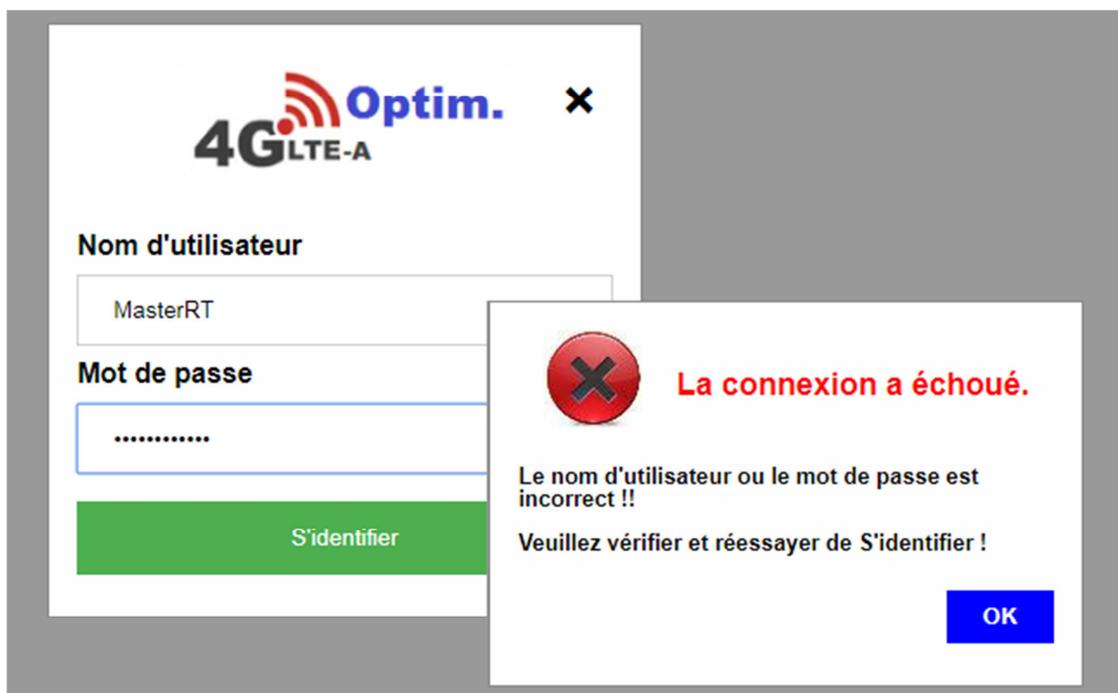


Figure IV.6 : Echec d'authentification

## IV.5.2 Interfaces dimensionnement couverture

### IV.5.2.1 Onglet « parametre de zone et système »

Cette interface sert à représenter les différents paramètres généraux qui sont essentiels pour le dimensionnement de couverture du réseau LTE-A. Cette interface est présentée sur la figure IV.7. Dans cette fenetre, on se trouve avec deux champs ou l'utilisateur doit choisir :

#### a) Les paramètres de la zone de couverture

- Le type de terrain( Urbain, Sous-Urbain, Rural).
- La fréquence en MHz, dans notre cas = 2600 MHz.
- Cell edge qui égale à 0.85.
- Nombre des secteurs par eNodeB (Monosectorisé, Bisectorisé, Trisectorisé).
- La charge de la cellule dans notre cas 80%. Cette charge correspond à la marge d'interférence comme indique le tableau suivant IV.1.

**4G LTE-A Optim.** Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-Advanced (LTE-A).

Param. Zone | Bilan de liaison | COST-231 Hata | Param. Capacité | Résultats

Les paramètres de la zone de couverture et du système ...

Paramètres de la zone		Paramètres de système	
Type de Terrain :	Urbain ▼	Bande Passante (MHz) :	20 MHz ▼
Fréquence (MHz) :	2600	Gain de Soft-Handover (dB) :	2
Cell Edge :	0.85	Eb/No Moyen (dB) :	2.20
Nombre de secteurs :	3 Secteur ▼	Type de modulation :	16QAM 1. ▼
Charge de la cellule :	80 % ▼	Pertes Batt./Véhc. (dB) :	15

Master RT © 2018-2019, F. Belaid & S.D. Chemloul | Encadreur : Dr. H.Zerrouki. Suivant ►► Fermer ✕

Figure IV.7 : Les paramètres de la zone de couverture et du système.

#### b) Les paramètres de système

- La largeur de bande de fréquence(1.25, 3, 5, 10, 15, 20) MHz
- Gain de soft Handover en (dB).

- Le rapport de signal sur bruit en (dB).
- Le type demodulation(QPSK1/2, QPSK2/3, 16QAM1/2, 16QAM2/3, 16QAM4/5, 64QAM1/2, 64QAM2/3).
- La somme des les pertes (battiments, véhicule) égale à 15 dB.

Charge de la cellule (%)	$IM_{dB}$
35	1
40	1.3
50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

**Tableau IV.1 :**  $IM_{dB}$  en fonction de la charge de la cellule [13].

Le boutons « Suivant » qui se trouve en bas des différents fenêtres à le rôle de passer d'une fenêtre vers la suivante. Le boutons « Fermer » est pour faire sortir complètement de l'interface et fermer le navigateur web.

#### **IV.5.2.2 Onglet « Bilan de liaison »**

Dans la fenetre de bilan de liaison radio (figure IV.8), on trouve deux grands chapms (Bilan de liaison et envirement) sernt au calcul de l'affaiblissement maximal de parcours MAPL, qui nécessite la disposition de toutes les puissances, les pertes et les gains pouvant exister au niveau de l'eNodeB (Voie descendante) et au niveau de UE (Voie montante).

##### **a) Les paramètres de bilan de liaison**

- ❖ Pour la voie descendente :
  - Puissance Tx eNodeB (dBm).
  - Gain d'antenne eNodeB (dB).
  - Perte cable/feeder (dB).
- ❖ Pour la voie montante :
  - Puissance Tx UE (dBm).
  - Gain d'antenne UE (dB).
  - Perte de corps (dB).

##### **b) Les paramètres de l'environnement**

- Densité de bruit thermique (dBm/Hz).
- Interférence de bruit thermique (dB).
- Facteur de bande passante.
- Facteur de bruit eNB (dB).

- Facteur de bruit UE (dB).
- Marge de fading (dB).
- Marge de shadowing (dB).

**4G<sup>LTE-A</sup> Optim.** Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-Advanced (LTE-A).

Param. Zone
Bilan de liaison
COST-231 Hata
Param. Capacité
Résultats

Le bilan de liaison radio pour le calcul de l'affaiblissement maximal...

Paramètres de Bilan de Liaison	Paramètres de l'environnement
Puissance Tx eNB (dBm) : <input style="width: 80%;" type="text" value="43"/>	Densité du Bruit Ther. (dBm/Hz) : <input style="width: 80%;" type="text" value="-174"/>
Gain d'antenne eNB (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="18"/>	Interf. de Bruit Thermique (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="6.99"/>
Pertes cable/Feeder (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="2"/>	Facteur de Bande Passante : <input style="width: 80%;" type="text" value="43.01"/>
Puissance Tx UE (dBm) : <input style="width: 80%;" type="text" value="23"/>	Facteur de bruit eNB (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="7"/>
Gain d'antenne UE (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>	Facteur de bruit UE (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="2.2"/>
Pertes de corps (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="2"/>	Marge de Fading (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="10.4"/>
	Marge de Shadowing (dB) : <input style="width: 80%;" type="text" value="7.2"/>

Master RT © 2018-2019, F. Belaid & S.D. Chemloul | Encadreur : Dr. H.Zerrouki. Suivant ► Fermer ✕

**Figure IV.8 :** Le bilan de liaison radio pour le calcul de l'affaiblissement maximal.

Cet onglet permet de saisir les informations nécessaires pour le calcul de la PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) de l'émetteur et le récepteur, la sensibilité de récepteur et le MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*).

#### IV.5.2.3 Onglet « COST-231 Hata »

Le modèle de propagation COST-213 Hata fournit des paramètres qui permettent le calcul de rayon de couverture ainsi que le nombre de site (eNodeB). L'onglet « COST-231 Hata » est représenté par la figure IV.9.

Cet onglet a pour but de calculer la portée de la cellule en appliquant le modèle COST-231 Hata, tel que :

- La hauteur de l'abonné (UE height).
- Hauteur de l'eNodeB (BS height).
- Surface de la zone à utiliser.

Param. Zone    Bilan de liaison    **COST-231 Hata**    Param. Capacité    Résultats

Les paramètres de modèle de propagation COST-231 Hata

Modèle COST-231 Hata		Facteurs de correction	
Hauteur de l'abonné (m) :	<input type="text" value="1.5"/>	Fact. de correc. d'antenne (dB) :	<input type="text" value="0.06"/>
Hauteur de l'eNodeB (m) :	<input type="text" value="30"/>	Correc. du milieu suburbain (dB) :	<input type="text" value="13.14"/>
Surface de la zone (Km <sup>2</sup> ) :	<input type="text" value="50"/>	Correc. du milieu urbain (dB) :	<input type="text" value="0"/>
		Correc. du milieu rurale (dB) :	<input type="text" value="34.09"/>

Master RT © 2018-2019, F. Belaid & S.D. Chemloul | Encadreur : Dr. H.Zerrouki. [Suivant](#) [Fermer](#)

**Figure IV.9 :** Les paramètres de modèle de propagation COST-231 Hata.

Ainsi que les différents facteurs de correction, comme :

- Facteur de correction d'antenne en (dB).
- Correction du milieu suburbain en (dB).
- Correction du milieu urbain en (dB).
- Correction de la zone rurale en (dB).

### IV.5.3 Interface dimensionnement de capacité

#### IV.5.3.1 Onglet « Paramètre capacité »

Cette fenêtre, présentée par la figure IV.10, contient tous les paramètres indispensables pour le calcul de la capacité de la cellule (Les paramètres de la cellule et les paramètres de trafic), tel que :

##### a) Paramètres de la cellule

- Capacité de la cellule en Mbits/s.
- Heure chargée moyenne en pourcentage (%).
- Capacité de cellule en *UpLink* à l'heure chargée.

### b) Paramètres du trafic

- Heure chargée du trafic quotidien (%).
- Nombres d'abonnés pris en charge dans la zone à couvrir.
- Trafic mensuel par utilisateur en (Gigabits).

4G LTE-A Optim. Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-Advanced (LTE-A).

Param. Zone | Bilan de liaison | COST-231 Hata | **Param. Capacité** | Résultats

Les paramètres de dimensionnement par capacité en Downlink

**Param. Cellule**

Capacité de la cellule (Mbits/s) :

Heure chargée (H.C) moy. (%) :

Capacité de cellule UL à H.C :

**Param. Trafic**

H.C du trafic quotidien (%) :

Nombre d'abonnés :

Trafic par utilisateur (GB) :

Master RT © 2018-2019, F. Belaid & S.D. Chemloul | Encadreur : Dr. H.Zerrouki.

**Figure IV.10 :** Les paramètres de dimensionnement par capacité en DownLink.

Après avoir rempli les différents champs des paramètres concernant le trafic des abonnés et des sites, le bouton « Suivant » affiche l'interface « Résultats », pour le calcul nombre estimé des eNodeB à déployer en couverture et en capacité.

#### IV.5.4 Interface de Résultats

Après choisir et remplir tous les paramètres précédents, le résultat final s'affiche dans cette fenêtre qui contient les résultats de dimensionnement de couverture et de capacité. Tel que ; la EIRP en UL et en DL, la densité de bruit, la sensibilité du récepteur, le MAPL en UL et en DL, le rayon et la surface de la cellule, le nombre d'abonnés pris en charge dans un site, le nombre des eNodeB en couverture et en capacité et enfin le nombre des stations eNodeB final à déployer.

Il suffit juste de cliquer sur le bouton « Calculer » pour lancer les calculs, une barre de progression dynamique apparaisse, pour indiquer le temps de traitement en cours, avant l'affichage des résultats de simulation.

**4G LTE-A Optim.** Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-Advanced (LTE-A).

Param. Zone
Bilan de liaison
COST-231 Hata
Param. Capacité
Résultats

Le résultat global de dimensionnement par couverture et par capacité

**Dimensionnement de couverture**

EIRP UpLink (UL) (dBm) :

EIRP DownLink (DL) (dBm) :

Densité de bruit (dBm/Hz) :

Sensibilité Rx (dBm) :

Pathloss MAPL (UL) (dB) :

Pathloss MAPL (DL) (dB) :

Rayon de la cellule (km) :

Surface d'une cellule (Km<sup>2</sup>) :

Nombre des eNodeB :

**Dimensionnement de capacité**

Capacité d'un site (GB/Mois) :

Nombre d'abonnés par site :

Nombre des eNodeB :

Résultat de dimensionnement

Master RT © 2018-2019, F. Belaid & S.D. Chemloul | Encadreur : Dr. H.Zerrouki.

Calculer 
Fermer

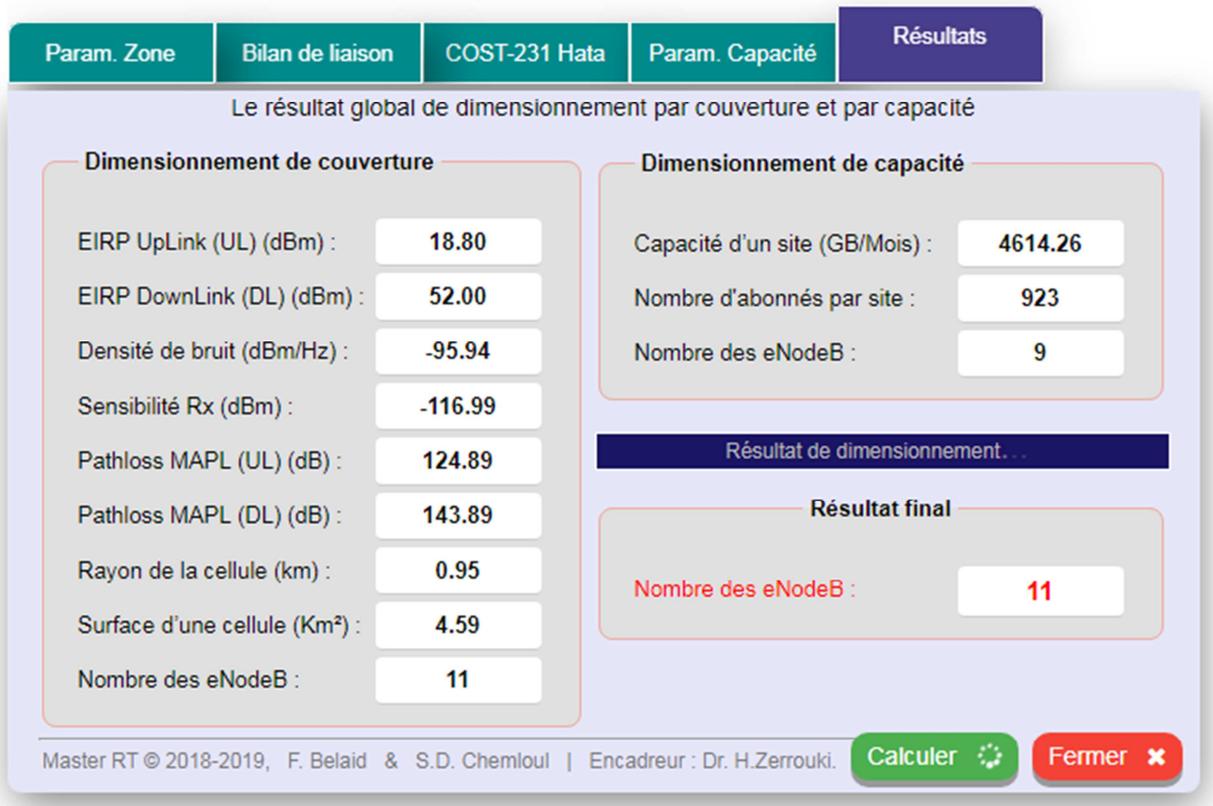
**Figure IV.11 :** Interface d'affichage des résultats.

Les résultats d'optimisation de l'eNodeB du réseau LTE-A, pour le dimensionnement en couverture et en capacité, sont groupés dans un seul onglet. Cet onglet (figure IV.12) est destiné à afficher, pour le sens montant et descendant, les informations suivantes :

❖ Résultats de dimensionnement orienté couverture :

- L'EIRP pour le sens montant (UL) donne **18.80** dBm.
- EIRP pour le sens descendant (DL) donne : **52.00** dBm.
- Densité de bruit : **-95.94** dBm/Hz.
- La sensibilité du récepteur pour le sens montant donne : **-116.99** dBm.
- Pathloss (MAPL) pour le sens montant : **124.89** dB.
- Pathloss (MAPL) pour le sens descendant : **143.89** dB.
- Le rayon de la cellule : **0.95** km.
- La surface d'une cellule : **4.59** km<sup>2</sup>.
- Le nombre des eNodeB : **11 eNodeB**.

**4G LTE-A Optim.** Plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-Advanced (LTE-A).



**Figure IV.12 :** Le résultat global de dimensionnement par couverture et par capacité.

❖ Résultats de dimensionnement orienté capacité :

- Capacité d'un site : **4614.26** GB/Mois.
- Le nombre d'abonnés: **923** abonnés/site.
- Le nombre des eNodeB : **9 eNodeB**.

Le rapport final en comparant les deux résultats de nombres d'eNodeB dans les deux différents dimensionnements (couverture et capacité), on choisissant le plus grand, pour satisfaire les deux contraintes. Comme indique l'équation (III.1).

## IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre de conception et de réalisation, nous avons effectués des impressions d'écran, dans lesquelles nous démontrons les différentes étapes de notre plateforme d'optimisation d'un réseau LTE-A, sa structure globale, ses différentes interfaces et ses fonctionnalités. On fait, cette plateforme offre une interface de saisie bien structurée, pour le dimensionnement de couverture et de capacité.

La plateforme *4G LTE-A Optim.* A été implémentée en tenant compte des règles de dimensionnement des réseaux LTE-A. En plus d'un simple outil, *4G LTE-A Optim.* Permet, grâce à ses interfaces graphiques développées sous HTML, CSS et JavaScript, une gestion efficace, intelligente et une bonne utilisation des informations de dimensionnement, ainsi une facilite de calcul des différents paramètres nécessaire d'un réseau LTE-Advanced.

---

# *Conclusion Générale*

---



## Conclusion Générale

Les réseaux de télécommunication ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Pour satisfaire aux mieux les intérêts et les besoins des clients, les opérateurs doivent pouvoir offrir, au meilleur prix, des services d'excellente qualité.

L'objectif principal de ce projet de fin d'étude est d'optimiser la couverture et la capacité du réseau d'accès LTE-A (4G), et cela par le biais de développement d'une application Web (plateforme). Cette dernière qui a été réalisée sous l'environnement HTML, CSS et JavaScript, pour simplifier les calculs compliqués nécessaires au dimensionnement de la couverture. Cela par le calcul du bilan de liaison qui permet à l'opérateur d'optimiser les ressources, tout en maximisant le rayon de la couverture radio, et obtenir le nombre d'eNodeB minimal nécessaire à la couverture d'une zone bien déterminée, en passant par les formules propre de modèle de propagation, suivant la nature du terrain de la zone d'étude.

Le dimensionnement de la capacité nécessite le calcul de débit de la cellule, afin d'arriver à déterminer le nombre des sites nécessaire, pour satisfaire les trafics des abonnés pour une population donnée et des exigences de la QoS.

Pour y parvenir nous sommes passés par quatre étapes essentielles, nous avons commencé par faire une étude sur les différents réseaux mobile existant, ainsi que leurs évolutions dans le temps. Puis nous avons focalisé dans la deuxième étape sur la technologie des réseaux 4G, plus précisément, le LTE-A, ces objectifs, son architecture, ces spécifications techniques et ces caractéristiques. En troisième partie, nous nous sommes intéressés à l'étude du dimensionnement d'un réseau d'accès LTE-A.

En premier lieu, nous avons présenté les différents paramètres du bilan de liaison et les modèles de propagation, afin d'effectuer un dimensionnement des eNodeB orienté couverture. En deuxième lieu, nous avons profilé les usagers de l'opérateur dans le but d'évaluer la charge du trafic. Nous avons également, déterminé la capacité moyenne de la cellule et le nombre d'utilisateur par site, pour effectuer un dimensionnement orienté capacité.

En fin, la dernière partie décrit les étapes d'étude conceptuelle de la plateforme de dimensionnement et d'optimisation de la couverture et la capacité, là où nous avons présenté les captures écrans de notre plateforme ainsi que son fonctionnement en détail, tout cela est dans le but d'arriver à la phase d'étude de cas pour le choix du modèle adéquat sert à l'optimisation de la couverture et de la capacité du réseau d'accès LTE-A (4G).

## **Bibliographie**

- [1]. ZNATI. I et BOUFERSEKHA. O, « *Dimensionnement et planification d'un réseau LTE* », Mémoire pour l'obtention de diplôme de Master en télécommunications, Université Tlemcen, 2017.
- [2]. DEMOLIN.Cédric, Marc VAN DROOGENBROECK « *Principe de base du fonctionnement du réseau GSM* » Département d'Électricité, Électronique et Informatique (Institut Montefiore) Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique <http://www.ulg.ac.be/telecom>
- [3]. BETOUAF. D et BOUMECHRA. W « *Développement d'un outil de dimensionnement et de planification d'un réseau 4G-LTE* » Mémoire pour l'obtention de diplôme de Master en télécommunications, Université de Tlemcen, 2015.
- [4]. European Telecommunications Standards Institute, « *Overview of the universal mobile telecommunication system* ». *DRAFT UMT, Technical Specification Report*, July 2002.
- [5]. Nokia Siemens Networks, « *2020: Beyond 4G: Radio Evolution for the Gigabit Experience* », White paper, Espoo, Finland, 2011. [Online] Available (16-03-2019), <http://www.nokiasiemensnetworks.com/file/15036/2020-beyond-4gradio-evolution-for-the-gigabit-experience>
- [6]. Télécoms and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); « *NGN Functional Architecture* ». European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Sophia-Antipolis, France (2008), ETSI: ETSI ES 282 001.
- [7]. FP7 European Project 5G Now, « *5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for asynchronous signalling* » Mobile World Congress, , Barcelona, Spain, March 2-5, 2015.
- [8]. Yannick Bouguen, EricHardouin, Francois-Xavier Wolff, « *LTE et les réseaux 4G* », Edition groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
- [9]. Tarek TOUHAMI, « *La mise en place d'un outil d'optimisation d'un réseau Advanced LTE Pour Tunisie Telecom* », Diplôme de master professionnel (N2TR), Université virtuelle de Tunis, Juin 2015
- [10]. Oussama Rhouma, « *Gestion d'interférence dans un réseau LTE hétérogène par contrôle d'admission cognitif* », Mémoire présenté pour Maître sciences (M.Sc.), Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique Énergie, Matériaux et Télécommunications, 2014.
- [11]. Imen BEN CHAABANE « *4G LTE : Long Term Evolution* », Regional Forum for ARAB Region: IMT Systems Technology, Evolution and Implementation, Tunis, Tunisia, 7-9 May 2013.

- [12]. Carle Lengoumbi, « *Accès multiple OFDMA pour les systèmes cellulaires post 3G : allocation de ressources et ordonnancement* », Thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de l'école nationale supérieure des télécommunications de Paris, mars 2008.
- [13]. Hamlili. H « *Conception et développement d'un outil d'aide à la planification et dimensionnement de l'E-UTRAN d'un réseau LTE-Advanced* » » Mémoire pour l'obtention de diplôme de Master en télécommunications, Université de Tlemcen, 2016.
- [14]. Motorola, Inc « *LTE RF Planning & Design V 1.2* », Motorola LTE RF Planning guide, Internet confidential document, copyright 2011.
- [15]. AYAD. H et MEKIDICHE. R, « *Optimisation de la couverture radio 4G (LTE-A) des opérateurs de télécommunications* », Mémoire pour l'obtention de diplôme de Master en télécommunications, Université de Tlemcen, 2018.
- [16]. Eya JAMAZZI, « *Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie télécom* », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, pour Tunisie Télécom, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, 2013.
- [17]. 3GPP TS 36.300 V8.2.0, « *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2* », 3GPP Technical Specification.
- [18]. Leonhard Korowajczuk, « *LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis* », Edition John Wiley & Sons, Ltd, June 2011, ISBN: 978-0-470-74149-8.
- [19]. Stéphane Genoud « *Introduction à JavaScript* », 2005 Révision : 1.17, Janvier 2007.

## Résumé

---

Le LTE (*Long Term Evolution*) est l'évolution la plus récente des normes de téléphonie mobile. C'est une technologie sans fil qui dispose d'un ensemble de techniques hertziens, permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP, par l'intermédiaire d'un lien radio. Le rôle du LTE est de promouvoir l'utilisation du haut débit mobile en utilisant l'expérience et les investissements des réseaux qui l'ont précédé, son objectif est d'atteindre des débits encore plus élevés.

LTE-Advanced c'est une norme de communication mobile 4G qui succède à la technologie LTE, elle offre des vitesses plus rapides que la LTE. De plus, la LTE-A permet une connectivité mondiale, une transition facile entre les réseaux et une interopérabilité avec les normes sans fil existantes. Pour bien mener le marché concurrentiel, tout opérateur doit déployer la technologie la plus efficace et la plus performante d'un part, et optimale d'un autre part.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de réaliser une plateforme intelligente sous l'environnement HTML, CSS et JavaScript, dans le but d'optimiser le réseau LTE-A en termes couverture, de capacité et de débit, tout en minimisant les frais de déploiement en garantissant une meilleure qualité de service (QoS).

**Mots-clés :** LTE-A, 4G, Dimensionnement, Optimisation, Couverture, Capacité, eNodeB, Cellule.