

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 Mobiles et Services de Télécommunications (RMST)

**Par** : Hamlili Heyem

### **Sujet**

Conception et développement d'un outil d'aide à la planification et dimensionnement de l'E-UTRAN d'un réseau LTE-Advanced

Soutenu publiquement, le 24 / 05 / 2016 , devant le jury composé de :

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

## **DEDICACES**

---

### ***A ma très chère Mère Houria***

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.*

*Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

### ***A mon Père Aïssa***

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

### ***A ma grand-mère maternelle Zohra***

*A la mémoire de la grande dame qui a tant sacrifié pour nous.*

### ***A mon très cher Riad***

*Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.*

### ***A ma très chère sœur Hidayete Rihab***

*Machère sœur qui m'est la sœur et l'amie, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi.*

## **DEDICACES**

---

### ***A mes chères cousines***

*Asma, Halima, Aicha, Salma, Khawela*

*Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur*

### ***A tous les membres de ma famille, petits et grands***

*Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection*

### ***A mes chers ami (e)s***

*Wafaa, Sara, Zobra, Saada, Salih, Ishak, Iyes, Omar, Abedellah, Sid Ahmed*

*En témoignage de l'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 tous les étudiants de master 2 RST et RMST***

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.*

## Remerciement

---

*Je remercie ALLAH le tout puissant de ma avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.*

*Avant de commencer la présentation de ce travail, je profite, l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements pour mon grand et respectueux encadreur*

***Dr. Zerrouki Hadj**, Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen,*

*Vous avez bien voulu me confier ce travail riche d'intérêt et me guider à chaque étape de sa réalisation. Vous ma avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles. Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre gentillesse méritent toute admiration*

*Je voudrais également remercier les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, Monsieur **Merzzougui Rachid**, Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen, qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de mémoire, et Monsieur **Hadjila Mourad**, Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs, enseignants et toutes les personnes qui m'ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de me donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.*

## Résumé :

La naissance du standard LTE ce n'était qu'un pas vers la 4<sup>ème</sup> génération des réseaux cellulaires, car il ne répond pas aux spécifications imposées par la norme 4G, en termes de débit et d'efficacité spectrale, d'où la nécessité d'évoluer vers LTE-Advanced. A ce stade, et afin de bien mener le marché concurrentiel, un opérateur télécom se trouve obligé à déployer la technologie la plus performante, qui répond le plus aux exigences du marché et les demandes de la clientèle en matière de qualité de service (QoS). Ainsi, le besoin d'un outil de planification évolutif, qui accompagne cette évolution semble indispensable.

L'objectif de ce projet de fin d'études, est l'élaboration d'une solution logicielle de planification et dimensionnement du réseau d'accès E-UTRAN d'un réseau LTE-Advanced, dont le but d'éviter des coûts inutiles pouvant être assumés pendant le démarrage de l'exploitation du réseau. Cet outil tient compte des nouvelles techniques adoptées dans la norme LTE-Advanced, à savoir : OFDM, MIMO, l'agrégation de porteuses, etc.

**Mots clés :** 4G, LTE/LTE-Advanced, MIMO, OFDM, planification, dimensionnement, couverture, bilan de liaison, capacité, E-UTRAN, eNodeB, interfaces (X2, S1).

---

## Abstract:

The birth of the LTE standard was only a step toward the 4<sup>th</sup> generation cellular networks because it doesn't meet the specifications imposed by the 4G standard, in terms of throughput and spectral efficiency, therefore the need to evaluate to LTE-Advanced. At this stage, and in order to properly conduct the competitive market, a telecom operator is obliged to deploy the best technology, which responds most to market requirements and customer demands in terms of quality of service (QoS). Thus, the need for a scalable planning tool that accompanies this development seems essential.

The objective of this project is developing a software solution for planning and design of the E-UTRAN of an LTE-Advanced network, which aims to avoid unnecessary costs that can be assumed during the start of network operation. This tool takes account of new techniques used in the LTE-Advanced standard, specially : OFDM, MIMO, carriers aggregation, etc.

**Keywords :** 4G, LTE/LTE-Advanced, MIMO, OFDM, planning, Dimensioning, coverage, capacity, E-UTRAN, eNodeB, interfaces (X2, S1).

# Table des matières

Dédicace : .....	I
Remerciement .....	III
Résumé.....	IV
Table des matières .....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	IX
Liste des abréviations.....	X
Introduction générale.....	1

## Chapitre I : Etat de l'art des réseaux cellulaires

I.1 Introduction.....	4
I.2 Principe de base d'un réseau mobile .....	4
I.3 Evolution des systèmes radio cellulaires.....	5
I.3.1 Les réseaux mobiles de première génération (1G) .....	5
I.3.2 Les réseaux mobiles de deuxième génération (2G) .....	6
I.3.2.1 Le réseau GSM .....	6
I.3.2.2 Architecture GSM .....	7
I.3.2.3 Le réseau GPRS .....	9
I.3.2.4 Architecture du GPRS .....	9
I.3.2.5 Le réseau EDGE.....	10
I.3.3 Les réseaux mobiles de la troisième génération (3G) .....	10
I.3.3.1 Le réseau UMTS .....	10
I.3.3.2 L'architecture de l'UMTS.....	11
I.3.3.3 Le HSPA.....	12
I.3.3.4 Le HSPA+.....	13
I.3.4 Les réseaux mobiles de la quatrième génération (4G) .....	13
I.3.4.1 Le réseau LTE .....	13
I.3.4.2 Le réseau LTE-A .....	14
I.4 Conclusion .....	17

## Chapitre II : Le réseau LTE-Advanced : Architecture et évolution

II.1 Introduction.....	16
II.2 Architecture LTE-Advanced .....	16
II.2.1 Le réseau Cœur : EPC (Evolved Packet Core) .....	16
II.2.2 Le réseau d'accès (l'E-UTRAN) .....	17
II.3 L'interface air .....	19
II.3.1 La technologie MIMO .....	19
II.3.2 Agrégation de porteuses .....	20
II.3.3 Le Concept Coordinated multipoints (CoMP) .....	21
II.3.3.1 CB/CS (Coordinated Beamforming/Coordinated Scheduling) .....	22
II.3.3.2 Joint Transmission (JT-CoMp).....	22
II.3.3.3 Dynamic Cell Selection : DCS pour le sens descendant.....	23
II.3.4 Modulation et codage adaptatifs .....	24
II.3.5 Structure des trames .....	24
II.3.5.1 Structure de la trame générique .....	24
II.3.5.2 Structure de la trame alternative .....	25
II.3.6 Concept de bloc de ressource .....	26

# Table des matières

II.3.7 Les techniques d'accès .....	27
II.3.8 Les canaux radio .....	28
II.3.8.1 Les canaux logiques.....	28
II.3.8.2 Les canaux de transports.....	29
II.3.8.3 Les canaux physiques .....	29
II.4 Conclusion .....	30

## Chapitre III : Etude de dimensionnement du réseau d'accès E-UTRAN en LTE-A

III.1 Introduction .....	32
III.2 Les étapes de planification dans l'E-UTRAN.....	32
III.3 Dimensionnement de l'eNodeB .....	33
III.3.1 Planification orienté couverture .....	33
III.3.1.1 Bilan de liaison Radio .....	33
III.3.1.2 Modèle de Propagation.....	39
III.3.2 Planification orientée capacité .....	44
III.3.2.1 Calcul de l'efficacité de la bande spectrale.....	44
III.3.2.2 Calcul de la capacité de la cellule .....	46
III.3.2.3 Modèle de trafic et estimation du nombre d'abonnés.....	47
III.3.2.4 Détermination du nombre des sites requis .....	49
III.3.3 Nombre final d'eNodeBs requis .....	49
III.4 Dimensionnement de l'interface S1 et X2.....	50
III.4.1 L'interface X2 .....	50
III.4.2 L'interface S1 .....	51
III.5 Conclusion .....	51

## Chapitre IV : Conception et Développement de l'Outil

IV.1 Introduction .....	53
IV.2 Présentation du logiciel Matlab .....	53
IV.3 Exécution de l'application .....	55
IV.3.1 Interface d'accueil .....	55
IV.3.2 Onglet « paramètre radio ».....	57
IV.3.3 Onglet « paramètre Tx/Rx (eNodeB/UE) ».....	57
IV.3.4 Onglet « Environnement radio ».....	58
IV.3.5 Onglet « paramétrage de Système et OverHeads » .....	59
IV.3.6 Onglet « Calcul de la sensibilité » .....	60
IV.3.7 Onglet « prédiction de trafic » .....	61
IV.3.8 Onglet « Calcul de la capacité » .....	62
IV.3.9 Onglet « résultat » .....	63
IV.3.10 Onglet « E-UTRAN LTE-A Planner» .....	64
IV.4 Conclusion.....	64
Conclusion générale .....	65
Bibliographie.....	66

# Liste des figures

---

Figure I.1 : Evolution vers LTE-A .....	4
Figure I.2 : Types des cellules .....	5
Figure I.3 : Architecture du réseau GSM .....	7
Figure I.4 : Architecture générale du réseau GPRS .....	9
Figure I.5 : Architecture générale du réseau UMTS .....	11
Figure I.6 : Réseau cœur de l'UMTS .....	12
Figure II.1 : Architecture générale du réseau LTE-A .....	16
Figure II.2 : Architecture de l'EPC .....	17
Figure II.3 : Les deux catégories du nœud relais .....	18
Figure II.4 : Les interfaces existant dans l'E-UTRAN .....	19
Figure II.5 : Principe de fonctionnement de la technique MIMO .....	20
Figure II.6 : MIMO est recommandé pour la haute S/N et la diversité TX est utilisée de préférence pour une faible S/N .....	20
Figure II.7 : Agrégation de porteuses contigües et non contigües .....	21
Figure II.8 : Agrégation de porteuses à 5 composantes contigües .....	21
Figure II.9 : Principe de Coordinated BeamForming/Coordinated Scheduling .....	22
Figure II.10 : La technique SDMA (Space Division Multiple Access) .....	22
Figure II.11 : Les CoMP intra-Site et inter-Site ainsi que le Backhaul .....	23
Figure II.12 : Méthode d'application du AMC .....	24
Figure II.13 : La structure de trame générique .....	25
Figure II.14 : Duplexage FDD (Frequency Division Duplex) .....	25
Figure II.15 : Duplexage TDD (duplexage en temps) .....	25
Figure II.16 : La structure de trame alternative .....	26
Figure II.17 : Bloc ressource .....	26
Figure II.18 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA .....	27
Figure II.19 : Les différents canaux radio dans LTE-A .....	28
Figure IV.1 : Logo Matlab .....	53
Figure IV.2 : Fenêtre principale du Matlab .....	54
Figure IV.3 : Command Window .....	54
Figure IV.4 : Fenêtre principale du nouveau GUI .....	55

## Liste des figures

---

Figure IV.5 : Interface GUI Matlab vierge .....	55
Figure IV.6 : Interface d'accueil de l'application .....	56
Figure IV.7 : Interface secondaire about .....	56
Figure IV.8 : Interface de paramètre de modèle .....	57
Figure IV.9 : Interface de paramétrage eNodeB/UE .....	58
Figure IV.10 : Interface de paramétrage de l'environnement radio .....	59
Figure IV.11 : Interface de paramétrage de Système et OverHeads .....	60
Figure IV.12 : Interface calcul de la sensibilité .....	62
Figure IV.13 : Interface prédiction de trafic .....	62
Figure IV.14 : Interface calcule de la capacité .....	62
Figure IV.15 : Interface résultat .....	63
Figure IV.16 : interface About .....	64

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau II.1</b> : $N_{\text{symb}}$ par slot OFDM en fonction de préfixe cyclique.....	27
<b>Tableau III.1</b> : Paramètres du bilan de liaison radio .....	34
<b>Tableau III.2</b> : Paramètres pour le calcul du la PIRE .....	34
<b>Tableau III.3</b> : Paramètres pour le calcul de la sensibilité de réception .....	35
<b>Tableau III.4</b> : SNR min en fonction de la modulation.....	37
<b>Tableau III.5</b> : $IM_{dB}$ en fonction de la charge de la cellule .....	38
<b>Tableau III.6</b> : Modèle COST-231 Walfisch-Ikegami .....	40
<b>Tableau III.7</b> : Modèle Okumura-Hata.....	41
<b>Tableau III.8</b> : Modèle COST-231 Hata .....	42
<b>Tableau III.9</b> : Paramètres de terrain pour le modèle Erceig-Greenstein .....	42
<b>Tableau III.10</b> : Empreinte du site en fonction du nombre de secteur.....	43
<b>Tableau III.11</b> : Densité des RS en fonction de la configuration MIMO.....	45
<b>Tableau III.12</b> : Nombre de PRB alloués au canal PUCCH .....	46
<b>Tableau III.13</b> : Exemple de modèle de trafic.....	48

# Liste d'abréviations

---

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

## A

- **AUC** : Authentification Center
- **AMC** : Adaptive Modulation and Coding

## B

- **BER** : Bit-Error Rate
- **BLER** : Block-Error Rate
- **BSC** : Base Station Controller
- **BTS** : Base Transceiver Station
- **BSS** : Base Station Subsystem

## C

- **CA** : Carrier Aggregation
- **CC** : Component Carrier
- **CoMP** : Coordinated Multi-Point transmission/reception
- **CP** : Cyclic Prefix

## D

- **DL** : Downlink
- **DL-SCH** : DownlinkShared Channel.
- **DCCH** : Dedicated Control Channel
- **DTCH** : Dedicated Traffic Channels

## E

- **EDGE** :Enhanced Data Rates for GSM Evolution
- **E-UTRAN** :Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
- **ENodeB**: Evolved NodeB
- **EPC** : Evolved PacketCore Network
- **EPS** : Evolved Packet System

## F

- **FACH** : Forward Access Channel
- **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

## H

- **HSDPA** : High Speed Downlink Packet Access
- **HLR** : Home Location Register

## I

- **IP** : Internet Protocol
- **ITU**: International Télécommunica-tions Union

## L

# Liste d'abréviations

---

- **LTE** : Long Term Evolution

## M

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

## N

- **NSS** : Network Switching SubSystem
- **NMC** : Network and Management Centre
- **NPRB** : nombre de blocs de ressources

## O

- **OSS** : Operation SubSystem
- **OMC** : Operations and Maintenance Center
- **OFDMA** : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
- **OFDM** : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

## P

- **PBCH** : Physical Broadcast Channel
- **PCCH** : Paging Control Channel
- **PCFICH** : Physical Control Format Indicator Channel

- **PCH** : Paging Channel
- **PDA** : Personal Digital Assistant
- **PDCCH** : Physical Downlink Control Channel
- **PDSCH** : Physical DownlinkShared Channel
- **PHICH** : Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel
- **PRACH** : Physical Random Access Channel
- **PRB** : Physical Resource Block
- **PUCCH** : Physical Uplink Control Channel
- **PUSCH** : Physical UplinkShared Channel

## Q

- **QoS** : Quality of Service
- **QAM** : Quadrature Amplitude Modulation
- **QPSK** : Quadrature Phase Shift Keying

## R

- **RACH** : Random Access Channel
- **RB** : Resource Block
- **RE** : Resource Element

## S

- **S1** : The interface between NodeB and the Evolved Packet Core.
- **SDMA** : Spatial Division Multiple Access

## Liste d'abréviations

---

- **SINR** : Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
- **SNR** Signal-to-Noise Ratio

### T

- **TDMA** : Time Division Multiple Access
- **TDD** : Time Division Demultiplexed
- **TI** : Transmission Time Interval
- **TS** : Time slot

### U

- **UE** : User Equipment
- **UL** : Uplink
- **UL-SCH** : Uplink Shared Channel
- **UMTS** : Universal Mobile Telecommunications System

### V

- **VLR** : Visitor Location Register
- **VoIP** : Voice over IP

### X

- **X2** : The interface between NodeBs

# Introduction générale

---

Les réseaux radio mobiles sont généralement classés en générations, 1G est le système radio mobile analogique dans les années 1980, 2G le premier système radio mobile numérique, 3G le premier système large bande. LTE (Long term Evolution) Rel-8 est le portail vers les réseaux de la 4<sup>ème</sup> génération (soit 3.9 G), et LTE-Advanced est réellement le premier réseau 4G, et ce n'est plus le dernier pas de standardisation dans le processus de l'évolution à long terme boostée par le 3GPP.

LTE-Advanced est une norme de réseau de téléphonie mobile de 4<sup>ème</sup> génération définie par l'organisme de normalisation 3GPP qui fait partie des technologies réseaux retenues par l'Union internationale des télécommunications (UIT) comme norme 4G IMT-Advanced .

Le LTE Advanced, dont la normalisation de la première version (normes 3GPP rel 10), est une évolution de la norme LTE qui lui permet d'atteindre le statut de « véritable norme 4G », tout en gardant une compatibilité ascendante complète avec le LTE, au niveau des terminaux (smartphones, tablettes, clés 4G) et au niveau du réseau.

Le LTE-Advanced sera capable de fournir des débits pics descendants (téléchargement) supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et à plus de 100 Mb/s pour un terminal en mouvement, grâce aux technologies réseaux intelligentes qui permettent de maintenir des débits plus élevés en tout point de la cellule radio, alors qu'ils baissent fortement en bordure des cellules UMTS et LTE.

A ce stade, et afin d'être le plus concurrent sur le marché, l'opérateur doit optimiser ses ressources et savoir comment déployer cette nouvelle technologie tout en réduisant le coût et maximisant la QoS. Pour le faire, il doit passer par les phases primordiales : dimensionnement et planification, qui consistent à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées, ce qui garantit une étude fiable du réseau avant la réalisation.

De ce fait, nous avons organisé notre plan de projet en 4 chapitres :

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 permet aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services.

# *Introduction générale*

---

Le deuxième chapitre présente une étude approfondi sur le réseau LTE-Advanced, son architecture, ses caractéristiques, ses spécifications techniques, principalement l'interface air et les innovations apportées par rapport à LTE.

Le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement du réseau LTE-A dans lequel nous expliquons en détails le processus de dimensionnement dans le réseau d'accès (E-UTRAN) LTE-Advanced, et nous allons étudier et proposer une solution de dimensionnement pour la planification orientée couverture et orientée capacité.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous présentons les différentes interfaces de notre outil 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.

Et enfin, une conclusion récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

## Chapitre I

Etat de l'art des réseaux cellulaires

## I.1 Introduction

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

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

Dans ce chapitre, nous allons présenter un état de l'art des différentes générations de réseaux mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires. La figure suivante illustre la succession des technologies vers LTE-A :

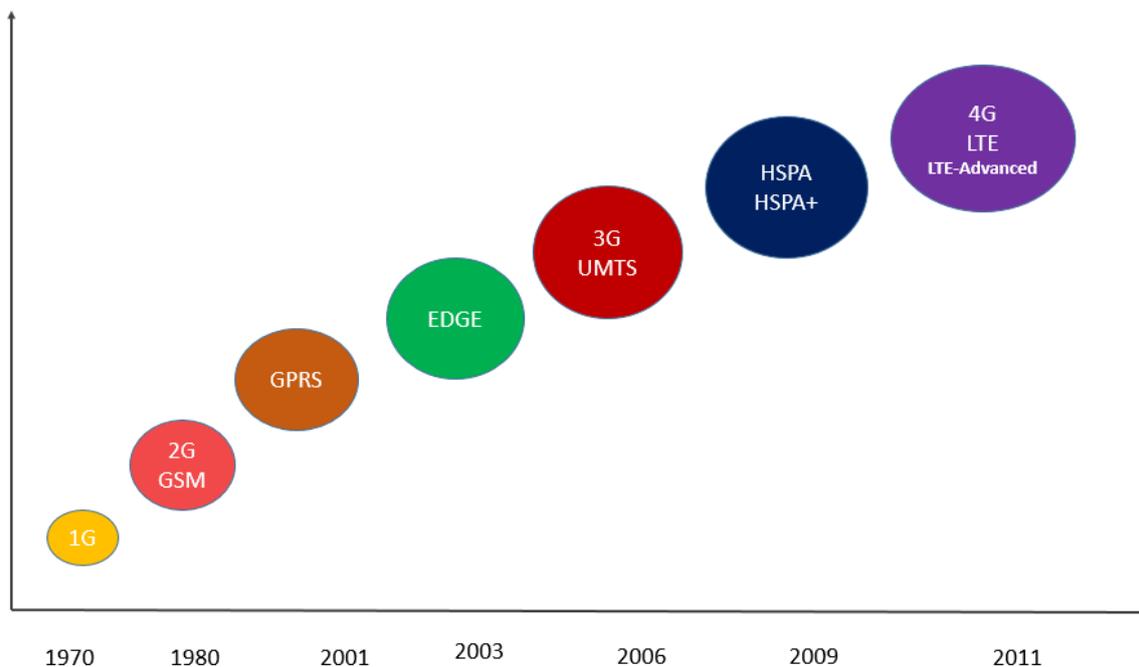


Figure I.1 : Evolution vers LTE-A

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

Le principe de fonctionnement du réseau mobile est basé sur un système cellulaire, c'est-à-dire que les stations de bases sont réparties sur le territoire selon un schéma, qui permet à une cellule d'utiliser plusieurs fréquences qui seront différentes de celles des cellules voisines (Figure I.2), ces mêmes fréquences seront réutilisées par des cellules suffisamment éloignées de façon à éviter les interférences.

Le nombre de communications simultanées que peut écouler une station de base est limité à cause du nombre de porteuses (fréquences) disponibles.

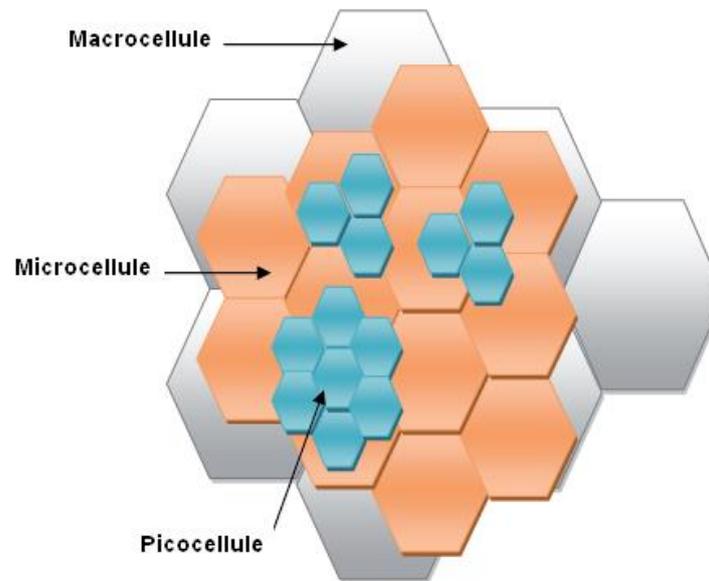


Figure I.2 : Types des cellules

Dans les zones urbaines, 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 macros cellules.

Les systèmes de radiotéléphonie cellulaire sont donc adaptés à des environnements très variés (zones urbaines ou rurales, usagers fixes ou mobiles, intérieur et extérieur des immeubles) [2].

### I.3 Evolution des systèmes radio cellulaires

#### I.3.1 Les réseaux mobiles de première génération (1G)

Dans les années 1970-1980, la première génération de téléphone mobile noté (1G) fait son apparition. Elle est caractérisée par une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde. Nous pouvons citer les technologies suivantes :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) aux Etats-Unis ;
- **TACS** (Total Access Communication System) au Japon et au Royaume-Unis ;
- **NMT** (Nordic Mobile telephone) dans les pays scandinaves ;
- **Radiocom 2000** en France ;
- **C-NETZ** en Allemagne ;

D'un point de vue technique, ces systèmes étaient basés sur un codage et une modulation de type analogique, ils utilisaient une technique d'accès multiple appelée FDMA (Frequency Division

Multiplex Access) associant une fréquence à un utilisateur d'où une capacité très limitée de l'ordre de quelque appels voix simultanés par cellule [1].

### I.3.2 Les réseaux mobiles de deuxième génération (2G)

La deuxième génération est aussi marquée par des systèmes ayant été définis et déployés à travers le monde. On peut retrouver :

- **GSM** (Global system for mobile communication) en Europe ;
- **PDC** (Personal Digital Communication) au Japon ;
- **IS-95** aux Etats-Unis.

Ces systèmes permettaient l'accès au service voix en mobilité et message textes courts SMS (Short Message Service) ainsi que le transfert de données à faible débit.

D'un point de vue technique ces systèmes sont basés sur des codages et des modulations de type numérique par ailleurs, les techniques d'accès multiple utilisés sont :

- Le GSM et PDC répartition en fréquences FDMA entre les cellules, combinée à une répartition en temps TDMA (Time Division Multiple Access).
- L'IS-95 utilise une répartition par code appelée CDMA (Code Division Multiple Access) [1].

Nous prenons le GSM comme un exemple puisqu'il a le plus large succès, les réseaux GSM déployés à travers le monde couvrent plus de 90% de la population mondiale.

#### I.3.2.1 Le réseau GSM

Le GSM (*Global System for Mobile communications*), est le standard le plus utilisé dans les années 1990 en Europe et supporte aux Etats-Unis. Le réseau radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre la transmission de la voix et des données entre des abonnés mobiles et des abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC).

- GSM 900 : système radio mobile à vocation urbaine et rurale (macro cellule) et utilisant la fréquence des 900MHz avec des sous bandes de largeur 25MHz : (890-915) MHz et (935-960) MHz.
- 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 (microcellule) [2].

### I.3.2.2 Architecture GSM

Le réseau radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre des communications entre des abonnés mobiles et des abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC). La figure I.3 présente l'architecture du réseau GSM.

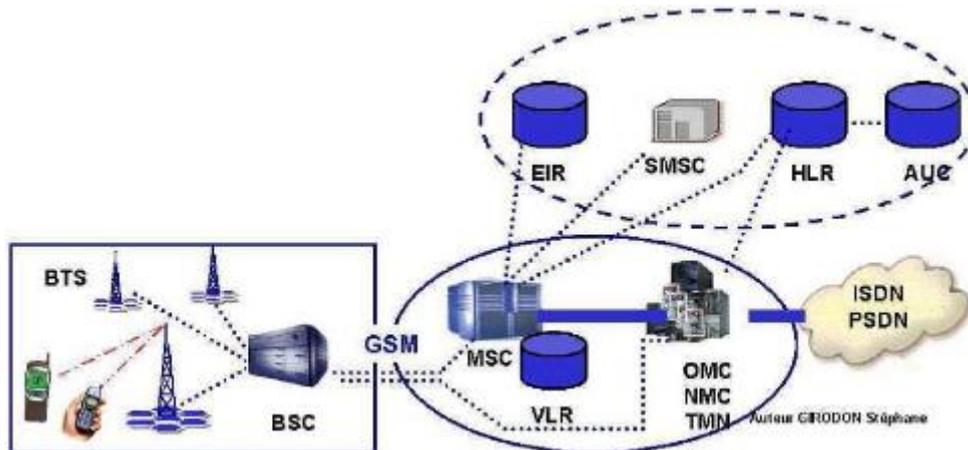


Figure I.3 : Architecture du réseau GSM [3].

Il est composé de trois sous-ensembles :

#### a) le sous-système BSS

BSS (Base station Sub-System) qui assure la transmission radioélectrique et gère la ressource radio. On distingue dans le BSS :

- ❖ **La station de base BTS** (Base Transceiver Station) : Elle permet le dialogue avec le mobile sur l'interface Air (aussi appelée interface Radio ou interface Um). Ses principales fonctions sont :
  - Contrôle de la couche physique (couche 1 de l'interface radio) : transmission de la parole et des données, transmission discontinue, ordres de contrôle de puissance et de Handover...
  - Mesures des interférences sur les canaux non alloués à des communications (idle channels).
  - Mesures sur la liaison montante (Uplink), servant à l'algorithme de décision du Handover.
  - Calcul du Timing Advance (avance de temps) pour la synchronisation temporelle, selon la distance qui sépare la BTS du mobile.
  - Détection des demandes d'accès des mobiles reçus sur le canal de contrôle commun (RACH).
  - Détection des messages de HandOver Access (HO ACCESS).

❖ **Le contrôleur de station de base BSC** (Base Station Controller) : Assure le contrôle d'une ou de plusieurs BTS. La plupart des fonctions intelligentes de BSS sont implantées à son niveau, notamment les fonctions de gestion des ressources radioélectriques :

- L'allocation des canaux.
- La gestion de la configuration des canaux.
- Le traitement des mesures et la décision de handovers intra BSC.

#### b) Le sous-système NSS :

Le NSS (Network Sub-System) ou SMSS (Switching and Management Sub-System) qui comprend l'ensemble des fonctions de communication et de routage (l'accès public RTC ou RNIS), la gestion de la mobilité, la sécurité et la confidentialité. On distingue dans le sous-système NSS :

- ❖ **Le MSC** (Mobile Services Switching Center) : C'est la partie centrale du NSS, il prend en charge l'établissement des communications de et vers les abonnés GSM. Du fait de la mobilité, l'implantation de la seule fonction de commutation n'est pas suffisante. Le MSC gère la mobilité et les fréquences et enregistre la localisation des abonnés visiteurs (base de données VLR).
- ❖ **Le HLR** (Home Location Register) : C'est la base de données qui gère les abonnés d'un PLMN donné. Elle contient toutes les informations relatives à l'abonnement et aux droits d'accès. D'autre part, le HLR est une base de données de localisation. Il mémorise pour chaque abonné le VLR où il est enregistré.
- ❖ **Le VLR** (Visitor Location Register) : C'est la base de données qui gère les abonnés présents dans une certaine zone géographique. Ces informations sont une copie de l'original conservé dans la base de données HLR.
- ❖ **L'AuC** (Authentication Center) : Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour le chiffrement des communications. Un AuC est en général associé à chaque HLR.

#### c) Le sous-système OSS :

Le sous-système d'exploitation et de maintenance appelé OSS (Operation Sub-System) qui permet à l'opérateur d'administrer le réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM.

- ❖ **Le NMC** : permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé.
- ❖ **Les OMC** : permettent une supervision locale des équipements. Par exemple des OMC supervisent des ensembles de BTS et de BSC. D'autres OMC supervisent de MSC et des VLR [1].

### I.3.2.3 Le réseau GPRS

Le GPRS (General Packet Radio Service) représente une évolution majeure du GSM peut être vu comme un réseau de données qui dispose un accès radio réutilisant une partie du réseau GSM.

Les débits proposés par GPRS sont supérieurs au débit de 9,6 Kbits/s offert par GSM pour le transfert de données, GPRS permet d'atteindre un débit théorique maximal de 171,2 Kbits/s, ce qui correspond à un débit d'environ 115 Kbits/s pour l'utilisateur final dans des conditions optimales.

### I.3.2.4 Architecture du GPRS

Le service GPRS définit une architecture de réseaux à commutation par paquet avec la gestion de la mobilité et accès par voie radio, les recommandations GPRS reprennent l'architecture du BSS mais avec une architecture différente du NSS (Figure I.4).

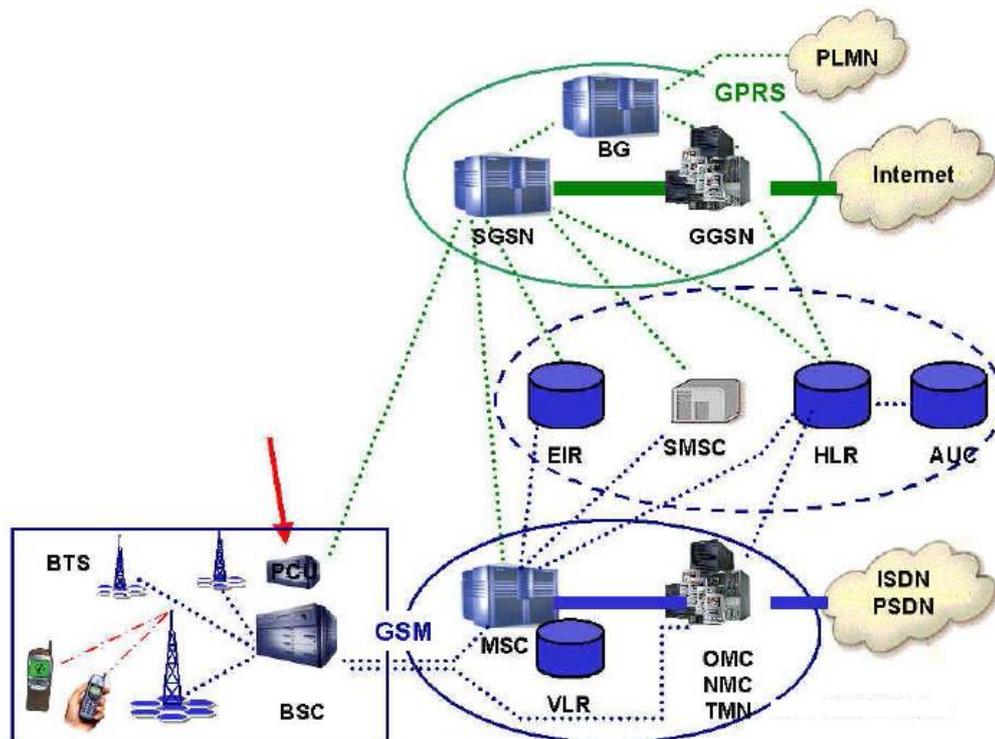


Figure I.4 : Architecture générale du réseau GPRS [3].

- ❖ **SGSN (Serving GPRS Support Node)** : C'est une passerelle permettant l'acheminement de données dans les réseaux mobiles GPRS. Il gère l'interface avec le réseau de paquets externe (ex : IP) via une autre passerelle, le GGSN
- ❖ **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** : C'est une passerelle d'interconnexion entre le réseau paquet mobile GPRS et les réseaux IP externes.

- ❖ **Le module BG pour la sécurité** : Le module BG (*Border Gateway*) est défini comme un nœud passerelle permettant de relier un réseau GPRS à un réseau fédérateur interconnectant différents réseaux GPRS. Ces BG jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (*Public Land Mobile Network*) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux [6].

#### I.3.2.5 Le réseau EDGE

L'EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) qualifié souvent de 2,75 G, est une évolution du standard de téléphonie mobile GPRS. L'architecture générale d'un réseau EDGE est identique à celle d'un réseau GPRS, seules quelques modifications sont à réaliser concernant le sous-système radio.

La particularité d'EDGE réside dans l'adaptation du schéma de modulation, en fonction de la qualité de la liaison. Pour une liaison de bonne qualité, EDGE utilise la modulation 8-PSK (Eight Phase Shift Keying). Cette technique de modulation offre une efficacité spectrale supérieure à la modulation utilisée par le GSM et GPRS (GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying) et nous permet d'avoir un débit trois fois supérieurs à celui du GPRS. Dans la liaison de mauvaise qualité, EDGE utilise la modulation GMSK, le débit devient donc comparable à celui du GPRS [4].

### I.3.3 Les réseaux mobiles de la troisième génération (3G)

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. On va s'intéresser de l'UMTS, car c'est cette famille de technologies qui va donner naissance au LTE.

#### I.3.3.1 Le réseau UMTS

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

Les technologies développées autour de la norme UMTS conduisent à une amélioration significative des vitesses de transmission pouvant atteindre 2 Mbit/s. De tels débits sont significativement supérieurs à ceux permis par les réseaux GSM (9,6 kbit/s) ou par le GPRS.

L'UMTS repose sur la technique d'accès multiple W-CDMA (Wide Band - Code Division Multiple Access) qui utilise le mode de duplexage FDD (Frequency Division Duplex). W-CDMA utilise deux bandes passantes de 5 Mhz, l'une pour le sens montant (Uplink), l'autre pour le sens descendant (Downlink). Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Pour les services à haut débit, plusieurs codes sont nécessaires pour supporter un débit de 2 Mbit/s [5].

### I.3.3.2 L'architecture de l'UMTS

L'architecture du réseau UMTS, illustrée par figure I.5, est constituée d'une partie radio appelée RNS (Radio Network Subsystem) et d'une partie réseau de base appelée CN (Core Network).

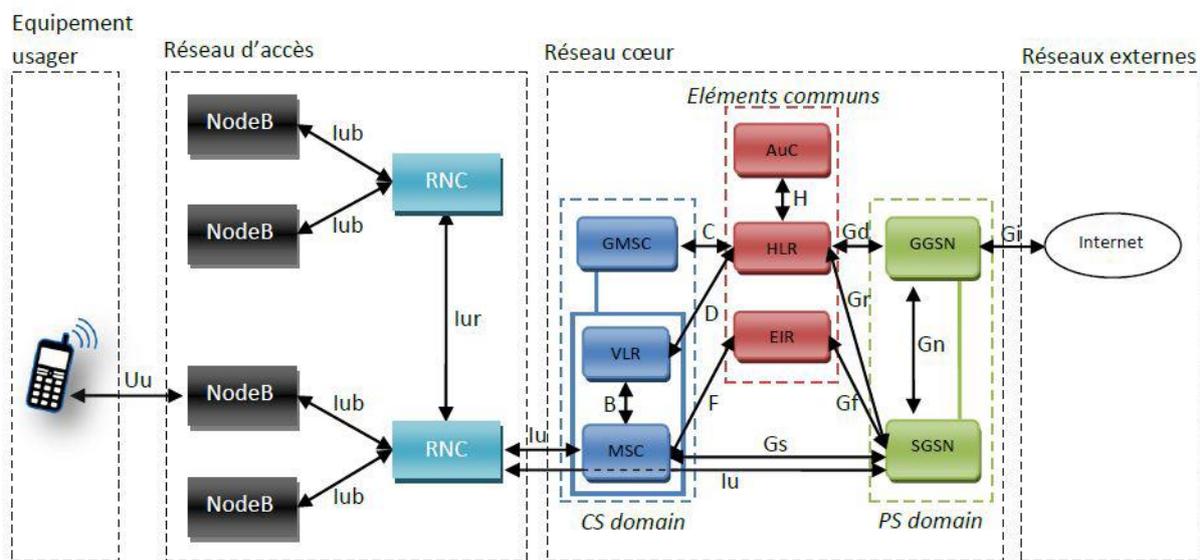


Figure I.5 : Architecture générale du réseau UMTS [5].

#### a) Le réseau d'accès

Les éléments du réseau d'accès sont :

- ❖ **Le nœud B** : Le rôle principal du nœud B est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Le nœud B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI.
- ❖ **Le RNC (Radio Network Controller)** : Le RNC gère les ressources radios de la zone dont il a le contrôle, autrement dit, les ressources de la zone de couverture de tous les nœuds B auxquels il est rattaché. C'est le point d'accès pour tous les services fournis par l'UMTS.

#### b) Le réseau cœur

Les éléments du réseau cœur de l'UMTS sont les mêmes que ceux du réseau GSM. Ce réseau a la fonction de gérer les services offerts aux utilisateurs, il est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externe (Figure I.6).

L'UMTS élaborée dans le cadre du projet de partenariat de 3ème génération (3GPP, 3rd Generation Partnership Project) a défini deux domaines pour la partie CN :

- ❖ Le domaine de commutation de circuits (CS, Circuit Switched), Il permet de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques ((vidéo téléphonie), jeux vidéo, streaming, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Le débit du mode domaine circuit est de l'ordre de 384 Kbits/s.
- ❖ Le domaine de commutation de paquets (PS, Packet Switched), Ce domaine permet de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'Internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'accès/utilisation des e-mails [5].

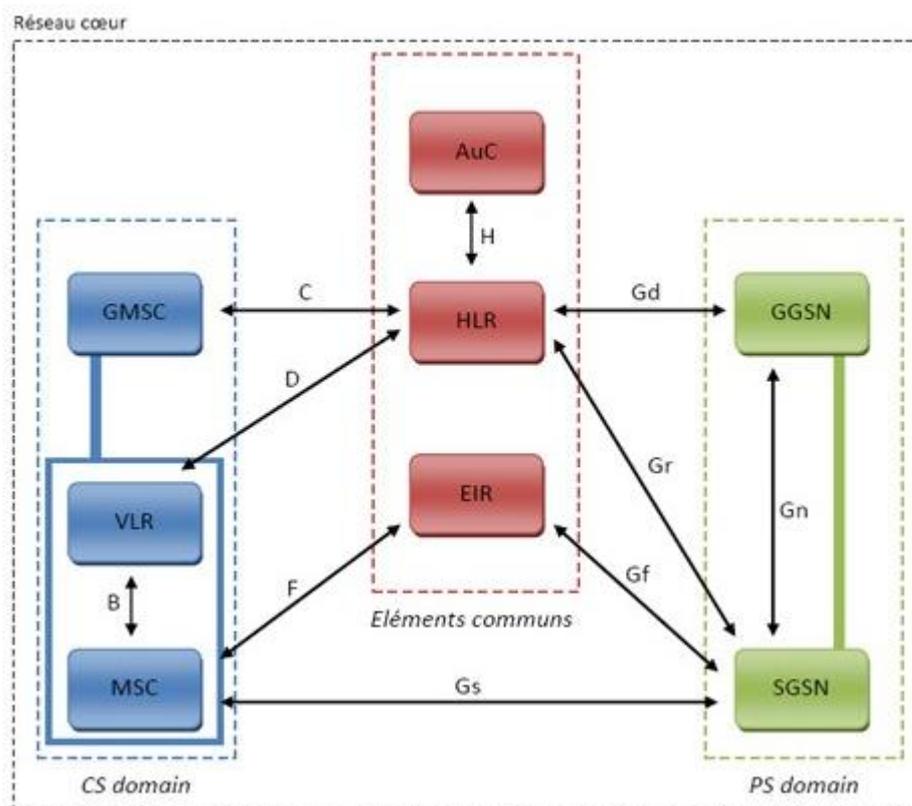


Figure I.6 : Réseau cœur de l'UMTS [5].

### I.3.3.3 Le HSPA

L'innovation principale du HSPA concerne le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio à une commutation par paquets.

L'allocation dynamique des ressources est effectuée par la fonction d'ordonnancement ou scheduling en fonction de la qualité instantanée du canal radio de chaque UE. Le débit instantané étant accru via l'utilisation de modulation à plus grand nombre d'état. La modulation 16-QAM (16

Quadrature Amplitude Modulation) est introduite pour la voie descendante. Pour la voie montante une modulation QPSK a été introduit. Afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ (Hybrid Automatic Resposere Quest), est défini entre l'UE et la station de base.

Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximum de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbits/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite [1].

#### I.3.3.4 Le HSPA+

L'amélioration des débits de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64-QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16-QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DC-HSDPA (Dual Carrier-HSDPA). Par conséquent les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés [1].

#### I.3.4 Les réseaux mobiles de la quatrième génération (4G)

Toujours en cours de recherches et de standardisation, le réseau 4G (4<sup>ème</sup> génération) est proposé comme future génération des réseaux mobiles après la 3G. Ce réseau a également pour objectif d'abolir les frontières de la mobilité. Les débits supposés sont entre 20 et 100 Mb/s à longue portée et en situation de mobilité, et 1 Gb/s à courte portée vers des stations fixes.

Par définition, 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.

##### I.3.4.1 Le réseau LTE

LTE (Long Term Evolution) est le nom d'un projet au sein du 3GPP qui vise à produire les spécifications techniques de la future norme de réseau mobile de quatrième génération (4G).

LTE propose des débits élevés pour le trafic temps-réel, avec une large portée. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50 Mb/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant [1].

La norme LTE, définie par le consortium 3GPP1, 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).

#### I.3.4.2 Le réseau LTE-A

Comparé au LTE, le LTE Advanced (LTE-A) se différencie, pour l'essentiel, par une série d'améliorations indépendantes les unes des autres et qui préservent la compatibilité ascendante avec les normes et les terminaux LTE existants.

LTE Advanced est donc une évolution de la norme LTE avec des compléments fonctionnels qui permettent une introduction progressive des nouvelles fonctions dans les réseaux LTE préexistants. Les stations de base eNode-B compatibles avec les normes LTE Advanced restent compatibles avec les terminaux simplement LTE, y compris dans les bandes de fréquences agrégées (utilisées en mode « Carrier Aggregation ») [1].

### I.4 Conclusion

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+. Finalement, le réseau LTE et le LTE Advanced.

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 : Architecture et évolution

## 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, le concept CoMP et l'agrégation de porteuses pour croiser avec les exigences de l'IMT-Advanced (à partir de Rel-10) dont nous allons parler dans ce chapitre qui présente un aperçu général sur le réseau LTE-Advanced, son architecture, ses spécifications techniques, principalement l'interface air et les innovations apportées par rapport à LTE.

## II.2 Architecture LTE-Advanced

La technologie LTE a apporté une efficacité spectrale, amélioration de débit, augmentation de couverture et du nombre d'appels supporté par la cellule.

De même que ces précédentes, elle est caractérisée par son architecture qui comporte :

- Un réseau d'accès : **E-UTRAN**
- Un réseau cœur : **Réseau tout-IP.**

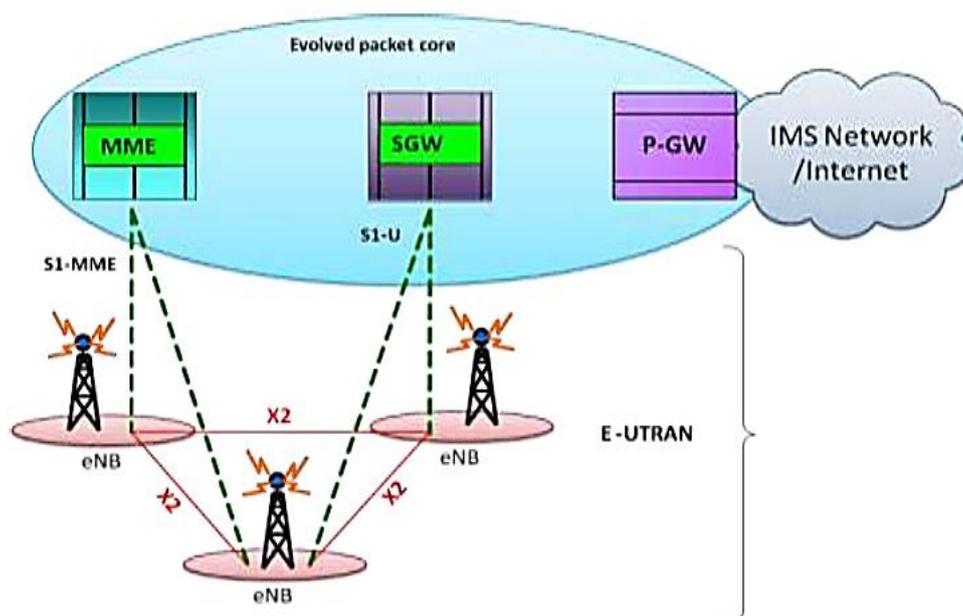


Figure II.1 : Architecture générale du réseau LTE-A [7]

### II.2.1 Le réseau Cœur : EPC (Evolved Packet Core)

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.2, en la comparant à celle de 2G/3G.

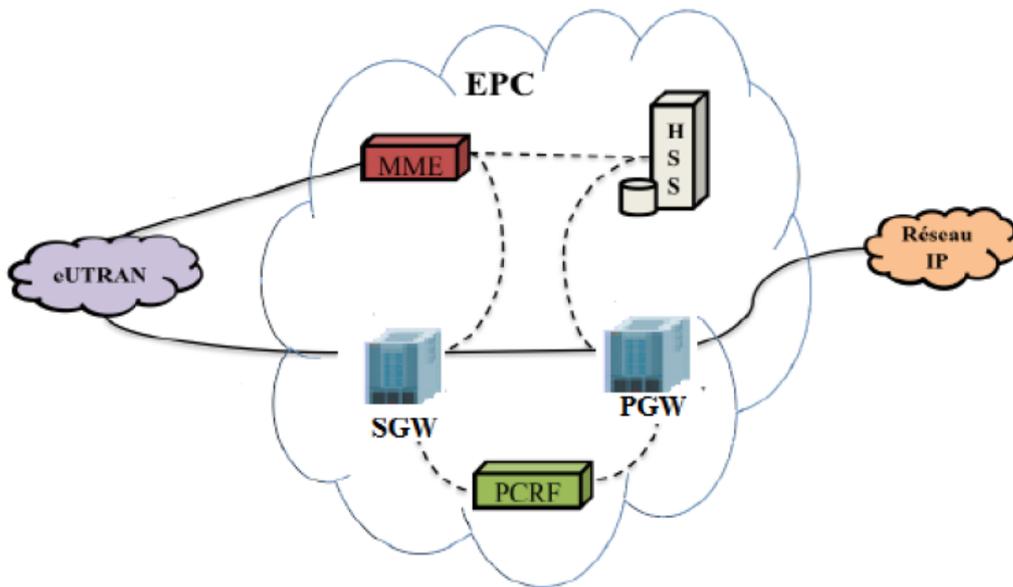


Figure II.2 : Architecture de l'EPC [8]

Le système EPC utilise trois plateformes différentes pour connecter l'utilisateur à son univers de communication mobile [7] :

- ❖ **MME** (Mobility Manager Entity) : Il est responsable de savoir la localisation de l'utilisateur, de connaître son état et gérer les procédures d'authentification et de mobilité des UE.
- ❖ **SGW** (Serving Gateway) : Il est responsable du transfert d'un relais à un autre, il gère tout l'aspect Handover inter-eNodeB et effectue ce transfert vers un réseau 2G ou 3G.
- ❖ **PGW** (Packet Data Network Gateway) : C'est la passerelle vers les réseaux externes. Il est responsable du routage, en assignant une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. PGW est un point pour faire le filtrage des données. Il participe aussi à l'opération de taxation.

Plus les deux entités :

- ❖ **HSS** (Home Subscriber Server) : C'est un HSS qui contient le profil de l'abonné pour les réseaux 2G, 3G et le LTE.
- ❖ **PCRF** (Policy & Charging Rules Function) : Il fournit au PGW les règles de taxation nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable.

### II.2.2 Le réseau d'accès (l'E-UTRAN)

L'architecture du réseau d'accès n'a pas subi des modifications énormes en LTE-A, par rapport à l'architecture du LTE. L'unique évolution a été l'apparition du nœud relais qui s'intercale entre l'UE (User Element) et l'eNodeB, et son installation est optionnelle.

L'architecture de l'E-UTRAN est plate, n'est pas hiérarchisée, et ne contient que la station de base comme nœud, nommé l'eNodeB, les Nœuds relais et l'interface air.

- a) **L'eNodeB** : Ses fonctions principales sont les suivantes : Gestion de connexion, Compression et Décompression d'entête, Contrôle d'accès, Ordonnancement, Sécurité, Routage des données utilisateurs, Sélection et maintien de MME (Mobility Management Entity) pour le UE, etc.
- b) **Les Nœuds Relais** : Tous les réseaux cellulaires souffrent d'un problème commun qui consiste à faible débit pour les utilisateurs situés sur les bordures de la cellule, ceci est dû au faible rapport signal sur bruit. Les technologies avancées employées en LTE, telles que, MIMO, OFDM, Turbo Code, etc... sont capables à améliorer les débits dans de nombreuses conditions, mais elles ne sont pas en mesure d'améliorer les performances sur les bordures des cellules. Par conséquent, il est nécessaire de trouver des solutions pour examiner le problème à faible coût, on parle des nœuds relais (RN : Relay Node).

Un RN LTE-A est différent d'un répéteur simple qui reçoit et amplifie le signal pour le retransmettre encore une fois (AF : Amplify and Forward). Un relais permet de recevoir, démoduler, décoder, appliquer une correction d'erreur, etc... et ensuite retransmettre de nouveau le signal [13].

Un nœud relais est une méthode pratique pour remédier au problème des trous de couverture, à condition que le RN soit installée dans un endroit approprié et équipé d'une antenne à gain élevé, il sera en mesure de maintenir de bonnes communications et de fournir l'extension de la couverture requise. On peut classer les RNs selon leurs modes de fonctions half duplex et full duplex, de plus on peut en distinguer deux catégories :

- **In-band** : Si le lien eNodeB-RN et le lien RN-UE utilisent la même bande spectrale.
- **Out-band** : Si le lien eNodeB-RN et le lien RN-UE n'utilisent pas la même bande spectrale.

La figure ci-dessous illustre ces deux catégories différentes.

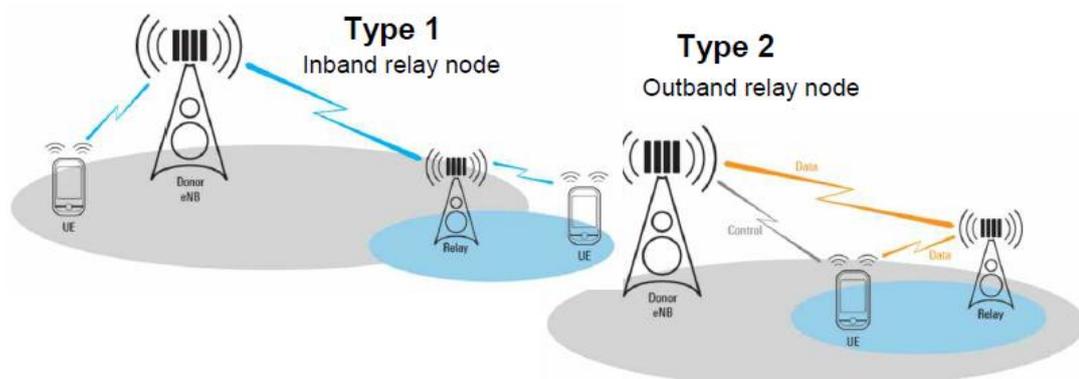


Figure II.3 : Les deux catégories du nœud relais [9].

### c) Les interfaces :

La figure II.4 représente les interfaces qui existent dans l'E-UTRAN.

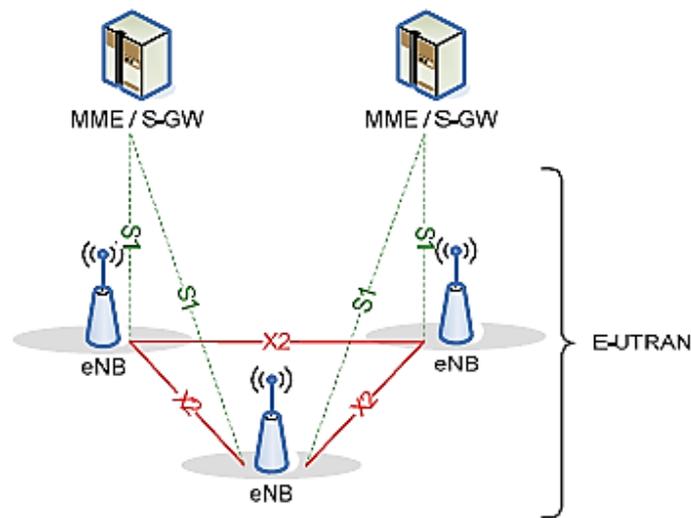


Figure II.4 : Les interfaces existant dans l'E-UTRAN [8]

- ❖ **L'interface X2** : C'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le Handover ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur.
- ❖ **L'interface S1** : C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, et elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires. Cette dernière consiste en [8] :
  - **S1-U** (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW
  - **S1-C** (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

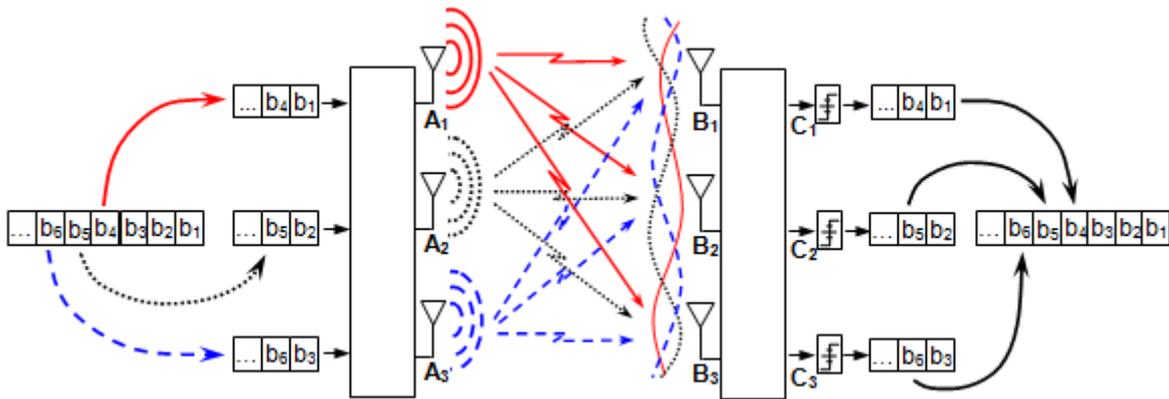
## II.3 L'interface air

### II.3.1 La technologie MIMO

MIMO (Multiple Input Multiple Output) est une technique basée sur la diversité spatiale en transmission sans fil, pour éviter les multi-trajets. La mise en place d'une telle structure permet au système utilisé d'atteindre des débits importants et cela sans changer la largeur de la bande allouée au signal ni sa puissance d'émission.

Concrètement, plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, rendant la transmission de bonne qualité. Cela a pour conséquence l'amélioration du rapport signal sur bruit et donc du taux d'erreurs binaires [10].

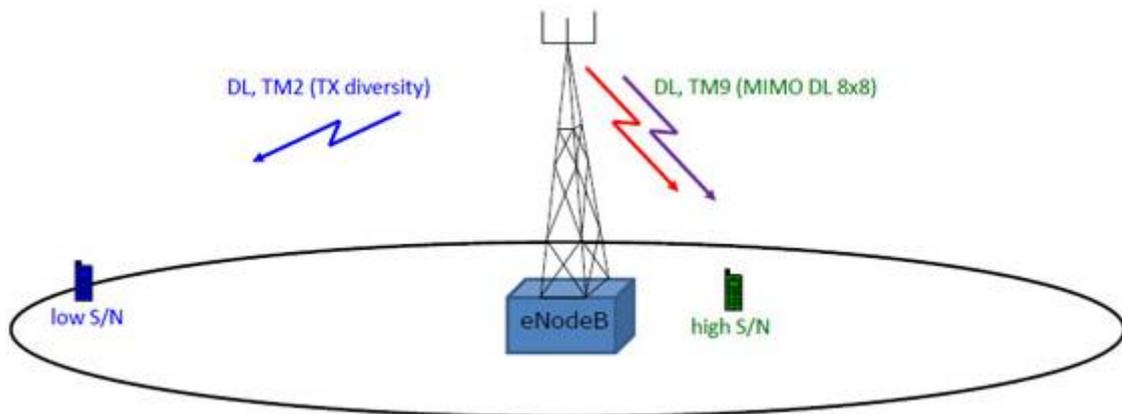
La figure suivante explique le principe de fonctionnement de la technique MIMO dans le cas où nous avons 3 antennes à l'émission et de même pour la réception ( $3 \times 3$ ).



**Figure II.5 :** Principe de fonctionnement de la technique MIMO [10]

Un changement majeur dans LTE-Advanced par l'introduction du système MIMO 8x8 dans le DL (DownLink) et 4x4 dans l'UL (UpLink).

La technique MIMO peut être utilisée lorsque S/N (rapport signal/bruit) est élevé. Pour les situations à faible S/N, il est préférable d'utiliser d'autres types de techniques multi-antennes, par exemple au moyen de TX-diversité (Figure II.6) [10].



**Figure II.6 :** MIMO est recommandé pour la haute S/N et la diversité TX est utilisée de préférence pour une faible S/N [10].

### II.3.2 Agrégation de porteuses

Pour répondre aux exigences de LTE-Advanced, l'utilisation d'une bande spectrale plus large que celle employée en LTE est nécessaire. Pour le moment la largeur de bande s'étend jusqu'à 20 MHz, ceci malheureusement, même avec l'amélioration réalisée au niveau de l'efficacité spectrale du

Le système ne permet pas d'atteindre le débit requis. Donc, la seule solution est d'introduire une extension sur la largeur de bande du canal.

Deux ou plusieurs supports de composants peuvent être agrégés pour soutenir la bande passante de transmission plus large jusqu'à 100 MHz, dont le concept d'agrégation de porteuses (CA : Carrier Agregation). Le déploiement du spectre peut être adjacents ou non.

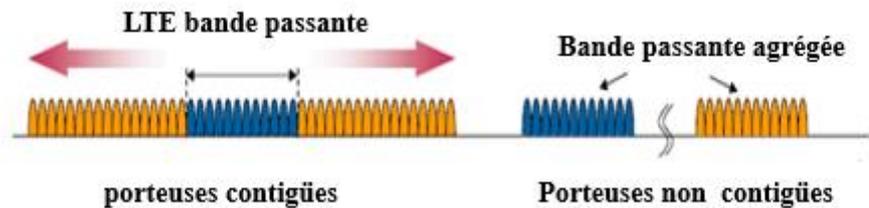


Figure II.7 : Agrégation de porteuses contigües et non contigües [9].

Le schéma ci-dessous présente un cas d'agrégation de porteuses à 5 CC (Composantes Contigües) adjacentes, et montre l'intérêt de ce concept dans le processus de migration vers LTE-Advanced, pouvant se passer d'une façon transparente en tenant la compatibilité des terminaux de LTE, où ces derniers exploitent une seule CC, alors que les terminaux LTE-Advanced bénéficient de ce qu'on appelle une transmission multi-CC. Cet exemple peut être généralisé pour le cas d'agrégation de porteuses à composantes non contigües [11].

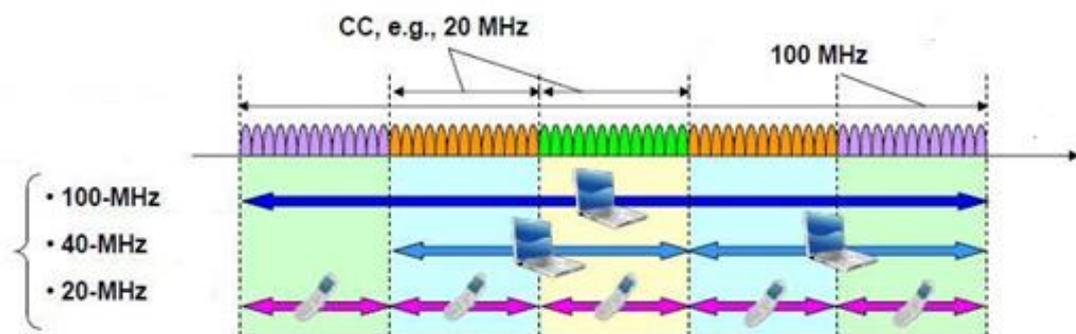


Figure II.8 : Agrégation de porteuses à 5 composantes contigües [9].

On peut déduire que chaque composante contigüe est considérée comme étant un canal du système LTE. Ainsi, chacune des composantes doit contenir tous les aspects de la couche 1.

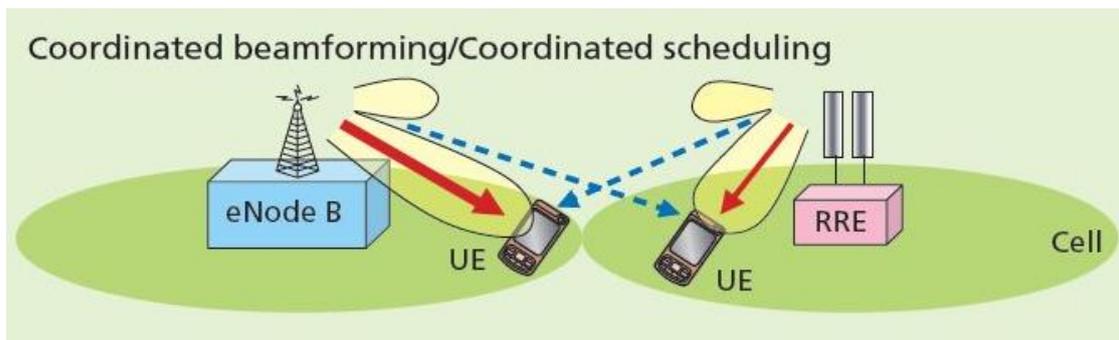
### II.3.3 Le Concept Coordinated multipoints (CoMP)

Le 4G LTE avancée CoMP (Coordonnée MultiPoint) est utilisé pour envoyer et recevoir des données vers et à partir d'une UE de plusieurs points afin d'assurer la performance optimale, même au niveau des bords de cellules.

### II.3.3.1 CB/CS (Coordinated BeamForming/Coordinated Scheduling)

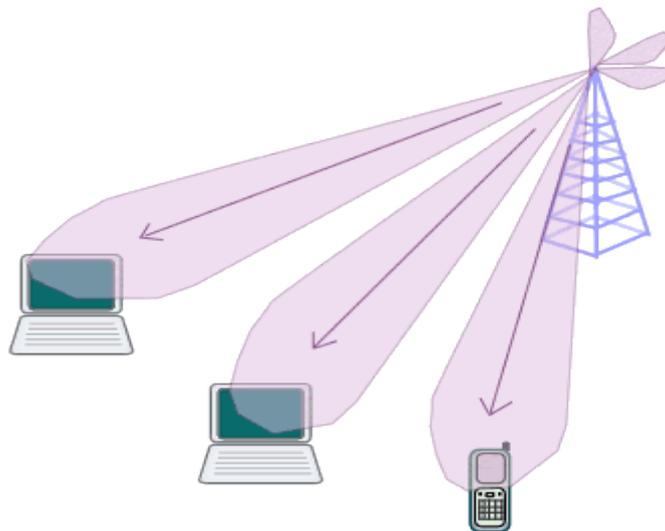
L'idée de ce mécanisme, est de mettre à jour les eNodeBs, de manière où elles négocient entre elles les vecteurs de formation de voies (ou BeamForming : BF) employés.

Les vecteurs de BF sont des pré-codeurs (un codeur employé pour pré-coder les symboles informations avant les transmettre), utilisé pour modifier la phase et orienter le lobe dans une direction privilégiée dans l'espace, de façon à réduire l'interférence entre les lobes provenant des autres stations de base (Figure II.9).



**Figure II.9:** Principe de Coordinated BeamForming/Coordinated Scheduling [12]

Auparavant, cette technique a été employée pour séparer spatialement les utilisateurs de la même cellule, en générant des flux de données séparés dans l'espace, appelés des couches, pour créer en fin une technique d'accès multiple appelée SDMA (Space Division Multiple Access) [12].



**Figure II.10 :** La technique SDMA (Space Division Multiple Access) [12].

### II.3.3.2 Joint Transmission (JT-CoMp)

Pour le cas de Coordinated Beamforming/Coordinated Scheduling (CB/CS), les informations sur l'état du canal d'un terminal mobile donné sont partagées entre toutes les cellules appartenant à

l'ensemble de coopération et l'information n'existe que dans la station de service. Par contre, dans le schéma de JT-CoMP, les données sont disponibles au niveau de toutes les stations et elle est transmise de façon jointe. Ainsi, le canal PDSCH est composé de plusieurs stations qui émettent simultanément [13].

### II.3.3.3 Dynamic Cell Selection : DCS pour le sens descendant

La sélection dynamique de cellule (Dynamic Cell Selection : DCS) ressemble à JT-CoMP. Le canal PDSCH est composé de toutes les stations constituant la zone de coopération, mais une seule station peut émettre sur une sous-trame (Sub-Frame SF).

La station active change dynamiquement, selon les états du canal de toutes les stations dans la zone CoMP. En le comparant d'un système non coopératif, où la transmission de données n'est qu'à travers la station de service, même si cette dernière présente un canal dégradé. La station master est celle qui décide le PDSCH actif, selon les informations reçues à travers le Backhaul [13].

La figure suivante montre les CoMP intra-Site et inter-Site ainsi que le Backhaul dans le cas d'un cluster de 9 cellules.

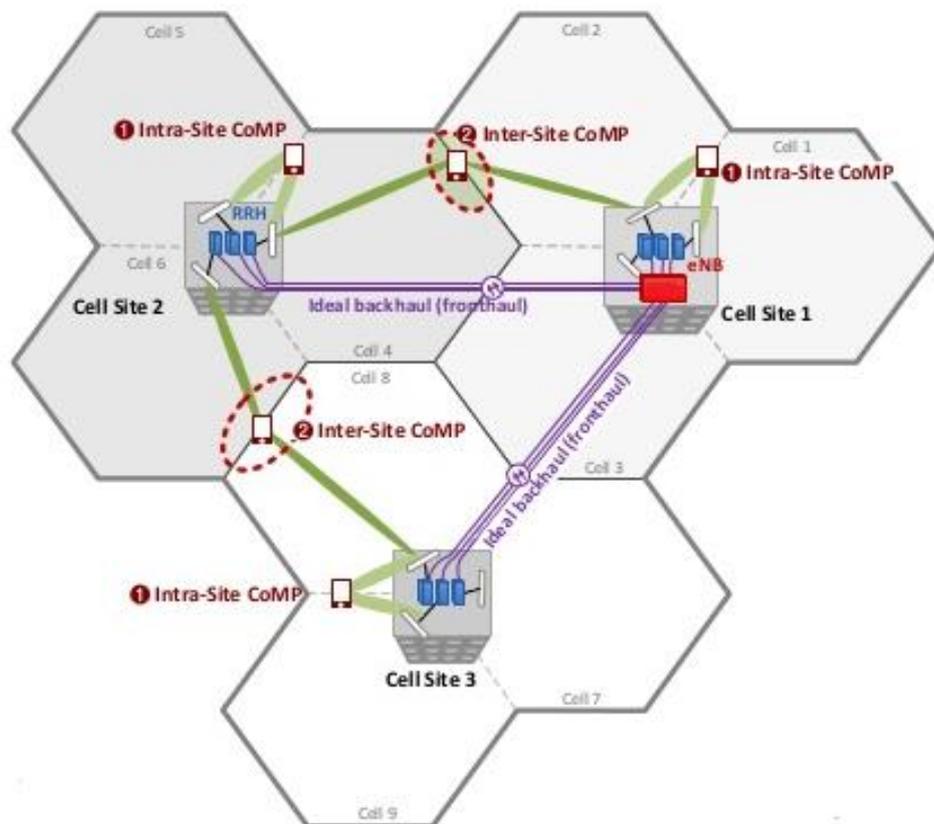


Figure II.11 : Les CoMP intra-Site et inter-Site ainsi que le Backhaul [12].

### II.3.4 Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatifs (AMC : Adaptive Modulation & Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Pour les transmissions DL en LTE-Advanced, l'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Indication) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Scheme), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil [14].

L'ensemble de modulation systèmes pris en charge pour la DownLink LTE-Advanced correspondant à : QPSK, 16-QAM, 64-QAM. La figure suivante représente la méthode d'application de la modulation et le codage adaptatifs AMC :

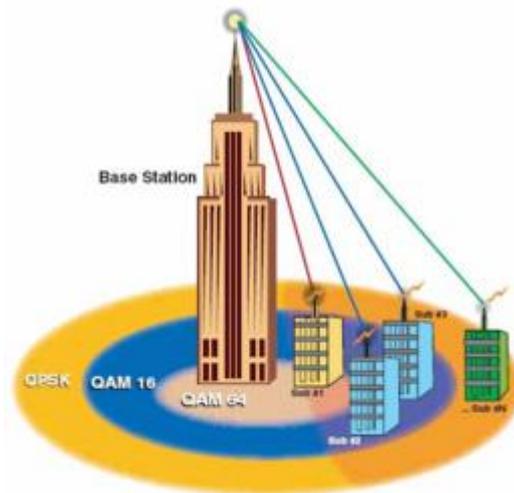


Figure II.12 : Méthode d'application de l'AMC [13].

### II.3.5 Structure des trames

Les transmissions sont organisées en trames radio d'une durée de 10 ms composée de 10 sous-trames (SubFrame SF) ; chacune de longueur 1 ms. La sous-trame elle-même se décompose en deux Slots.

Un Slot correspond à un ensemble de symboles de modulation, 7 pour le cas d'un préfixe cyclique de taille normale et 6 pour le cas d'un préfixe cyclique étendu. Deux approches ont été définies pour la structure de ces trames :

#### II.3.5.1 Structure de la trame générique

La trame générique est représentée par la figure suivante. Elle est composée de :

- 20 slots de 0.5 ms chacun, numérotés de 0 à 19
- 1 sub-frame = 2 slots successifs

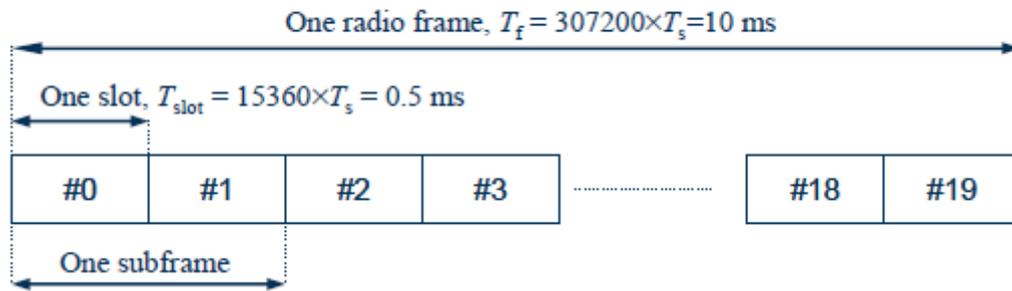


Figure II.13 : La structure de trame générique [14].

- ❖ **En FDD** : (Frequency Division Duplex) ou le duplexage en fréquence, La trame entière est alternativement dédiée au DL et à l'UL.

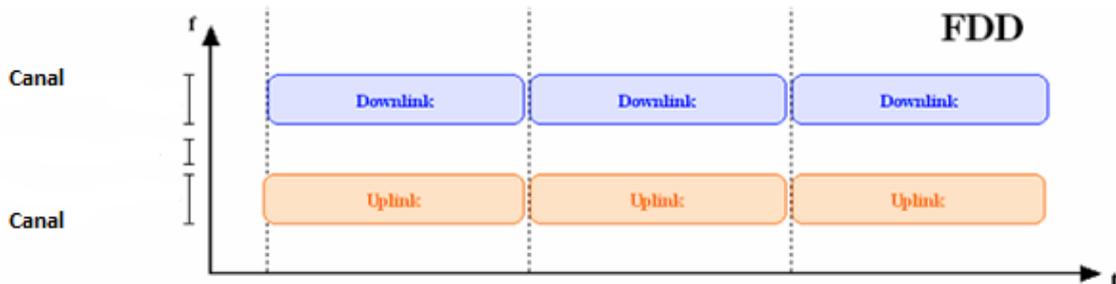


Figure II.14: Duplexage FDD (Frequency Division Duplex) [16].

- ❖ **En TDD** : (Time Division Duplex) ou duplexage en temps, une sub-frame est allouée au DL ou à l'UL de manière indépendante.

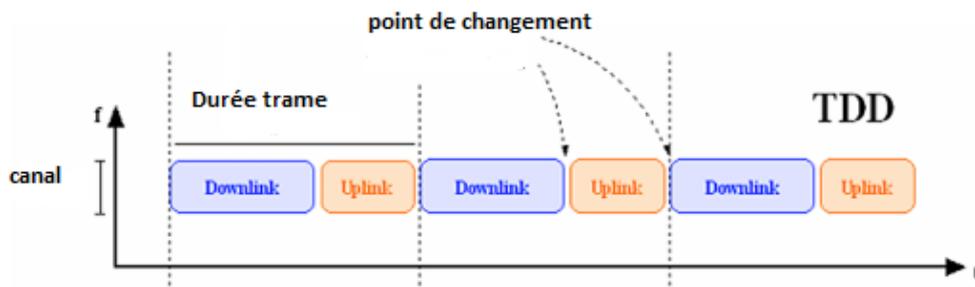


Figure II.15 : Duplexage TDD (duplexage en temps) [16].

### II.3.5.2 La structure de trame alternative

Dans la structure de trame alternative, 2 demi-trames identiques de 5 ms chacune, Une demi-trame est composée de (figure II .16):

- 7 slots de 0.675 ms, numérotés de 0 à 6,
- 3 champs spéciaux : DwPTS, GP, UpPTS,

- Le slot 0 et DwPTS sont réservés aux transmissions DL,
- Le slot 1 et UpPTS sont réservés aux transmissions UL,
- Chaque slot dispose d'un Time Slot Interval qui peut être utilisé comme Guard Period lors des passages des slots UL à DL et réciproquement.

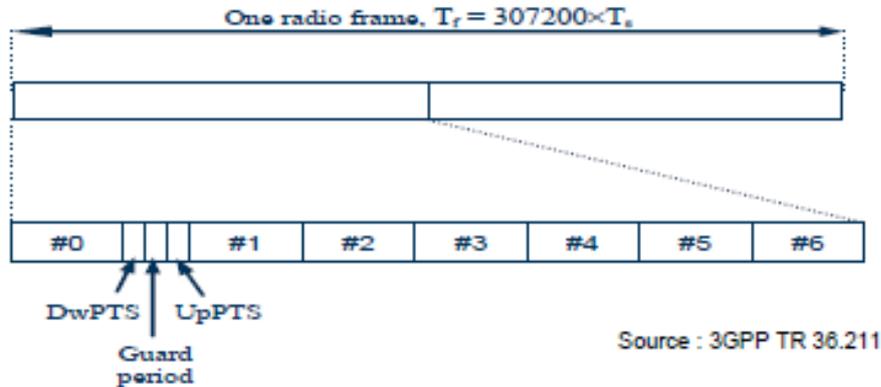


Figure II.16 : La structure de trame alternative [14].

### II.3.6 Concept de bloc de ressource

Le signal transmis dans chaque slot est décrit par une grille de ressources de  $N_{BW}$  sous-porteuses et de  $N_{symb}$  symboles OFDM.

Un bloc de ressources est défini par  $N_{symb}$  symboles OFDM consécutifs dans le temps et par  $N_{BW}=12$  sous-porteuses consécutives. Chaque élément de ressource identifié par ses indices fréquentiel  $k$  et temporel  $l$ , correspond à un symbole module à la valeur complexe  $a_{k,l}$  [13].

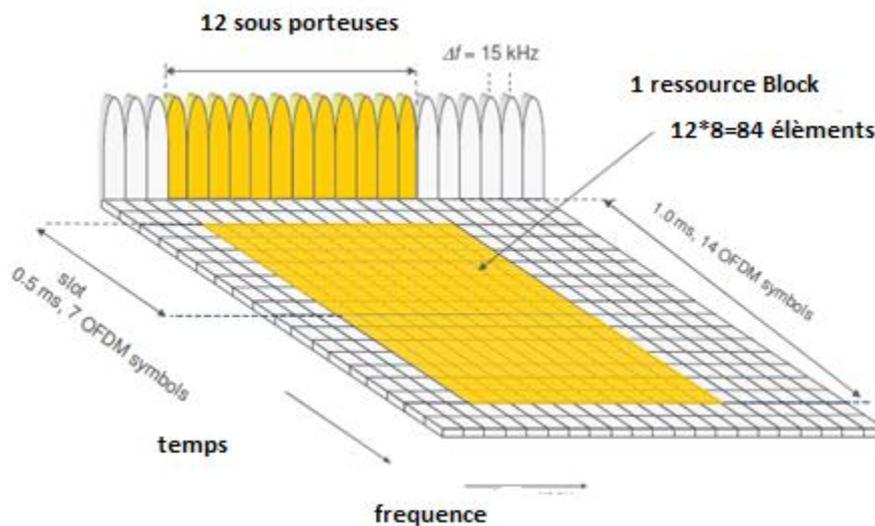


Figure II.17 : Bloc ressource [16].

Le nombre de symboles OFDM par slot dépend de la taille du préfixe cyclique configuré par les couches supérieures et il est donné dans le tableau ci-dessous.

Configuration	Structure générique	Structure alternative
CP normale	7	9
CP étendue	6	8

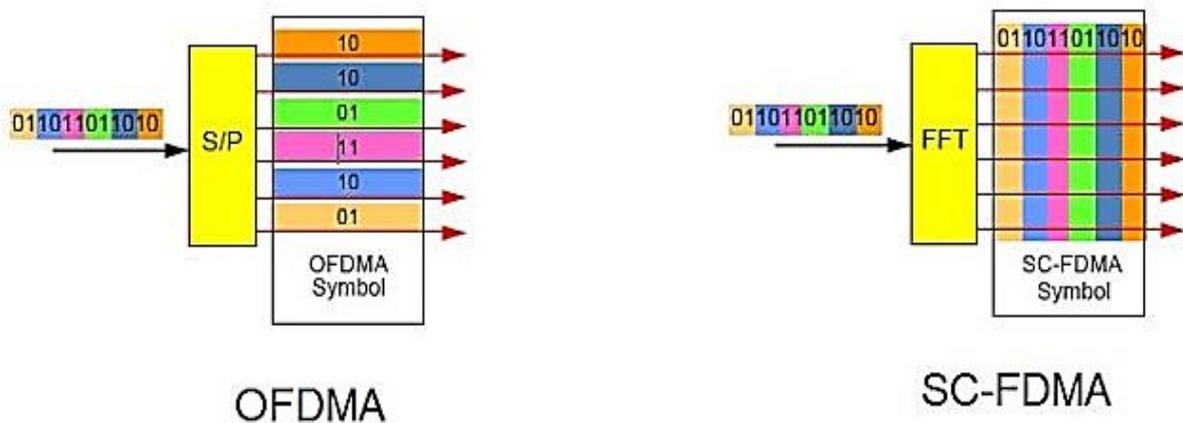
**Tableau II.1 :**  $N_{symb}$  par slot OFDM en fonction de préfixe cyclique

### II.3.7 Les techniques d'accès

Pour tout système radio mobile, il faut définir une technique d'accès qui permet une gestion des ressources radio disponibles. Pour les réseaux LTE-Advanced, la technique OFDMA est utilisée dans le sens descendant (DL) et la technique SC-FDMA est appliquée dans le sens montant (UL).

- ❖ **OFDMA** : est une extension de la technique de modulation OFDM pour permettre à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément sur un seul symbole OFDM. Cette technique d'accès est largement demandée dans les réseaux sans fils à large bande, car elle résout le problème de sélectivité en fréquence du canal, en le découpant en sous canaux de largeur inférieure à la bande de cohérence. Ainsi, l'information est transmise via plusieurs sous-porteuses orthogonales. Ces sous-porteuses sont générées grâce à l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), et leur nombre total qui dépend de la bande spectrale. L'espacement entre sous-porteuses en LTE est fixé à 15 KHz, et le symbole OFDM est celui constitué de la totalité des symboles informations transmis via les sous porteuses.
- ❖ **SC-FDMA** : C'est une technique d'accès similaire à l'OFDMA où les symboles de données du domaine temporel sont transformés au domaine de fréquence par DFT (Discret Fourier Transform). Cette transformation permet de répartir le SNR sur la totalité de la bande [13].

La figure II.18 montre la différence entre les deux méthodes d'accès OFDMA et SC-FDMA.



**Figure II.18 :** La différence entre OFDMA et SC-FDMA [13].

### II.3.8 Les canaux radio

Selon le type d'information véhiculée, on distingue les **canaux communs de contrôle** accessibles par tous les mobiles, les **canaux de signalisation** hors communication dédiés à un seul mobile et des **canaux de trafic** dédiés à un seul mobile [15].

La figure ci-dessus présente les différents canaux de transport, logiques et physiques dans le deux sens de transmission Downlink et Uplink.

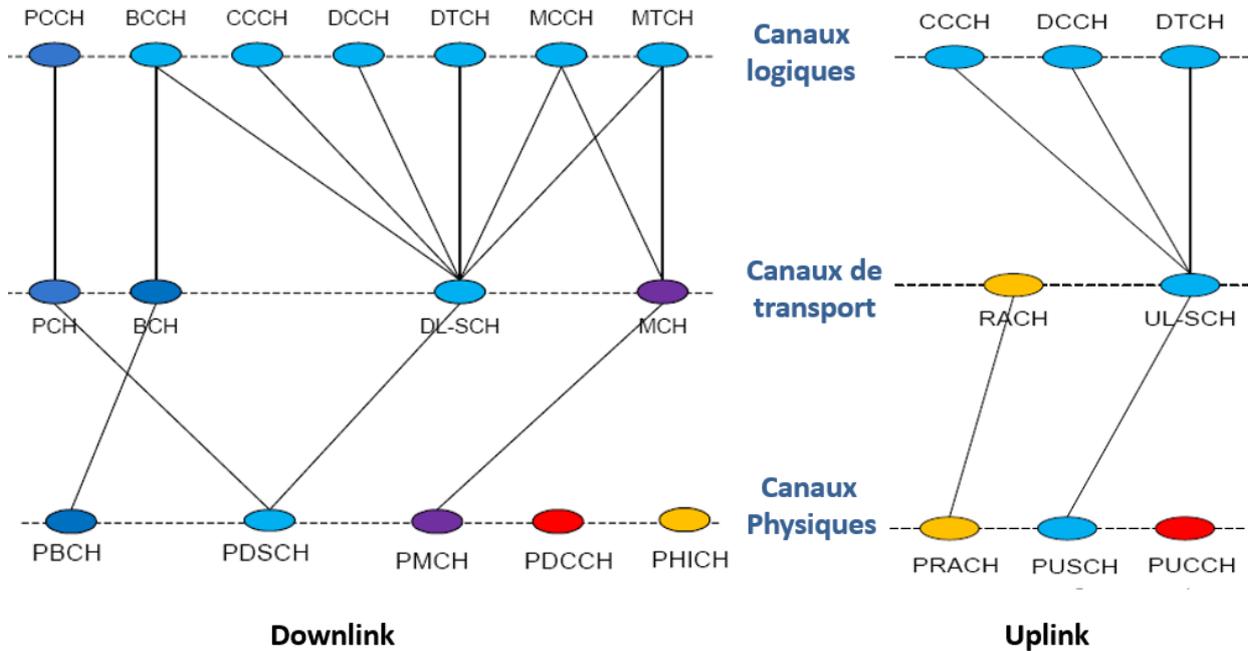


Figure II.19 : Les différents canaux radio dans LTE-A [15].

#### II.3.8.1 Les canaux logiques

Les canaux logiques correspondent aux services de transfert de données offert par les protocoles des couches hautes de l'interface radio.

Les canaux logiques de contrôles dans l'E-UTRAN sont :

- **BCCH** : est un canal DownLink, utilisé par le réseau pour le Broadcast des informations système de l'EUTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio.
- **PCCH** : est un canal DownLink qui transfère les informations de paging aux terminaux dans une cellule.
- **CCCH** : est utilisé pour la communication entre le terminal et l'E-UTRAN. Ce canal est typiquement utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication.
- **MCCH** : est utilisé pour la transmission des informations du réseau à plusieurs terminaux.

- **DCCH** : est un canal point-à-point bidirectionnel qui supporte les informations de contrôle entre un terminal donné et le réseau.

Les canaux logiques de trafic sont :

- **DTCH** : est un canal bidirectionnel. Il peut supporter la transmission des données utilisateurs tel que la signalisation.
- **MTCH** : est un canal de données point-à-multipoint pour la transmission de trafic de données du réseau à un ou plusieurs terminaux.

### II.3.8.2 Les canaux de transport

Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristique sont transférés à travers l'interface radio.

Les canaux de transport E-UTRAN en *DownLink* sont :

- **BCH** : est associé au canal logique BCCH.
- **DL-SCH** : qui est utilisé pour transporter le contrôle d'utilisateur ou le trafic data.
- **MCH** : qui est associé au MBMS pour le contrôle des informations de transport.

Les canaux de transport E-UTRAN en *UpLink* sont :

- **UL-SCH** : qui est l'équivalent du DL-SCH en UpLink.
- **RACH** : qui est un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication ou dans le cas de changement d'état.

### II.3.8.3 Les canaux physiques

Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux transport sur l'interface radio.

Les canaux physiques en *DownLink* sont :

- **PDSCH** : qui transporte les données usager et la signalisation des couches hautes.
- **PDCCH** : qui transport les assignations d'ordonnancement pour le lien montant.
- **PMCH** : qui transporte l'information Multicast/Broadcast.
- **PBCH** : qui transporte les informations système.
- **PCFICH** : qui informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH.

Les canaux physiques en *UpLink* sont :

- **PUSCH** : qui transporte les données utilisateur et la signalisation des couches hautes.
- **PUCCH** : qui transporte les informations de contrôle, comprends les répons ACK et NACK du terminal aux transmissions DownLink.
- **PRACH** : qui transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux [15].

## II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les caractéristiques de la technologie LTE-Advanced qui répond à des nouveaux besoin. Comme deuxième chapitre de notre mémoire, il a été primordial pour nous, de nous faire une idée sur les caractéristiques de la technologie LTE-Advanced qui répond à des nouveaux besoin. C'est dans cette optique qu'intervient ce chapitre. Nous avons présenté après une brève description de l'architecture générale du réseau LTE-A, les objectifs techniques et les caractéristiques de réseau de cœur (EPC) et de réseau d'accès E-UTRAN, ainsi que les principales techniques utilisées dans l'interface air du réseau LTE.

En effet, une bonne connaissance des architectures permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, qui leur permettent de fournir en même temps des services de bonne qualité. Le chapitre suivant focalise sur une présentation des processus de dimensionnement du réseau mobile LTE-Advanced.

## Chapitre III

Etude de dimensionnement du réseau  
d'accès E-UTRAN en LTE-A

### III.1 Introduction

La planification d'un réseau est une phase très importante dans son cycle de vie. Du fait, un opérateur doit se focaliser sur la planification, avant la mise en œuvre de son réseau, afin d'assurer un cout minimal de la liaison radio et de l'infrastructure du réseau, en tenant compte de la couverture radio et de la taille des cellules sous réserve de contraintes de la QoS, est d'estimer le nombre approximatif des sites nécessaires et le nombre des stations de base pour faciliter le travail des industriels et des opérateurs des réseaux de la 4G.

Dans ce chapitre, nous allons étudier le dimensionnement du réseau d'accès, appelé E-UTRAN en LTE-Advanced. Pour ceci, nous allons proposer une solution, inspirée de celles de Nokia Siemens Networks, de Motorola et de Huawei.

### III.2 Les étapes de planification dans l'E-UTRAN

La planification en LTE-Advanced, comme tout autre réseau cellulaire, est une tâche complexe, contenant un certain nombre d'étapes consécutives, dont l'output d'une certaine étape fournit l'input de l'étape suivante. Contrairement à ces antécédents, la planification de couverture et de capacité en LTE/LTE-A se font de façon conjointe, en une seule tâche, appelée dimensionnement.

Le processus entier peut se résumer en 4 grandes phases :

- **La pré-planification** : Nécessite la collecte des informations sur la zone de déploiement. on cite par exemple ; Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE (Noise Figure, MIMO, etc.), Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information démographiques, densité d'abonné, etc.), informations sur les abonnés de la zone (services demandés, trafic offert, etc.).
- **Le dimensionnement** : Comme son nom l'indique, il consiste à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées.
- **La planification détaillée** : Consiste à sélectionner les positions géographiques adéquates des sites, ainsi que les configurations nécessaires des antennes dans le but de maximiser la couverture et la qualité.
- **L'optimisation** : Un processus itératif de contrôle et de suivi afin de maintenir les exigences de QoS préétablis.

Dans le cadre de ce projet, nous allons nous intéresser à la phase de dimensionnement, qui consiste à déterminer le nombre des eNodeB requis, la capacité requise sur les interfaces X2 et S1. Cette étape fondamentale consiste principalement à [13] :

- Trouver une meilleure architecture cellulaire capable à garantir la qualité de service requise pour chaque service.
- Absorber totalement la charge : le réseau doit fournir les canaux nécessaires pour s'assurer que le trafic associé à chaque cellule soit absorbé et transporté.
- Garantir la couverture et la mobilité dans toute la zone de déploiement.

### III.3 Dimensionnement de l'eNodeB

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 ce nœud : un dimensionnement orienté capacité et un dimensionnement orienté couverture. La première tient compte des exigences en capacité et en trafic que doit être absorbé et transporté par le réseau et la deuxième tient compte des exigences en couverture. Finalement, le nombre des eNodeB serait le maximum du nombre issu des deux méthodes.

#### III.3.1 Planification orientée couverture

La solution proposée pour la planification orientée couverture se résume comme suite :

- Etablir le bilan de liaison radio pour aboutir à l'affaiblissement maximal de parcours (y compris le calcul de la sensibilité du récepteur)
- Choisir le modèle de propagation adéquat pour déterminer le rayon de la cellule.
- Calculer l'empreinte du site en se basant sur le rayon et la configuration.
- Déduire le nombre nécessaire de sites pour couvrir la surface de déploiement considérée

##### III.3.1.1 Bilan de liaison radio

###### a) Formule générale

Souvent, lorsqu'on veut planifier une liaison radio, pour toute application sans fil, la première question qui se pose est : Quelle est la distance maximale qui sépare l'émetteur et le récepteur ? Le premier pas à faire pour répondre à cette question est de déterminer l'affaiblissement maximal de parcours (ou MAPL : Maximum Allowable PathLoss), en passant par établir un bilan de liaison radio (RLB). Ce dernier est utilisé conjointement avec un modèle de propagation pour déduire la distance maximale pouvant séparer l'émetteur et le récepteur.

Pour un réseau cellulaire, la liaison sur l'interface radio est bidirectionnelle, car on a un sens montant et un sens descendant, d'où il semble nécessaire d'établir un double bilan de liaison pour UL et DL [16].

Commençons par l'expression de la puissance reçue en fonction de la puissance émise :

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} + G_{Rx} - L_{Rx} - PL - PM \tag{III.1}$$

Paramètre	Définition	Unité
$P_{Rx}$	Puissance reçue	dBm
$P_{Tx}$	Puissance émise	dBm
$G_{Tx}$	Ensemble des gains introduits au niveau de l'émetteur	dBi
$L_{Tx}$	Ensemble des pertes introduites au niveau de l'émetteur	dB
$G_{Rx}$	Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur	dBi
$L_{Rx}$	Ensemble des pertes introduites au niveau du récepteur	dB
$PL$	Affaiblissement de parcours	dB
$PM$	Marges de planification	dB

Tableau III.1 : Paramètres du bilan de liaison radio.

Si on se place dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue correspond donc à la sensibilité du récepteur. L'équation (III.1) peut ainsi être reformulée

$$MAPL = PIRE - RefSens - L_{Rx} + PM \tag{III.2}$$

Nous allons maintenant traiter les paramètres de l'équation (III.2) un par un.

- **MAPL (Maximum Allowable PathLoss)** : L'affaiblissement maximal de parcours, exprimé en dB. C'est le paramètre dont on désire y aboutir à travers l'établissement d'un bilan de liaison, il s'exprime en dB.
- **PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)** : ou EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power), est la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope. Elle est exprimée en dB, sous la formule suivante :

$$PIRE = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} \tag{III.3}$$

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/clé USB/tablette) $L_{other}$ : Autres pertes liées à l'UE.

Tableau III.2 : Paramètres pour le calcul de la PIRE

*RefSens* : désigne la sensibilité de référence du récepteur, elle s'exprime en dB. Physiquement, ce paramètre correspond à la puissance minimale de réception, au-dessous de laquelle il y'a rupture du lien radio. Elle est donnée par la formule (III.4).

$$RefSens = 10 \log_{10}(K.T.B_{Rx}) + SINR_{req} + NF + IM - G_{Rx,d} \quad (III.4)$$

Paramètre	Description
$K$	Constante de Boltzmann ( $1.388062 \times 10^{-23}$ )
$T$	Température ambiante en (K)
$B_{Rx}$	La largeur de bande de réception : elle dépend du nombre de blocs de ressources requis, et la largeur d'un bloc de ressources.
$SINR_{req}$	La valeur de SINR requise au récepteur : dépend de $B_{Rx}$ , du débit d'information requis, schéma CoMP, MIMO, etc. Déduite à partir des simulations du lien <sup>12</sup>
$NF$	NF Noise Figure (dB) : dépend du mode de duplexage et l'écart duplex.
$IM$	Marge d'implémentation (dB) : dépend du constructeur, elle tient compte des erreurs résiduelles dans l'étage RF du récepteur (erreurs d'échantillonnage, quantification, etc.)
$G_{Rx,d}$	Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du type de récepteur <sup>13</sup> et du nombre d'antennes : $G_{Rx,d} = 10. \log_{10} N_R$

Tableau III.3 : Paramètres pour le calcul de la sensibilité de réception

b) Calcul de la sensibilité du récepteur :

Le calcul de la sensibilité n'est pas évident, il est complexe et passe par plusieurs étapes, dans cette partie, on va déterminer  $B_{Rx}$  et  $SINR_{req}$  de l'équation (III.4)

❖ **Détermination de la bande de réception  $B_{Rx}$  :**

$$B_{Rx} = N_{PRB,req} \cdot BW_{PRB} = N_{PRB,req} \cdot 12 \cdot \Delta F = 180_{KHz} \cdot N_{PRB} \quad (III.5)$$

Avec  $N_{PRB,req}$  et  $BW_{PRB}$  sont respectivement le nombre de PRB (Physical Resource Block) requis et la largeur de bande d'un PRB.  $\Delta F = 15$  KHz désigne l'espacement entre sous-porteuses. Etant sur la bordure de la cellule (où la puissance reçue doit être supérieure ou égale à la sensibilité), et pour déterminer  $N_{PRB,req}$  , nous devons tout d'abord fixer :

- **Débit d'information requis sur les bordures de la cellule** : il dépend du service à planifier et garantir. On le note :  $R_{service}$  [bits/s].
- **BLER (Block Error Rate) (%)** : Le taux d'erreur par bloc à planifier sur les bordures de la cellule, il dépend du type de service à planifier et garantir. On le note :  $BLER_{traget}$ .
- **MCS index (Modulation & Coding Scheme)** : La technique de modulation et de codage optimale. L'index prend une valeur de 0 à 28. En fait, chaque MCS index doit se référer à une modulation ayant b bits/symbole et un codage de rendement  $R$ .
- **Le Coût système (System OverHead) (%)** : on va le noter SOH, présente le pourcentage des ressources consommées par le système parmi la totalité des ressources.

Par conséquent,  $N_{PRB,req}$  est donné par la formule (III.6) :

$$N_{PRB,req}^{xl} = E \left\{ \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{xl} \cdot (1 + SOH^{xl})}{(100\% - BLER_{target}^{xl}) \cdot R^{xl} \cdot b^{xl} \cdot CP_i \cdot 12} \right\} + 1 \quad (III.6)$$

Où :

- l'indice  $x$  mentionne UL/DL
- $CP_i$  donne le nombre de RE par TTI (égal à 7 pour un préfixe cyclique normal et 6 pour un préfixe cyclique étendu)
- $E \{ \}$  la partie entière.

Le débit d'information réellement demandé s'écrit sous la forme :

$$R_{réel} = \frac{R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{target}^{DL})} \text{ [bits/sec]} \quad (III.7)$$

Ensuite, on doit rappeler qu'un symbole de modulation nécessite un RE (élément ressource), et qu'un TTI égal à 1 ms dans le domaine temporel. On peut aboutir à la taille de block de transport TBS (Transport Block Size : nombre de bits/utilisateur/TTI)

$$TBS = \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{target}^{DL})} \text{ [bits/TTI]} \quad (III.8)$$

Puis, on aboutit au nombre de RE requis  $N_{RE,req}$  :

$$N_{RE,req} = \frac{10^{-3} \cdot R_{Service}^{DL} \cdot (1 + SOH^{DL})}{(100\% - BLER_{target}^{DL}) \cdot R^{DL} \cdot b^{DL}} \text{ [RE]} \quad (III.9)$$

Il suffit maintenant de trouver le nombre PRB requis. Pour se faire on rappelle que le nombre de RE par PRB est égal à  $CP_i \times 12$ , avec  $CP_i = 7$  lorsque le préfixe cyclique est normal, et  $CP_i = 6$  lorsque le préfixe cyclique est étendu. D'où on peut retrouver le nombre de PRB requis en passant par la formule (III.6)

#### ❖ Détermination du SINR requis :

Ce paramètre traduit la performance du système, en d'autres termes, plus cette valeur de SINR requis est faible, plus le système n'est performant. Pour déduire la valeur, nous allons proposer deux solutions :

La première consiste à exploiter les résultats de la simulation de lien (Link Level Simulation), car la mise en place d'une formule explicite faisant intervenir tous les facteurs, semble complexe. Le simulateur de lien permet de court-circuiter des lourdes étapes de calcul, en fournissant des outputs sous formes de courbes

Une deuxième solution consiste à l'approximation par la formule d'alpha-Shannon :

$$\eta = \eta_{BW} \cdot \log_2(1 + \eta_{SINR} \cdot SINR) \quad (III.10)$$

Avec  $\eta$ ,  $\eta_{BW}$  et  $\eta_{SINR}$  représentent respectivement l'efficacité spectrale, l'efficacité de la bande et l'efficacité de SINR. Ainsi, le débit théorique maximal est donné par :

$$R = B_{Rx} \cdot \eta = B_{Rx} \cdot \eta_{BW} \cdot \log_2(1 + \eta_{SINR} \cdot SINR) \quad (III.11)$$

Donc, 
$$SINR = \frac{1}{\eta_{SINR}} \cdot (2^{\frac{R}{B_{Rx} \cdot \eta_{BW}}} - 1) \quad (III.12)$$

et puis on peut déduire que :

$$SINR_{req} = 10 \cdot \log_{10}(SINR) \quad (III.13)$$

Le tableau suivant représente les valeurs de SINR minimale pour les modulations QPSK1/2, 16QAM4/5 et 64 QAM6/7.

MCS	SINR requis (dB)
QPSK 1/2	1.5
16QAM 2/3	11.50
64QAM 5/6	18.5

**Tableau III.4 : SNR min en fonction de la modulation**

#### c) Les marges :

Après avoir calculé la sensibilité du récepteur et la PIRE dans les sections précédentes, la question qui se pose maintenant : Est-ce qu'on peut calculer l'affaiblissement de parcours maximum ? On doit répondre immédiatement par 'non'. Car, il est indispensable de comptabiliser un ensemble de marges de sécurité, qui correspondent à l'environnement radio.

#### ❖ Marge de pénétration :

L'UE peut être en visibilité directe avec la station de base (LOS : Line Of Sight) ou peut ne pas être en visibilité directe (NLOS : Non Line Of Sight). Dans le deuxième cas, on parle d'un utilisateur situé à l'intérieur d'un bâtiment, ou dans une zone à haute densité de bâtiment, ou à l'intérieur d'un véhicule. Par conséquent, on distingue 4 types de couverture : *Outdoor*, *indoor*, *deep indoor* et *incar*. Chacune de ces dernières est caractérisée par une marge de pénétration qui comptabilise les pertes additionnelles introduites.

Cette marge est assimilée à une variable aléatoire Gaussienne, le meilleur moyen de déterminer sa valeur, consiste à prendre des mesures expérimentales depuis la zone concernée. Généralement, elle prend une valeur autour de 20 dB ou plus pour la perte des bâtiments (notée BL), et une valeur autour de 8 dB pour la perte des véhicules (notée VL) [17].

## ❖ Marge de Shadowing :

Le Shadowing, ou l'effet de masque. Ce phénomène est dû aux obstacles qui existent dans milieu de propagation radio, tel que les bâtiments et la morphologie du terrain. Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur aléatoire Gaussienne de moyenne nulle et de variance qui dépend de la densité de l'environnement.

Généralement, la marge de Shadowing (notée SM) est fixée à 5.4 dB [17].

## ❖ 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 importante. 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 :

$$IM_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{SNR}{SINR} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{I + N_{th} \cdot B_{Rx}}{N_{th} \cdot B_{Rx}} \right) \quad (III.14)$$

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... [17].

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.5 :  $IM_{dB}$  en fonction de la charge de la cellule [16].

## ❖ Marge de planification :

La marge de planification (PM) qui figure dans l'équation (III.2), est utilisée pour le calcul de l'affaiblissement maximum de parcours (MAPL). Elle n'est autre que la somme de toutes les marges de sécurité prises en compte. Elle est nécessaire pour équilibrer le bilan de liaison radio. Pour enfin aboutir à une valeur de MAPL, valable pour la planification [17].

- couverture indoor/ deep indoor  $PM = IM + SM + BL$
- couverture incar  $PM = IM + SM + VL$
- couverture Outdoor  $PM = IM + SM$ .

## III.3.1.2 Modèle de propagation RF

Un modèle de propagation RF est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre l'émetteur et le récepteur. Cette formule dépend de plusieurs facteurs, à savoir :

- La fréquence de l'onde.
- La distance parcourue par l'onde.
- Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception.
- Type de terrain (morphologie).
- Clutter (caractéristiques et densité des bâtiments), etc.

Dans le but d'estimer la valeur de l'atténuation de parcours, on fait recours à un modèle de propagation. Il existe une multitude de modèles de prédiction de propagation dans le monde des télécommunications, dont on va citer quelques-uns dans cette section [17].

## a) Propagation en espace libre

Ce modèle peut être considéré comme étant le point de départ pour tout autre modèle dont l'affaiblissement de parcours en espace libre (Free Space) est égal à la perte générée lorsque le signal traverse un milieu de propagation vide[17].

$$L_{FS} = 10. \log_{10} \left[ \left( \frac{4.\pi.d.F}{c} \right)^2 \right] = 20. \log_{10} \left[ \frac{4.\pi.d.F}{c} \right] \quad (\text{III.15})$$

Avec  $d$ ,  $F$  et  $c$  sont respectivement la distance parcourue, la fréquence et la célérité de la lumière.

## b) Modèle COST-231 Walfisch-Ikegami

Ce modèle est utilisé pour les environnements urbains et sous-urbains. Il a été initialement conçu pour des fréquences inférieures à 2 GHz, mais il peut être étendu pour atteindre des fréquences jusqu'à 6 GHz. Selon ce modèle, l'expression du PathLoss peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaire, comme suit :

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd} \quad (\text{III.16})$$

Avec :

$L_0$ : Propagation en espace libre	$L_0 = 32.4 + 20 \log_{10}(d \cdot F)$ <p><math>d</math>: distance en Km  <math>F</math>: Fréquence en MHz</p>
$L_{rst}$ : perte de diffraction du toit vers la rue.	$L_{rst} = -19.9 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(F) + 20 \log_{10}(h_m) + L_{ori}, \text{ si } h_m < h_{roof}$ <p><math>L_{rst} = 0</math>, sinon</p> <p><math>w</math>: largeur de la rue en m.  <math>F</math>: Fréquence en MHz  <math>h_m</math>: Hauteur du mobile.  <math>h_{roof}</math>: Hauteur du toit du bâtiment.</p> <p><math>L_{ori}</math>: facteur de correction prenant en compte l'orientation de la rue.</p> $L_{ori} = -10 + 0.354 \varphi, \text{ si } \varphi \in [0,35]$ $L_{ori} = 2.5 + 0.075 (\varphi - 35), \text{ si } \varphi \in [35,55]$ $L_{ori} = 4.0 - 0.0114 (\varphi - 55), \text{ si } \varphi \in [55,90]$ <p>Avec <math>\varphi</math> est l'angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue.</p>
$L_{msd}$ : perte par diffraction multi-masques.	$L_{msd} = L_{beh} \cdot k_a \cdot k_d \cdot \log_{10}(d) + k_f \cdot \log_{10}(F) - 9 \log_{10}(b)$ <p>Avec :</p> $L_{beh} = -18 \log_{10}(1 + (h_b - h_{roof})),$ <p>si <math>h_b &gt; h_{roof}</math></p> $L_{beh} = 0$ , sinon <p><math>h_b</math>: Hauteur de la station de base en m.  <math>k_a = 54</math>, si <math>h_b &gt; h_{roof}</math>  <math>k_a = 0</math>, sinon  <math>k_d = 18</math>, si <math>h_b &gt; h_{roof}</math>  <math>k_d = 18 - 15 \cdot (h_b - h_{roof})/h_{roof}</math>, sinon  <math>k_f = -4 + 0.7 \left( \frac{F}{925} - 1 \right)</math>, pour les sites de taille moyenne.  <math>k_f = -4 b + 1.5 \left( \frac{F}{925} - 1 \right)</math>, pour les centres métropolitains.</p> <p><math>Et_b</math> désigne la séparation entre bâtiments en m.</p>

Tableau III.6: Modèle COST-231 Walfisch-Ikegami [17].

## c) Modèle Okumura-Hata :

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, il prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous urbain, rural).

L'affaiblissement selon ce modèle est donné par :

Urbain	$L_u = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(d)$ <p>Avec <math>a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7] \cdot h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]</math></p>
Urbain dense	$L_u = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(d)$ <p>Avec <math>(h_m) = 8.29 [\log_{10}(1.54 h_m)]^2 - 1.1</math> , pour <math>F \leq 400</math> MHz  <math>a(h_m) = 3.2 [\log_{10}(11.75 h_m)]^2 - 1.1</math> , pour <math>F \geq 400</math> MHz</p>
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2 [\log_{10}(\frac{F}{28})]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ <p>Où <math>\alpha = 35.94</math> , si la zone est rurale quasi-ouverte.  <math>\alpha = 40.94</math> , si la zone est rurale ouverte</p>

Tableau III.7 : Modèle Okumura-Hata [17].

$F \in [150,1000]$  Désigne la fréquence en MHz.

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

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

$d \in [1,20]$  Désigne la distance en Km

## d) Modèle COST-231 Hata :

Compte tenu que le modèle Okumura-Hata opère uniquement pour une plage de fréquence inférieure à 1000 MHz, le groupe COST 231 a proposé de modifier ce modèle pour créer un autre opérant sur la bande 1500-2000 MHz dans les zones urbaines, puis l'ajuster, en ajoutant des termes correctifs pour tous les autres environnements (sous urbain, urbain dense et rural).

Urbain	$L_u = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ <p>Avec <math>a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]</math></p>
Urbain dense	$L_u = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d) + 3$ <p>Avec <math>a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]</math></p>
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2 [\log_{10}(\frac{F}{28})]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ <p>Où <math>\alpha = 35.94</math> , si la zone est rurale quasi-ouverte.  <math>\alpha = 40.94</math> , si la zone est rurale ouverte</p>

Tableau III.8 : Modèle COST-231 Hata [17].

e) Modèle Erceig Greenstein :

Le modèle Erceig Greenstein est un modèle empirique développé pour les applications sans fil large bande. Le groupe qui l'a développé, a remarqué que le modèle d'Okumura-Hata n'est pas convenable pour les zones boisées et montagneuses, c'est pour cette raison qu'ils ont créé un modèle valable pour trois différents types de terrain A, B et C (voir tableau III.9).

$$L = 20 \log_{10}(\frac{4\pi d_0 F_{Hz}}{c}) + 10\gamma \log_{10}(\frac{d}{d_0}) + X_f + X_h \tag{III.17}$$

Avec

$d_0 = 100$  mètres,  $d$  distance en mètres.

$$\gamma = a - bh_b + c/h_b.$$

$$X_f = 6 \log_{10}(\frac{F_{MHz}}{2000}).$$

$$X_h = -10.8 \log_{10}(\frac{h_m}{2}), \text{ pour les terrains de type A et B.}$$

$$X_h = -20 \log_{10}(\frac{h_m}{2}), \text{ pour les terrains de type C.}$$

Type de terrain	Description	A	B	C
A	Montagneux avec une lourde densité d'arbres	4.6	0.0075	12.6
B	Vallonné avec une densité modérée d'arbres	4	0.0065	17.1
C	Terrain plat avec faible densité d'arbres	3.6	0.005	20

Tableau III.9 : Paramètres de terrain pour le modèle Modèle Erceig-Greenstein [17].

### III.3.1.3 Calcul du nombre de site en se basant sur le bilan de liaison

Après avoir calculé l'affaiblissement de parcours maximum (MAPL) par l'établissement d'un bilan de liaison équilibré, on peut déterminer le rayon de la cellule en utilisant le modèle de propagation adéquat. En effet, lorsque l'affaiblissement de parcours est égal à sa valeur maximale, la distance parcourue est égale au rayon de la cellule  $R_{cell}$  [16].

On va prendre un exemple pour bien comprendre le principe. On suppose qu'on est dans un environnement urbain, qu'on va y appliquer le modèle Okumura-Hata. Selon le tableau (III.7), on obtient :

$$MAPL = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(R_{cell}) \quad (III.18)$$

$$R_{cell} = 10^{\frac{MAPL - 69.55 - 26.16 \log_{10}(F) + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m)}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]}} \quad (III.19)$$

Une fois le rayon de la cellule  $R_{cell}$  est calculé (dans cet exemple le modèle choisi est Okumura-Hata, donc l'unité est le Km), on peut calculer la superficie de couverture de la cellule (appelée empreinte du site), qu'on note  $S_{cell}$ . Cette dernière, dépend bien du nombre de secteurs par site, qu'on va noter  $N_{secteur}$  [13].

Nombre de secteur par site	Empreinte
<b>1</b>	$S_{cell} = 2.6 \times R_{cell}^2$
<b>2</b>	$S_{cell} = 1.3 \times 2.6 \times R_{cell}^2$
<b>3</b>	$S_{cell} = 1.95 \times 2.6 \times R_{cell}^2$

**Tableau III.10** : Empreinte du site en fonction du nombre de secteur [16].

Après la détermination de l'empreinte du site, et tout en disposant de la superficie totale de la zone de déploiement ( $S_{déploiement}$ ), on peut enfin aboutir au nombre de sites demandés pour la couverture,  $N_{couverture}$ , à l'aide la formule (III.20).

$$N_{couverture} = E \left( \frac{S_{déploiement}}{S_{cell}} \right) + 1 \quad (III.20)$$

On fait le calcul pour la liaison montante et la liaison descendante. Ensuite, il faut choisir le plus grand, pour s'assurer que les deux liaisons soient équilibrées.

$$N_{couverture}^{DL} = E \left( \frac{S_{déploiement}}{S_{cell}^{DL}} \right) + 1 \quad (III.21)$$

$$N_{couverture}^{UL} = E \left( \frac{S_{déploiement}}{S_{cell}^{UL}} \right) + 1 \quad (III.22)$$

$$N_{couverture} = \text{Max}(N_{couverture}^{DL}, N_{couverture}^{UL}) \quad (\text{III.23})$$

### III.3.2 Planification orientée capacité

L'objectif de la planification orientée capacité est de déterminer le nombre de sites nécessaires pour 'absorber' le trafic offert par les abonnés situés dans la zone de déploiement. Cette phase fait appel essentiellement à ces paramètres clés :

- La capacité de la cellule dans le sens montant et le sens descendant : calculée à partir des paramètres systèmes et l'efficacité spectrale du système.
- Le volume de trafic généré par les abonnés de la zone de déploiement : déterminé à travers le nombre d'abonnés dans la zone et le trafic offert par abonné.

Dans cette section nous allons calculer le coût système, ou le System OverHead comme étant un paramètre très important, pouvant nous servir pour le calcul de la capacité de la cellule, puis nous allons calculer la capacité de la cellule, ensuite nous allons mettre en place un modèle de trafic standard et finalement nous allons établir une formule permettant le dimensionnement orienté capacité [13].

#### III.3.2.1 Calcul de l'efficacité de la bande spectrale

Comme tout système de communication sans fil large bande, LTE-A promet de délivrer des débits élevés pour UL et DL, grâce à une efficacité spectrale améliorée et la largeur de bande disponible (par agrégation de porteuses). Ce paragraphe va discuter les facteurs agissant quantitativement et qualitativement sur la bande spectrale allouée au système. En effet, la capacité de la cellule à desservir des abonnés dépend de la quantité des ressources réservées au canal physique PDSCH/PUSCH.

Nous allons nous pencher sur le calcul de l'efficacité de la bande en LTE-A pour le sens montant et descendant, qu'on va noter respectivement  $\eta_{BW}^{UL}$  et  $\eta_{BW}^{DL}$ . Raison de simplification, les pertes de l'étage RF et les pertes dues à l'insertion du préfixe cyclique, sont à négliger par rapport aux pertes dues aux canaux et signaux physiques. Il faut mettre en relief que l'efficacité de la bande et le coût système, sont deux paramètres complémentaires, autrement dit :

$$\eta_{BW}^{xl} = 1 - SOH^{xl} \quad (\text{III.24})$$

#### ❖ Coût des signaux de référence RS pour UL/DL

Nous allons le noter  $SOH_{RS}^{DL}$  et  $SOH_{RS}^{UL}$  respectivement pour le DL et l'UL. Le signal de référence occupe un certain nombre d'éléments ressources (RE) par bloc de ressources (PRB) pour servir dans

l'estimation de canal. La densité des RE alloués ne dépend que de la configuration MIMO et la longueur du préfixe cyclique. La densité des signaux de référence en DL (CSI-RS) peut être résumée dans le tableau suivant :

Nombre d'antenne à l'eNodeB $N_{bs}$	RE de RS / PRB $N_{RS/PRB}^{DL}$
1	4
2	8
4	12
8	20

Tableau III.11 : Densité des RS en fonction de la configuration MIMO

$$SOH_{RS}^{DL} = \frac{N_{RS/PRB}^{DL}}{Cp_i \times 12} \quad (III.25)$$

$$SOH_{RS}^{UL} = \frac{12}{12 \times Cp_i} \times SOH_{PUCCH}^{UL} = \frac{1}{Cp_i} \times SOH_{PUCCH}^{UL} \quad (III.26)$$

#### ❖ Canaux de synchronisation pour DL : PSS et SSS

Les canaux PSS et SSS occupent ensemble deux fois 72 RE pendant chaque trame radio. Ainsi, l'OverHead relatif à ces signaux correspond au rapport entre le nombre de RE alloués à ces signaux et le nombre total des RE dans la trame radio de 10 ms, et il est donné par l'équation ci-dessous

$$SOH_{PSS/SSS}^{DL} = \frac{72 \times 2}{N_{PRB}^{totale} \times 12 \times 20 \times Cp_i} \quad (III.27)$$

#### ❖ Le coût du canal PBCH pour DL

Ce canal est transmis durant 4 trames radio de 10 ms consécutives et il occupe 6 PRB, soit 72 sous-porteuses. D'où :

$$SOH_{PBCH}^{DL} = \frac{72 \times 4}{N_{PRB}^{totale} \times 12 \times 20 \times Cp_i} \quad (III.28)$$

#### ❖ PDCCH, PCFICH et PHICH pour le DL (appelé L1/L2 OverHead)

Ces canaux sont susceptibles à occuper les trois premiers symboles, du domaine temporel, de chaque TTI.

$$SOH_{L1/L2}^{DL} = \frac{12 \times 3 - N_{RS/PRB}^{DL}}{12 \times 2 \times Cp_i} \quad (III.29)$$

#### ❖ PRACH pour UL

PRACH transporte le préambule d'accès aléatoire, il occupe 6 PRB de chaque trame radio de 10 ms. L'emplacement de ces PRB, dépend principalement de deux paramètres de la couche RRC, qui

sont : PRACH Configuration Index (pour la détermination de la densité de RACH, autrement dit le nombre de symboles dans le domaine fréquentiel que peut occuper un préambule d'accès aléatoire. Son valeur s'étend de 1 à 4) et PRACH Frequency offset (pour le positionnement dans le domaine fréquentiel).

$$SOH_{PRACH}^{UL} = \frac{6 \times RACH_{Densité}}{N_{PRB}^{totale} \times 12 \times 20 \times Cp_i} \quad (III.30)$$

#### ❖ PUCCH pour UL

L'OverHead du canal PUCCH, est défini comme étant le rapport entre le nombre de PRB réservés pour ce canal et le nombre total des PRB dans le domaine fréquentiel par TTI. Le tableau ci-dessous indique le nombre de PRB alloués pour différents largeurs de bande.

$$SOH_{PUCCH}^{UL} = \frac{N_{PRB,PUCCH}}{N_{PRB}^{total}} \quad (III.31)$$

Largeur de bande du canal (ou largeur CC)	$N_{PRB,PUCCH}$
1.4 MHz	1
3.0 MHz	2
5.0 MHz	2
10.0 MHz	4
15.0 MHz	6
20.0 MHz	8

**Tableau III .12 : Nombre de PRB alloués au canal PUCCH**

On obtient ainsi l'OverHead du système par CC, car chaque CC est censé contenir tous les canaux physiques, pour qu'elle garde la compatibilité LTE/LTE-Advanced.

$$SOH^{UL} = SOH_{RS}^{UL} + SOH_{PRACH}^{UL} + SOH_{PUCCH}^{UL} \quad (III.32)$$

$$SOH^{DL} = SOH_{RS}^{DL} + SOH_{PSS/SSS}^{DL} + SOH_{PBCH}^{DL} + SOH_{L1/L2}^{DL} \quad (III.33)$$

Et en fin,  $\eta_{BW}^{UL}$  et  $\eta_{BW}^{DL}$  sont obtenus à l'aide de l'équation (III.24) [13].

#### III.3.2.2 Calcul de la capacité de la cellule

La capacité de la cellule en LTE/LTE-A n'est autre que le débit moyen sur le canal physique de données (PDSCH pour DL et PUSCH pour UL), et ceci dépend de plusieurs intervenants, qui sont essentiellement les suivants :

- Le nombre de CC allouées et leurs largeurs respectives.
- Les techniques de modulation et de codage employés.

- Les techniques MIMO mises en place.
- L'OverHead du système.
- La taille du préfixe cyclique.
- Le nombre de secteurs par site, etc.

$$C_{capacity}^{DL} = N_{Sector} \cdot N_{CC}^{DL} \cdot \left( \sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \left( \sum_{k \in \{1,2,4,8\}} k \cdot Pr_{(SM_{gain}=k)} \right) \cdot \eta_{BW}^{DL} \cdot 12 \cdot N_{PRB} \cdot Cp_i \cdot 10^3 \text{ [bits/s]} \quad (III.34)$$

Par analogie pour le sens montant :

$$C_{capacity}^{UL} = N_{Sector} \cdot N_{CC}^{UL} \cdot \left( \sum_{i=0}^{28} \eta^{MCSi} \cdot Pr_{MCSi} \right) \left( \sum_{k \in \{1,2,4,8\}} k \cdot Pr_{(SM_{gain}=k)} \right) \cdot \eta_{BW}^{UL} \cdot 12 \cdot N_{PRB} \cdot Cp_i \cdot 10^3 \text{ [bits/s]} \quad (III.35)$$

Avec :

- $N_{Sector}$  : Nombre de secteurs par site.
- $N_{CC}^{DL}$  et  $N_{CC}^{UL}$  : sont respectivement le nombre de CC pour DL et pour UL.
- $\eta^{MCSi}$  et  $Pr_{MCSi}$  : sont respectivement l'efficacité et la probabilité d'occurrence du MCS d'index  $i$ .
- $k$  et  $Pr_{(SM_{gain}=k)}$  : sont respectivement le gain de multiplexage spatial et la probabilité d'occurrence de ce gain.
- $\eta_{BW}^{DL}$  et  $\eta_{BW}^{UL}$  : sont respectivement l'OverHead du système en DL et en UL.
- $N_{PRB}$  : est le nombre de PRB par CC (dans ce cas les CC sont de mêmes largeurs).
- $Cp_i$  : le nombre de symboles OFDM par TTI (égal à 7 si le CP est normal et à 6 si le CP est étendu)

### III.3.2.3 Modèle de trafic et estimation du nombre d'abonnés

Pour dimensionner le trafic nous avons besoin des informations des abonnés et de la zone de déploiement. Les données nécessaires pour prévoir le nombre d'abonnés dans la zone concernée, sont principalement les suivantes :

- Densité d'abonnés dans la zone (abonnés/Km) :  $\rho$
- Surface de déploiement (en Km) :  $S_{Déploiement}$
- Part de marché estimé de l'opérateur (%) :  $P_{Marché}$
- Taux de pénétration des consommateurs (%) :  $TP_{Consommateur}$
- Taux de croissance (%) :  $TC$
- Durée d'investissement (années) :  $I$
- Facteur d'Overbooking (%) :  $OBF$

Lorsqu'un site prend en charge un nombre d'abonnés égal à son capacité, il utilise entièrement ses ressources radio, ce qui augmente le niveau d'interférence dans toute la zone de déploiement. Exemple :  $OBF = 10\%$ , il faut charger la cellule à 10 % moins de sa capacité, si elle peut servir 100 abonnés, il faut l'affecter 90.

Le nombre d'abonnés chez l'opérateur à la  $i^{\text{ème}}$  année d'exploitation est estimé à :

$$N_{\text{abonnés}} = \rho \cdot S_{\text{Déploiement}} \cdot P_{\text{Marché}} \cdot (1 + I \cdot TC) \cdot TP_{\text{Consommateur}} \quad (\text{III.36})$$

On se propose maintenant d'estimer le trafic offert par abonné à l'heure chargée (Busy Hour : BH). L'heure chargée est défini comme étant les 60 minutes consécutives où le trafic est maximal.

Le trafic en LTE est aléatoire, sporadique et variable au cours du temps, il est mesuré en (bits/s) car LTE est un réseau à commutation de paquets, ainsi la formule d'Erlang n'est plus valable. Vu que le réseau LTE permet d'offrir une multitude de services aux abonnés, nous proposons de discriminer le trafic comme étant une somme de plusieurs segments de trafic, provenant chacun d'une application/service. (Voir tableau III.13)

Service	Débit en DL (kbps) $R_{\text{Service}}^{DL}$	Débit en UL (kbps) $R_{\text{Service}}^{UL}$	Protocol OverHead (%) $POH_{\text{Service}}$	Taux de pénétration (%) $TP_{\text{Service}}$
VoIP	26.90	26.90	3.63	20.0
HTTP browsing	250.11	62.53	5.3	100.0
FTP	750.34	140.69	9.8	20.0
Interactive Streaming	134.90	134.90	2.2	10.0
Background Services	15.69	15.69	1.0	50.0

Tableau III.13 : Exemple de modèle de trafic [8].

Avec

- $R_{\text{Service}}^{DL}$  et  $R_{\text{Service}}^{UL}$  : Désigne respectivement le débit demandé par un abonné à BH pour un service donné en UL et en DL (exemple. VoIP) : Cet indicateur dépend de plusieurs facteurs essentiellement on peut citer : la classe socio-économique des abonnés (classe résidentielle à services de base, classe résidentielle à services supplémentaires, classe des petites et moyennes entreprises, classe des grandes entreprises et professionnels), le besoin spécifique des abonnés envers ce service, le type de la zone (industrielle, résidentielle, rurale), la taille d'un paquet de ce service, etc.
- $POH_{\text{Service}}$  : Désigne l'ensemble des coûts supplémentaires, en termes de débit, que puisse introduire le service lui-même, par le protocole qui l'encapsule (exemple : TCP, UDP, etc.).

- $TP_{Service}$  : Désigne le taux de pénétration du service.

Ainsi, le trafic par abonné à l'heure chargée s'exprime respectivement pour DL et UL comme suit :

$$Trafic_{abonné}^{DL} = \sum_{Service \in Ensemble des Services} R_{Service}^{DL} \cdot (1 + POH_{Service}) \cdot TP_{Service} \quad (III.37)$$

$$Trafic_{abonné}^{UL} = \sum_{Service \in Ensemble des Services} R_{Service}^{UL} \cdot (1 + POH_{Service}) \cdot TP_{Service} \quad (III.38)$$

Le volume total de trafic pour DL et UL à la  $i^{\text{ème}}$  année d'exploitation peut s'exprimer donc :

$$Trafic^{DL} = Trafic_{abonné}^{DL} \cdot N_{abonnés} \quad (III.39)$$

$$Trafic^{UL} = Trafic_{abonné}^{UL} \cdot N_{abonnés} \quad (III.40)$$

#### III.3.2.4 Détermination du nombre des sites requis

Le nombre de sites nécessaires pour satisfaire la contrainte de la capacité est donnée par :

$$N_{Capacité}^{DL} = E \left( \frac{Trafic^{DL}}{C_{Capacité}^{DL} \cdot (1 - OBF)} \right) + 1 \quad (III.41)$$

$$N_{Capacité}^{UL} = E \left( \frac{Trafic^{UL}}{C_{Capacité}^{UL} \cdot (1 - OBF)} \right) + 1 \quad (III.42)$$

$$N_{Capacité} = Max(N_{Capacité}^{DL}, N_{Capacité}^{UL}) \quad (III.43)$$

La capacité de la cellule en DL et en UL, en nombre d'abonnés supportés est estimé à :

$$C_{abonné}^{DL} = E \left( \frac{C_{Capacité}^{DL} \cdot (1 - OBF)}{Trafic_{abonné}^{DL}} \right) \quad (III.44)$$

$$C_{abonné}^{UL} = E \left( \frac{C_{Capacité}^{UL} \cdot (1 - OBF)}{Trafic_{abonné}^{UL}} \right) \quad (III.45)$$

#### III.3.3 Nombre final d'eNodeBs requis

Dans les sections précédentes, nous avons déterminé le nombre minimum des eNodeBs requis pour établir la couverture demandée, noté  $N_{Couverture}$ , ainsi que le nombre minimum d'eNodeB pour satisfaire la demande en termes de capacité, noté  $N_{Capacité}$ . Par conséquent, le nombre de sites demandés pour obéir à la fois à la contrainte de couverture et de capacité est donné par l'équation :

$$N^{eNodeB} = Max(N_{Capacité}^{DL}, N_{Couverture}) \quad (III.46)$$

## III.4 Dimensionnement de l'interface S1 et X2

### III.4.1 L'interface X2

Le résultat du dimensionnement du eNodeB est la clé du reste du dimensionnement, notamment l'interface X2. Cette dernière s'avère comme opération beaucoup moins complexe.

Vu que l'architecture du réseau d'accès en LTE est plate, les eNodeB sont deux à deux connectés par l'interface X2 (physique ou logique), le nombre d'interface X2 est donc donnée par :

$$N^{X2} = \frac{N^{eNodeB} \cdot (N^{eNodeB} - 1)}{2} \quad (\text{III.47})$$

Nous allons nous inspirer des constatations et des expériences des différents constructeurs pour déterminer la capacité de l'interface X2 en LTE Rel-8/9 :

- « L'interface X2 demande une capacité beaucoup moins que celle de l'interface S1, au maximum 3%... », Huawei [8].
- « X2 est < 2 % du trafic en S1, à peu près 1.6 % », Ericsson [18].
- « 2% à 3% de S1 est une allocation généreuse pour X2 », FT/Orange [19].

Ainsi, nous allons nous baser sur les réclamations des constructeurs et on va retenir que la capacité de l'interface X2 ( $C^{X2}$ ) constitue 3% celle de S1 ( $C^{S1}$ ).

La capacité de l'interface X2 en LTE-Advanced a subi une évolution avec l'apparition du concept CoMP, pour ceci, on va distinguer 3 cas :

- ❖ **Sans coordination** : Dans ce cas, l'interface X2 garde la même capacité que LTE.

$$C^{X2} = 3\% \cdot C^{S1} \quad (\text{III.48})$$

- ❖ **CBCS CoMP** : Dans ce cas, il y'a échange de signalisation entre les eNodeBs appartenant au même groupe de coopération. En effet, chaque UE actif, envoie le CSI feedback à sa station de service pour l'informer des pré-codeurs les plus destructifs (Worst Compagnion). Un message appelé RESTRICTION REQUEST est par suite diffusé vers toutes les stations appartenant au même motif de coopération. Ce message est estimé de taille 86 bits [10] et il est transmis chaque TTI (1 ms), soit donc un débit de 86 kbits/sec par UE actif par eNodeB. D'où, un eNodeB transmet  $C_{abonné}$  messages et reçoit  $C_{abonné}$  messages de type RESTRICTION REQUEST sur une liaison bidirectionnelle X2.

$$C^{X2} = 3\% \cdot C^{S1} + 2 \cdot C_{abonné} \cdot 86_{Kbps} \quad (\text{III.49})$$

*Remarque* : Ce schéma ne concerne que le sens descendant.

- ❖ **JP-CoMP** : Ce cas de coopération nécessite le partage des données de tous les utilisateurs dans la zone de coopération.

$$C^{X2} = 3\%C^{S1} + C_{abonné} \cdot Trafic_{abonné}^{Dl} + C_{abonné} \cdot Trafic_{abonné}^{Ul} \quad (III.50)$$

*Remarque* : Ce schéma concerne le sens montant et descendant.

### III.4.2 L'interface S1

La capacité de l'interface S1, vu que cette dernière transporte des données et de la signalisation, peut être décomposée en somme d'une capacité sur le plan utilisateur et sur le plan contrôle :

$$C^{S1} = C_{User-Plane}^{S1} + C_{Control-Plane}^{S1} \quad (III.51)$$

Le plan contrôle constitue 2 % du plan utilisateur, donc elle est estimée à :

$$C^{S1} = C_{abonné} \cdot (Trafic_{abonné}^{Dl} + Trafic_{abonné}^{Ul}) \cdot 102\% \quad (III.52)$$

## III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le principe de dimensionnement et de planification radio du réseau d'accès E-UTRAN du système LTE-Advanced. En premier lieu la phase de dimensionnement de l'eNodeB qui fait intervenir deux types de planification, l'une orientée couverture qui est basée sur un bilan de liaison radio en tenant compte de toutes les interférences qui influent sur le bilan et l'autre orientée capacité, ensuite la planification des interfaces X2 et S1.

Au cours de ce chapitre, nous avons aussi introduit les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur les deux plans (couverture et capacité) qui sont utilisés dans la réalisation de notre outil qui sera présenté dans le chapitre suivant.

## Chapitre IV

### Conception et Développement de l'Outil

## IV.1 Introduction

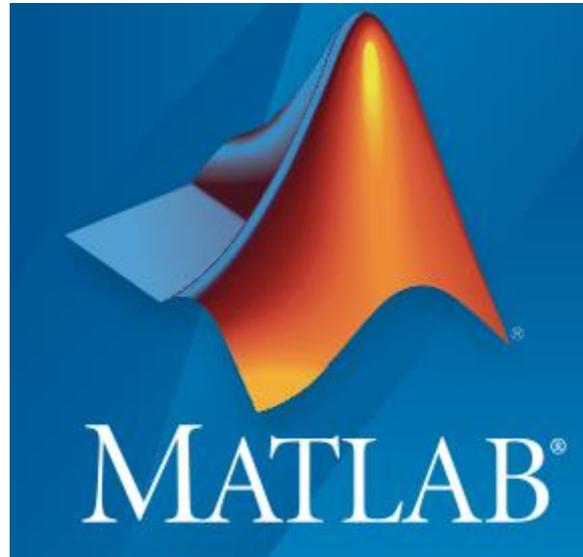
Puisque le processus de planification radio est complexe, il est nécessaire de développer un outil permettant de faciliter la tâche de planification. Dans la conception de notre outil et pour répondre à nos besoins nous avons choisi le langage Matlab qui permet de réaliser des interfaces graphiques qui aide l'opérateur à calculer et vérifier certains paramètres du dimensionnement de réseau.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes interfaces développées ainsi un exemple de dimensionnement et de planification avec ses résultats.

## IV.2 Présentation du logiciel Matlab

Matlab est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

Le logiciel fonctionne sous Windows et sous Linux. Son interface de manipulation HMI utilise les ressources usuelles du multifenêtrage. Son apprentissage n'exige que la connaissance de quelques principes de base à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions.



**Figure IV.1 :** Logo Matlab.

Pour réaliser une interface graphique sous Matlab on suit les étapes suivantes :

- Ecran de base (présentation pouvant légèrement différer selon version) : L'écran de base comprend l'écran de contrôle Command Window ainsi que des fenêtres complémentaires permettant de suivre le fonctionnement général d'une application.

Les instructions frappées (ou collées) dans la Command Window s'exécutent directement.

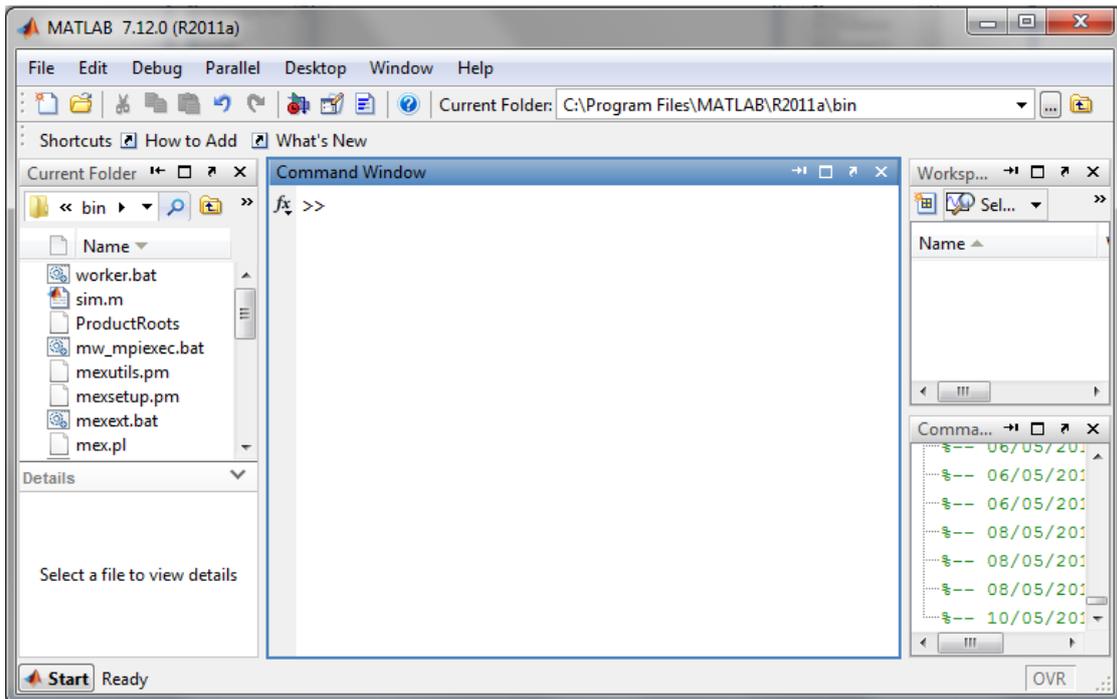


Figure IV.2 : Fenêtre principale du Matlab.

- Instruction « guide » ou GUI : Pour commencer on tape l'instruction « guide » dans command Window, voir la figure ci-dessous :

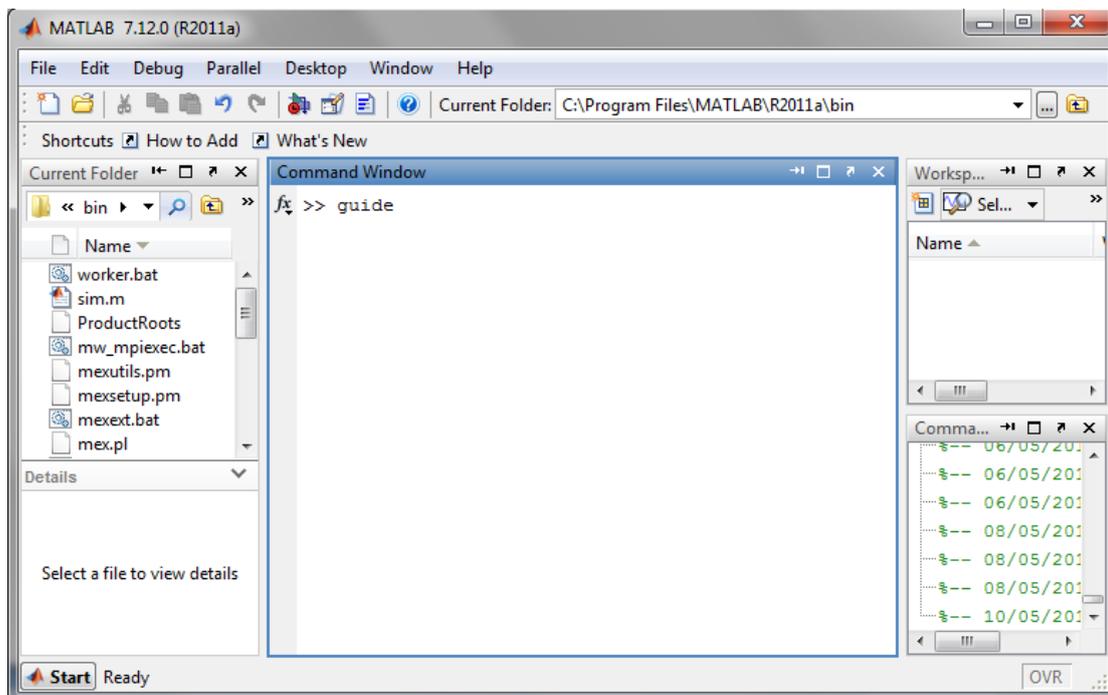


Figure IV.3 : Command Window.

- Créer un nouveau GUI : Après cette étape nous appuyons sur « entrer » et nous obtenons un nouveau GUI comme montre la figure suivante :

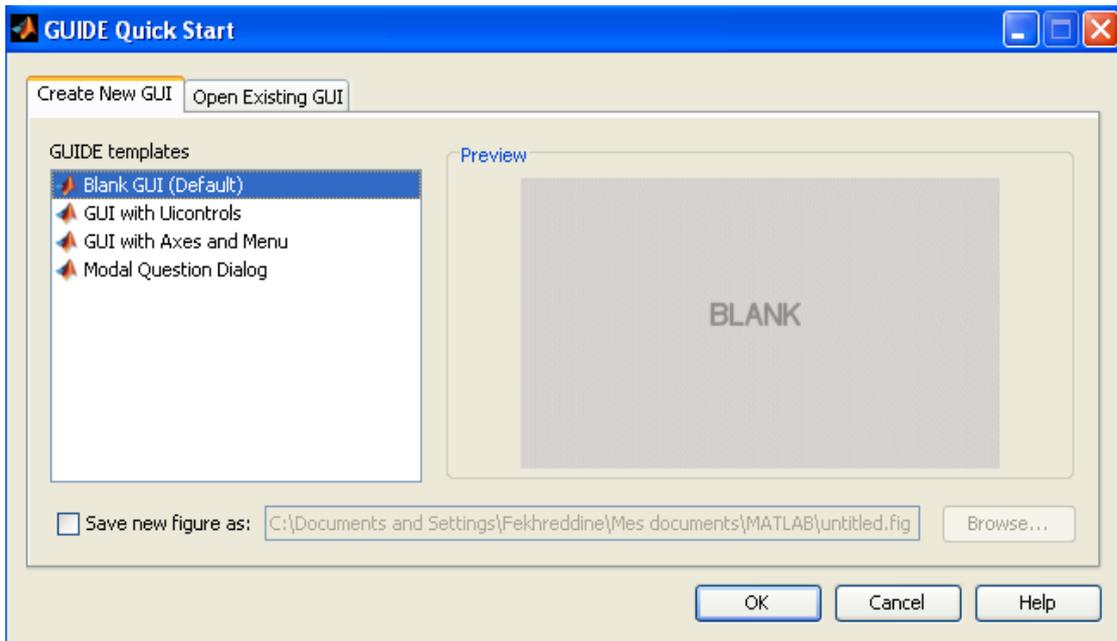


Figure IV.4 : Fenêtre principale du nouveau GUI.

- Interface GUI Matlab vierge : Il suffit d'appuyer sur « OK » pour obtenir la figure suivante :

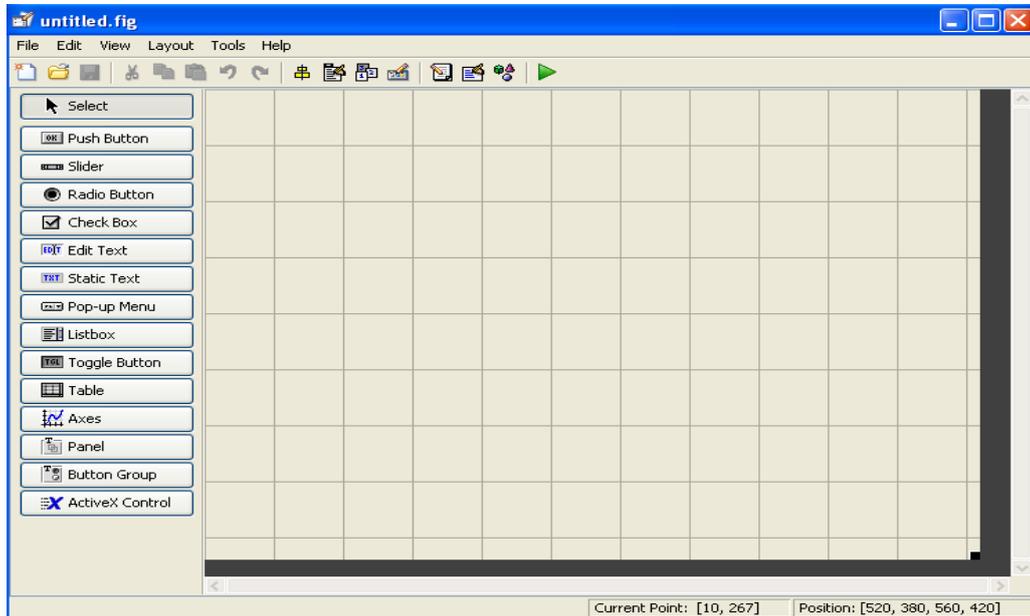


Figure IV.5 : Interface GUI Matlab vierge.

Maintenant vous avez une idée sur l'interface graphique sous-Matlab.

## IV.3 Exécution de l'application E-UTRAN LTE-A Planner

### IV.3.1 Interface d'accueil

Lorsque l'utilisateur démarre notre application qui nous avons la nommer E-UTRAN LTE-A Planner, il se retrouve face à une page de bienvenue, telle que présente la figure IV.6.



Figure IV.6 : Interface d'accueil de l'application.

Cette interface contient :

1. Logo de l'université de Tlemcen
2. Logo de notre simulateur
3. Bouton About qui fait appel a une autre interface (figure IV.7)



Figure IV.7 : Interface secondaire about.

4. Le bouton START pour démarrer l'application proprement dit.
5. Une zone qui contient les informations sur les développeurs de l'application ainsi ses coordonnées : le laboratoire de recherche, la faculté et l'université.

### IV.3.2 Onglet « paramètre radio »

Dans cette fenêtre, l'utilisateur doit choisir le modèle de propagation (COST-231 Hata, Erceig-Greenstein, Okumura-Hata, Walfisch-Ikegami) et il doit encore paramétrer le modèle sélectionné en choisissant le degré d'urbanisation de la zone (Urbain dense, Urbain, Suburbain et Rural), les hauteurs respectives du terminal mobile et la station de base, etc ...

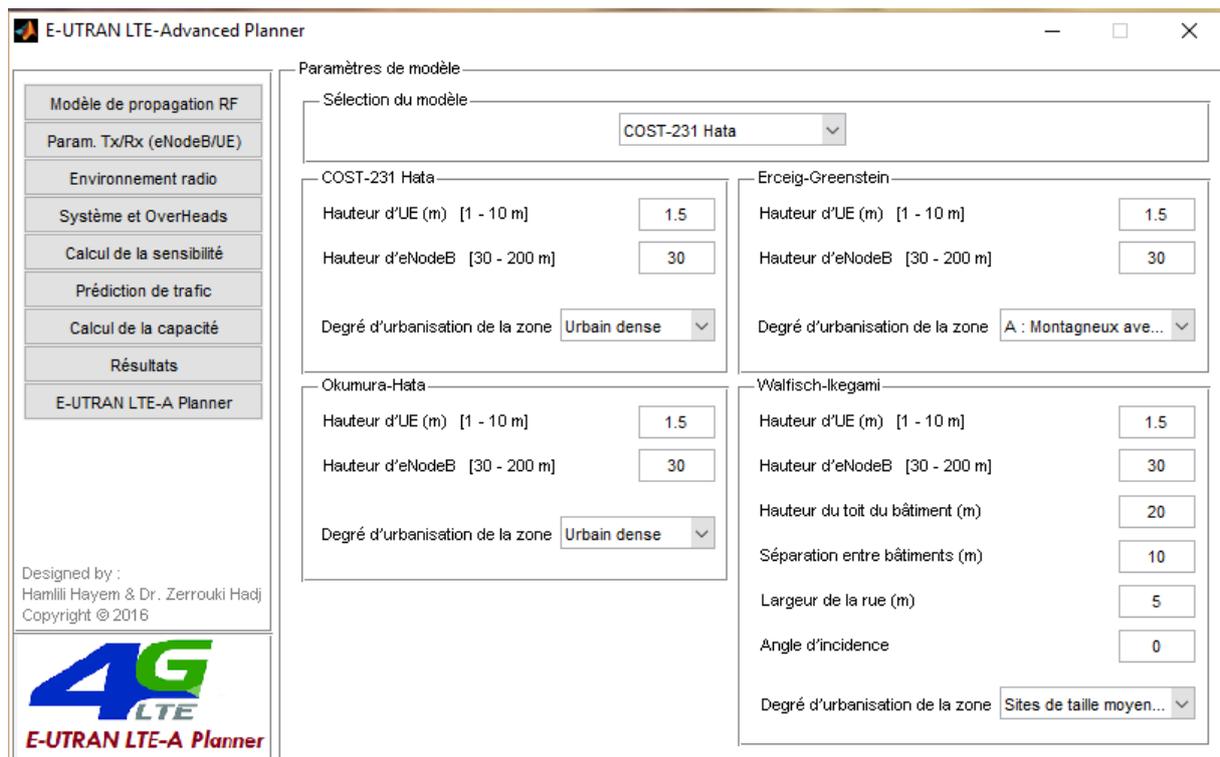


Figure IV.8 : Interface de paramètres du modèle.

### IV.3.3 Onglet « paramètre Tx/Rx (eNodeB/UE) »

Dans cette fenêtre, l'utilisateur doit choisir les différents paramètres de l'émetteur (Tx) ainsi que du récepteur (Rx) dans les deux sens, montant (UpLink) et descendant (DownLink) :

- Puissance d'antenne
- Les différents gains des antennes
- Les différentes pertes
- Facteur de bruit.

Comme on a vu dans le chapitre précédent, le bilan de liaison radio nécessite la disposition de toutes les pertes et les gains pouvant exister au niveau de l'émetteur et de récepteur ainsi que l'interface air.

Cet onglet permet de saisir les informations nécessaires pour le calcul de la PIRE de l'émetteur ainsi que la somme des pertes introduites par le récepteur, pour le sens montant et descendant.

**E-UTRAN LTE-Advanced Planner**

Modèle de propagation RF  
**Param. Tx/Rx (eNodeB/UE)**  
 Environnement radio  
 Système et OverHeads  
 Calcul de la sensibilité  
 Prédiction de trafic  
 Calcul de la capacité  
 Résultats  
 E-UTRAN LTE-A Planner

Designed by :  
 Hamilli Hayem & Dr. Zerrouki Hadj  
 Copyright © 2016

**4G LTE**  
**E-UTRAN LTE-A Planner**

**Paramétrage eNodeB/UE**

**DL**

L'émetteur (eNodeB)

Puissance d'émission (dBm)	48
Gain de l'antenne (dBi)	18
Perte des câbles/connecteurs (dB)	2
Perte du corps humain (dB)	--
Augmentation de la puissance Tx (dB)	1
PIRE (dB) de l'eNodeB	56

Le récepteur (UE)

Perte TMA (dB)	--
Perte de câble (dB)	--
Gain de l'antenne (dBi)	0
Facteur de bruit (dB)	7
Perte du corps humain (dB)	2
Perte additionnel (dB)	0

**UL**

L'émetteur (UE)

Puissance d'émission (dBm)	23
Gain de l'antenne (dBi)	0
Perte des câbles/connecteurs (dB)	--
Perte du corps humain (dB)	2
Augmentation de la puissance Tx (dB)	0
PIRE (dB) de l'UE	18.4

Le récepteur (eNodeB)

Perte TMA (dB)	0
Perte de câble (dB)	0.4
Gain de l'antenne (dBi)	18
Facteur de bruit (dB)	2.2
Perte du corps humain (dB)	--
Perte additionnel (dB)	0

Figure IV.9 : Interface de paramétrage eNodeB/UE

#### IV.3.4 Onglet « Environnement radio »

L'environnement radio agit sur le bilan de liaison radio, en effet les marges de planification doivent être judicieusement sélectionnées pour bien équilibrer le bilan de liaison radio.

Dans cette fenêtre l'utilisateur doit choisir :

- le modèle de l'environnement radio (AWGN (0 Km/h), Pedestrian B (3 Km/h), Vehicular A 30 Km/h, Vehicular A 60 Km/h et Vehicular A 120 Km/h) engendre automatiquement la modification de la valeur de la marge de fading rapide.
- Le type de couverture : deep indoor, indoor, outdoor ou incar permet de mettre à jour les valeurs des marges de pénétration.
- La sélection d'un taux de charge de la cellule : 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% ou 100% entraîne la mise à jour de la valeur de la marge d'interférence.
- La saisie de la densité de bruit thermique.

L'onglet de « Environnement radio » et son paramétrage est représenté par la figure suivante.

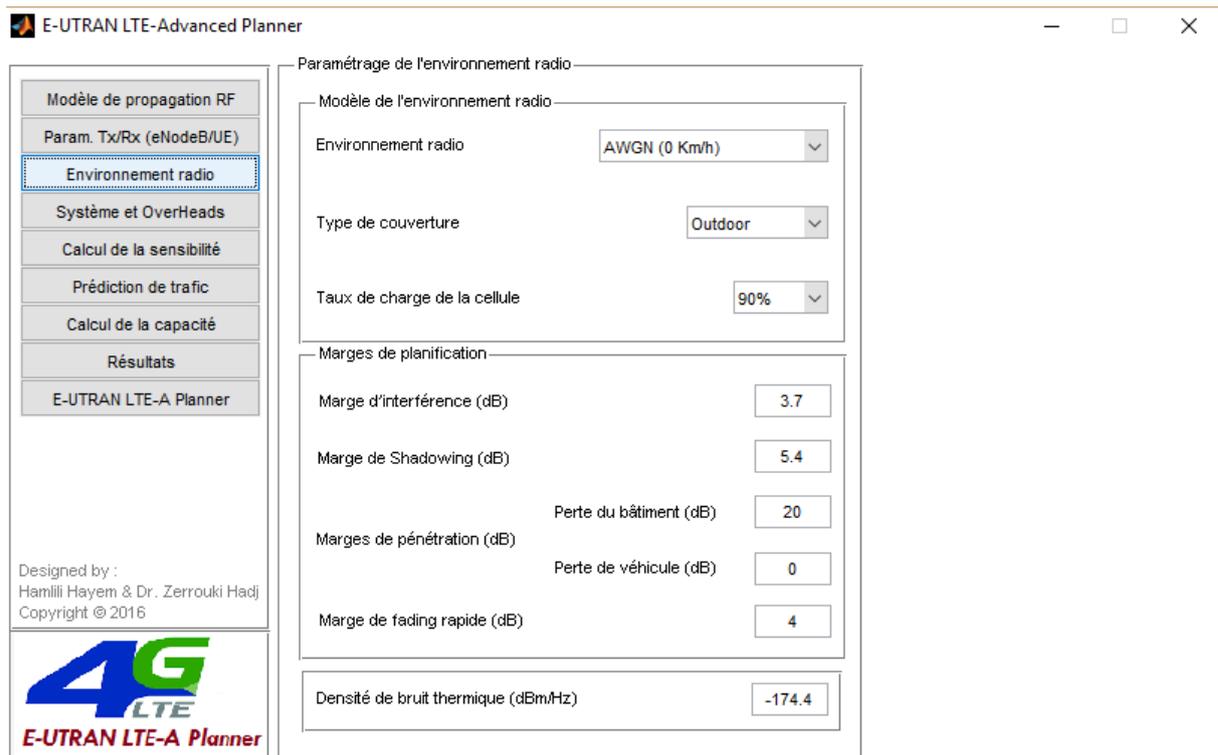


Figure IV.10 : Interface de paramétrage de l'environnement radio.

#### IV.3.5 Onglet « paramétrage de Système et OverHeads »

Dans cette interface l'utilisateur doit choisir :

- La fréquence de déploiement : elle correspond à la bande de fréquence attribuée à l'opérateur, dans notre cas c'est 704 Mhz.
- Nombre de Component Carrier (CC) ou les porteuses constitutives pour les deux sens UL et DL : 1, 2, 3, 4 ou 5.
- Largeur de bande par CC pour les sens UL et DL : 1.4 MHz, 3.0 MHz, 5.0 MHz, 10.0 MHz, 15.0 Mhz ou 20.0 MHz.
- Le nombre des antennes MIMO intégrées à l'eNodeB : 1, 2, 4 ou 8.
- Le nombre d'antennes MIMO intégrées à l'UE : 1, 2 ou 4.
- Le schéma CoMP : sans CoMP, JT-CoMP, DCS-CoMP ou CSCB CoMP.
- La taille du motif coopération : 1, 2 ou 3.
- La taille du préfixe cyclique : normale ou étendue.

A la fin de ce choix, vous aurez automatique l'affichage d'un bilan du coût système (System OverHead), pour le sens montant et le sens descendant selon les paramètres sélectionnés.

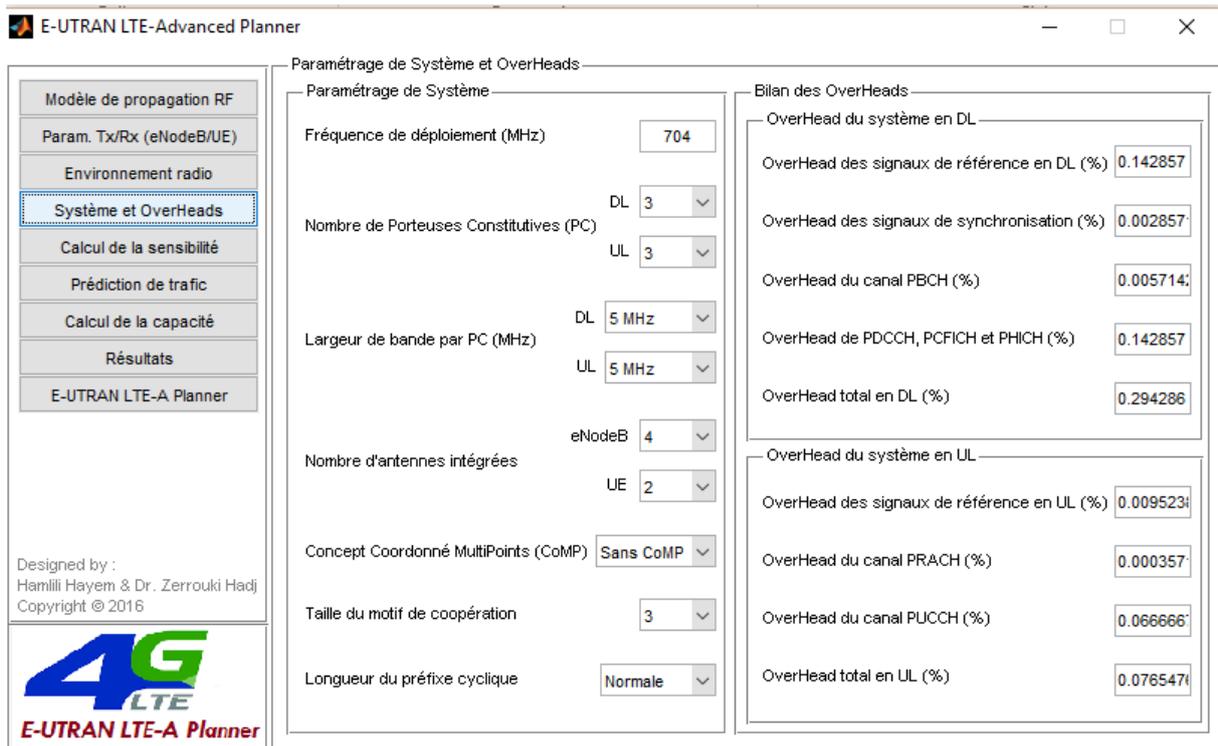


Figure IV.11 : Interface de paramétrage de Système et OverHeads.

#### IV.3.6 Onglet «Calcul de la sensibilité »

Cet onglet a pour but de calculer la sensibilité du récepteur. Cette dernière dépend de deux grands paramètres, il suffit juste de :

- Cocher, en choix, les différents services à offrir sur les bordures de la cellule (voix sur IP, Transfert de fichier FTP, Navigation HTTP, diffusion interactive et les services de Background).
- Choisir le schéma de la modulation et de codage sur les bordures de la cellule (QPSK 1/2, 16-QAM 2/3 ou 64-QAM 5/6).

Notre application va calculer et afficher les résultats suivants (Figure IV.12) :

- Le débit demandé sur la bordure de la cellule.
- Le SINR requis sur la bordure de la cellule.
- Le débit d'utilisateur.
- La taille de bloc de transport.
- Le nombre de bloc de ressources physiques reçus.

**E-UTRAN LTE-Advanced Planner**

Sensibilité des récepteurs

Modèle de propagation RF  
Param. Tx/Rx (eNodeB/UE)  
Environnement radio  
Système et OverHeads  
**Calcul de la sensibilité**  
Prédiction de trafic  
Calcul de la capacité  
Résultats  
E-UTRAN LTE-A Planner

Le(s) service(s) à offrir sur la bordure de la cellule

Voix sur IP (VoIP)     Transfert de fichier (FTP)  
 Navigation HTTP     Diffusion interactive  
 Services de Background

BLER cible résiduel (%)    10

DownLink (DL)    UpLink (UL)

L'index du MCS sur la bordure de la cellule    16-QAM 2/3    16-QAM 2/3

Le débit demandé sur la bordure de la cellule (kbps)    148.45    148.45

SINR requis sur la bordure de la cellule (dB)    6.1    6.1

Le débit d'utilisateur sur la bordure de la cellule (kbps)    213.485    177.571

La taille de bloc de transport (bits/TTI) pour PDSCH/PUSCH    213.485    177.571

Nombre de bloc de ressources physiques requis    1    1

Designed by :  
Hamili Hayem & Dr. Zerrouki Hadj  
Copyright © 2016

**4G LTE**  
E-UTRAN LTE-A Planner

Figure IV.12 : Interface calcul de la sensibilité.

### IV.3.7 Onglet «prédiction de trafic »

C'est le premier onglet pour la planification orientée capacité, il concerne l'estimation de trafic (Figure IV.13). Il contient les informations suivantes :

- La surface de déploiement,
- Le taux de croissance, L
- La densité d'abonnés,
- Le facteur d'OverBooking,
- La durée d'investissement,
- La part de marché de l'opérateur,
- Le taux de pénétration,

Pour chaque service, parmi l'ensemble (VoIP, HTTP, Streaming, FTP et Background Services), il faut indiquer les paramètres qui encapsulent le service (%) a savoir :

- Le trafic offert par abonné en DL/UL à l'heure chargée,
- Le taux de croissance,
- Le taux de pénétration
- Le coût du protocole

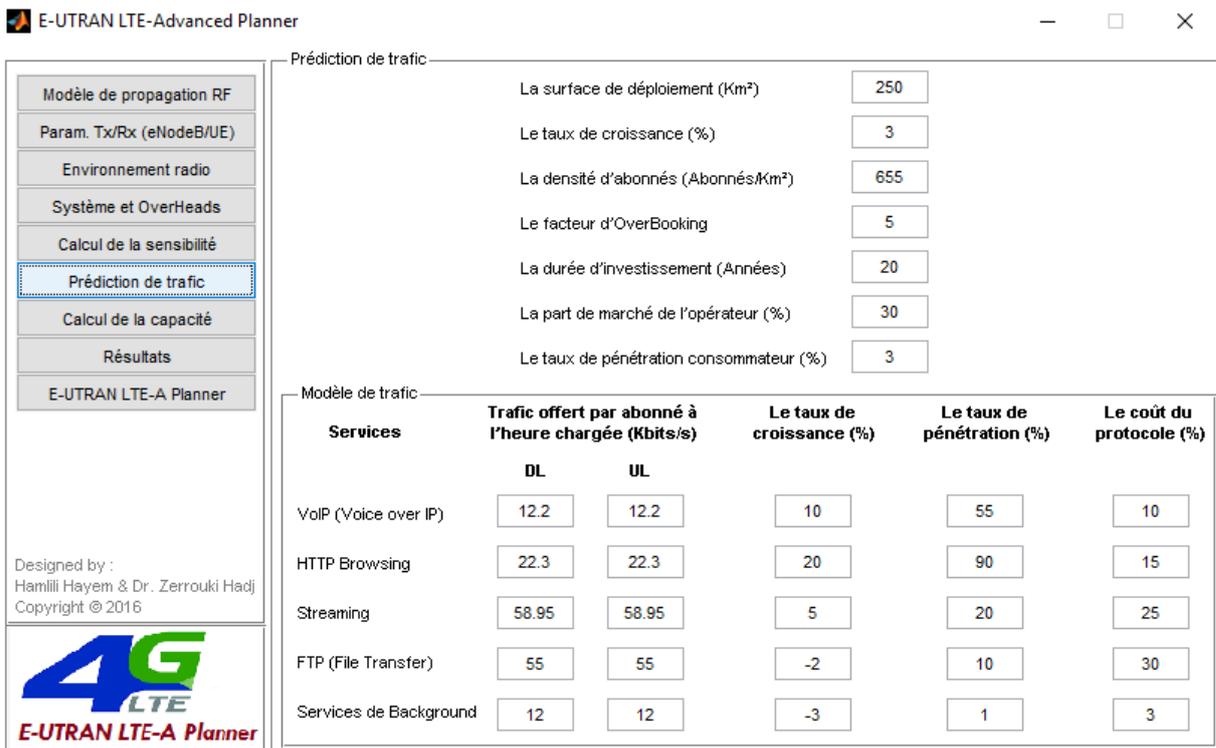


Figure IV.13 : Interface prédiction de trafic.

### IV.3.8 Onglet «Calcul de la capacité »

Les paramètres de cette interfaces sont fixent pour le standard LTE, il faut juste choisir :

- Le type de modulation dans les deux sens (montant et descendant)
- Le type de sectorisation par site (mono-sectorisée, bi- sectorisée ou bien tri- sectorisée)

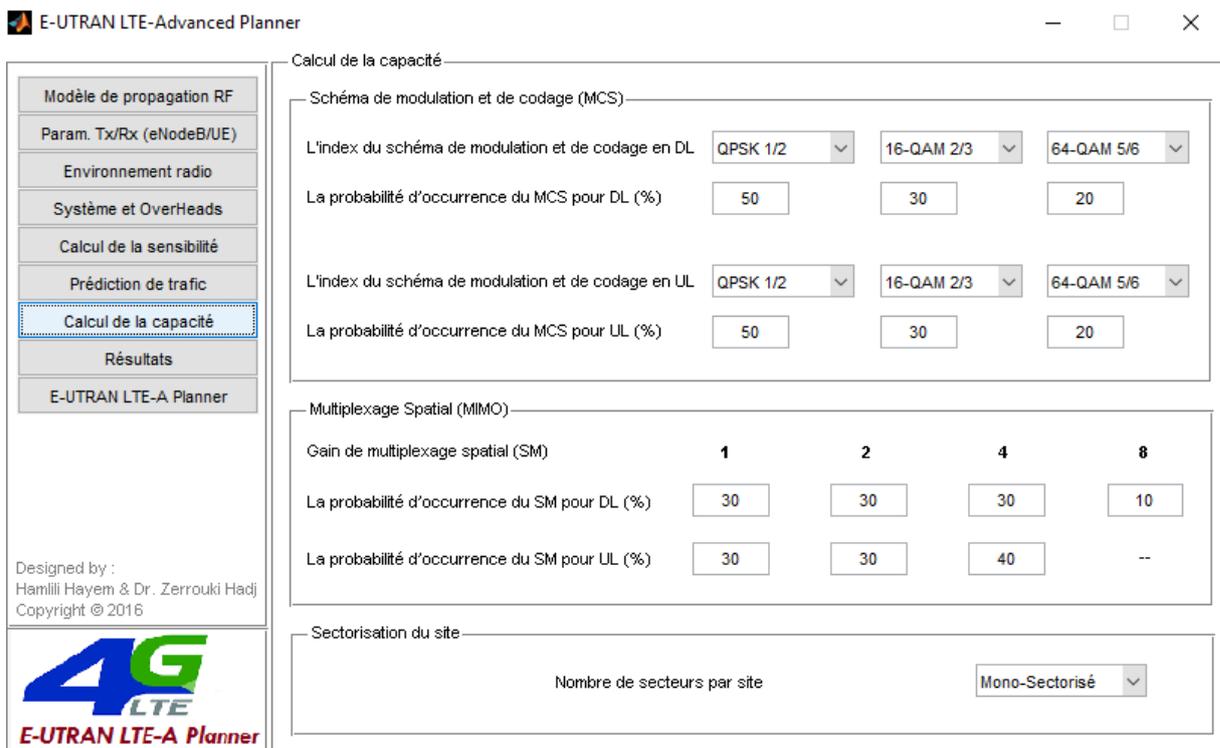


Figure IV.14 : Interface calcule de la capacité.

### IV.3.9 Onglet «résultat »

Les résultats du dimensionnement de l'eNodeB, de l'interface X2 et de l'interface S1 sont groupés dans un seul onglet. Cet onglet est destiné à afficher, pour le sens montant et descendant, les informations suivantes :

- Le nombre de blocs de ressources requis,
- Le SINR requis, la sensibilité du récepteur,
- L'affaiblissement de parcours maximum,
- Le rayon de la cellule,
- L'empreinte de la cellule,
- Le nombre de site demandé pour la couverture,
- La capacité de la cellule (Mbps),
- La capacité de la cellule (nombre d'abonnés),
- Le nombre de sites requis pour la capacité.

Enfin

- Le nombre final de site requis,
- La distance inter-sites,
- La capacité en X2,
- Le nombre d'interfaces X2 et la capacité en S1.

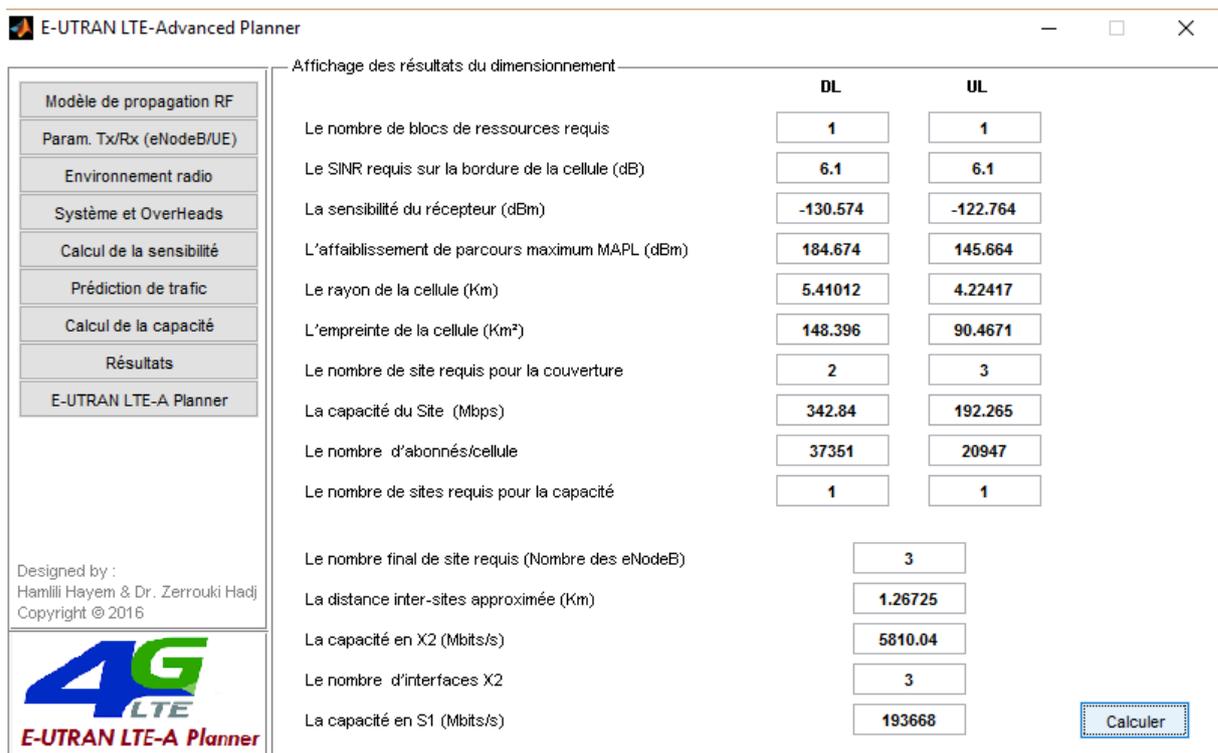


Figure IV.15 : Interface résultat.

Après avoir entré tous les paramètres, il suffit de cliquer sur le bouton calculer pour obtenir les résultats de la planification.

#### IV.3.10 Onglet «E-UTRAN LTE-A Planner »

Cet onglet à propos de notre application E-UTRAN LTE-A Planner (Figure IV.16), il permet d'informer l'utilisateur sur le produit, notamment le laboratoire où l'application est développée, la faculté l'université et le pays.

E-UTRAN LTE-A Planner correspond à un outil sophistiqué pour le dimensionnement et la planification dans le réseau d'accès LTE et ses évolutions, il contient un module pour le dimensionnement de l'eNodeB, de l'interface X2 et l'interface S1. Il est créé dans le cadre d'un projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication de la formation RMST (Réseaux Mobiles et Service de Télécommunications).



Figure IV.16 : Interface About

## IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre application E-UTRAN LTE-A Planner, sa structure globale, ses interfaces et ses fonctionnalités. En fait, cette application offre une interface de saisie bien structurée, pour le dimensionnement de couverture, de capacité et de prévision des coûts en tenant compte des règles de dimensionnement et de planification des réseau d'accès E-UTRAN du réseau LTE-Advanced.

## Conclusion générale

---

L'objectif de ce rapport était d'élaborer un outil de dimensionnement et de planification du réseau d'accès de l'E-UTRAN dans LTE-Advanced. Un outil évolutif qui fournit une solution efficace, qui suit l'évolution rapide du standard 3GPP LTE et qui tient compte des nouvelles technologies introduites, telles que MIMO, CoMP et l'agrégation de porteuses, etc.

Pour y parvenir, nous avons tout d'abord procédé à une étude des différentes générations de téléphonie mobile, En deuxième partie une étude général du réseau LTE-Advanced, son architecture, ses caractéristiques, son interface radio. La troisième partie a été consacrée pour un descriptif détaillé d'une solution de dimensionnement des eNodeB orienté couverture et orienté capacité, de dimensionnement de l'interface X2 et de l'interface S1. Ce processus est caractérisé par son complexité et comprend plusieurs tâches, principalement l'établissement du bilan de liaison radio, le choix d'un modèle de propagation adéquat pour le dimensionnement de couverture, l'établissement d'un modèle de trafic et le calcul de la capacité de la cellule pour le dimensionnement de capacité.

Ce projet était l'occasion pour approfondir mes connaissances sur les réseaux mobiles de la quatrième génération, LTE/LTE-Advanced, ces derniers constituent la solution la plus recherchée par les opérateurs télécoms pour remédier au compromis QoS et coût, face aux exigences des consommateurs envers des débits de données plus élevés et des tarifs réduits. Nous avons aussi étudié l'impact des nouvelles technologies dans le processus de planification, et nous avons constaté que leurs effets sont beaucoup plus clairs dans la phase de pré-planification. Nous avons remarqué aussi, que la dualité couverture-capacité est primordiale dans la phase de dimensionnement. Enfin, l'opérateur doit se rendre compte de l'intérêt de la phase de dimensionnement, pour éviter des coûts supplémentaires d'optimisation pouvant apparaître lors du démarrage de l'exploitation et pour s'assurer de la convergence rapide vers les exigences de QoS préétablis.

L'outil E-UTRAN LTE-Advanced Planner, consiste à une solution robuste pour la planification dans l'E-UTRAN qui couvre et intègre tout le processus de pré-planification et de dimensionnement du réseau LTE-A et qui peut être un outil primordiale pour les opérateurs de téléphonie mobile.

## Bibliographie

---

- [1] : Yannick Bouguen, EricHardouin, François-Xavier Wolff, « *LTE et les réseaux 4G* », édition groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
- [2] : MESSAOUI. M. M, « *Développement d'un outil d'aide à la gestion des capacités des équipements BSS en MapBasic sous le SIG MapInfo* », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de licence appliquée en sciences et techniques de l'information et de communications (LASTIC), Université Virtuelle de Tunis, 2011.
- [3] : Emmanuel TONYE, Landry EWOUSSOUA, « *Planification et ingénierie des réseaux de télécoms* », Séquence 2 : Architecture GSM, GPRS et UMTS, Mémoire pour l'obtention du diplôme de master pro en télécommunication, école nationale supérieure polytechnique, Université de Yaounde I, Cameroun, 2011.
- [4] : AJGOU.R, ABDESSELAM.S, « *Evolution de réseau GSM (GPRS, EDGE)* », Cour (E-learning) en collaboration de l'université d'El Oued avec l'université de Biskra, janvier 2014.
- [5] : H. Holma, Toskala, « *UMTS, les réseaux de 3 générations* », Edition EYROLLES 2, 2001.
- [6] : Ghefir Mohamed El Amine, « *Planification, ingénierie des réseaux de nouvelle génération - NGN* », Mémoire de Magister en Systèmes et Réseaux de Télécommunication, Ecole doctorale des Sciences et Technologies de l'Information et Télécommunication, Université de Tlemcen, 2013.
- [7] : Hanen Hrizi, Salma Saidane, « *Dimensionnement des Réseaux Radio 3G et 4G* », Projet de fin d'Études pour l'obtention de diplôme Licence Appliquée en Sciences et technologies de l'Information et de la Communication Option RST, Tunisie Telecom, 2012/2013.
- [8] : Huawei Technologies, « *LTE Radio Planning Introduction* », Document interne et confidentiel de Huawei, Co., LTD.
- [9] : Thomas MOOSBURGER, « *3GPP Rel-10 LTE-Advanced Technology Overview* », 3G Protocol Testers Document, ROHDE & SHWARZ, September 2010.
- [10] : Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung G. Kang, « *MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB* », Edition Wiley, IEEE Press, 1 Edition, November 2010.

## Bibliographie

---

- [11] : Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, « *LTE The UMTS Long Term Evolution: from theory to practice* », Wiley-Blackwell, 2<sup>nd</sup>Edition, July 2011.
- [12] : Lin Hui, Wang Wen Bo, « *Coordinated Beamforming technology in TD-LTE-Advanced system* », International Conference on Communications and Mobile Computing, ICCMC'10, 2010.
- [13] : Ali Lassoued, « *Outil de planification et de dimensionnement dans l'E-UTRAN LTE-Advanced* », Projet de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieurs en Télécommunications option Wireless Network and Communications (WINCOM), école supérieur des communications, Tunisie, 2011-2012.
- [14] : Charlott Le Pesquer, « *3GPP Long Term Evolution : Etude de la couche physique et des performances* », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, école d'ingénieur ECE, Paris, 2006-2007.
- [15] : Eya JAMMAZI, « *Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom* », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention de Diplôme National d'Ingénieur en Communications et Réseaux, Tunisie, Juin 2013.
- [16] : Abdul Basit, Syed, « *Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool: Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface* », Master Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Masters of Science in Technology, Espoo, February, 2009.
- [17] : Motorola, Inc., « *LTE RF Planning & Design V 1.2* », Motorola LTE RF Planning Guide, Internal and confidential document © Copyright 2011.
- [18] : P. Unell, « *Right Sizing RAN Transport Requirements* », Ericsson, Inc. Presentation document, Transport Networks for Mobile Operators, 2010.
- [19] : Jérôme BROUET, Arnaud CAUVIN, François DUTHILLEUL, « *Réseaux de transport par paquets pour les systèmes radio-mobiles - Évolution du réseau de transport vers les technologies paquets* », Article de base documentaire, Techniques de l'ingénieur, Réseaux cellulaires et téléphonie, Novembre 2010.

## Résumé :

La naissance du standard LTE ce n'était qu'un pas vers la 4<sup>ème</sup> génération des réseaux cellulaires, car il ne répond pas aux spécifications imposées par la norme 4G, en termes de débit et d'efficacité spectrale, d'où la nécessité d'évoluer vers LTE-Advanced. A ce stade, et afin de bien mener le marché concurrentiel, un opérateur télécom se trouve obligé à déployer la technologie la plus performante, qui répond le plus aux exigences du marché et les demandes de la clientèle en matière de qualité de service (QoS). Ainsi, le besoin d'un outil de planification évolutif, qui accompagne cette évolution semble indispensable.

L'objectif de ce projet de fin d'études, est l'élaboration d'une solution logicielle de planification et dimensionnement du réseau d'accès E-UTRAN d'un réseau LTE-Advanced, dont le but d'éviter des coûts inutiles pouvant être assumés pendant le démarrage de l'exploitation du réseau. Cet outil tient compte des nouvelles techniques adoptées dans la norme LTE-Advanced, à savoir : OFDM, MIMO, l'agrégation de porteuses, etc.

**Mots clés :** 4G, LTE/LTE-Advanced, MIMO, OFDM, planification, dimensionnement, couverture, bilan de liaison, capacité, E-UTRAN, eNodeB, interfaces (X2, S1).

---

## Abstract:

The birth of the LTE standard was only a step toward the 4<sup>th</sup> generation cellular networks because it doesn't meet the specifications imposed by the 4G standard, in terms of throughput and spectral efficiency, therefore the need to evaluate to LTE-Advanced. At this stage, and in order to properly conduct the competitive market, a telecom operator is obliged to deploy the best technology, which responds most to market requirements and customer demands in terms of quality of service (QoS). Thus, the need for a scalable planning tool that accompanies this development seems essential.

The objective of this project is developing a software solution for planning and design of the E-UTRAN of an LTE-Advanced network, which aims to avoid unnecessary costs that can be assumed during the start of network operation. This tool takes account of new techniques used in the LTE-Advanced standard, specially : OFDM, MIMO, carriers aggregation, etc.

**Keywords :** 4G, LTE/LTE-Advanced, MIMO, OFDM, planning, Dimensioning, coverage, capacity, E-UTRAN, eNodeB, interfaces (X2, S1).