

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

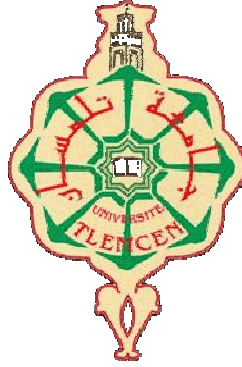
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par :

AYAD Hanane

MEKIDICHE Radjaa Asma

Sujet

Optimisation de la couverture radio 4G (LTE-A) des opérateurs de télécommunications

Soutenu publiquement, le 26 / 06 /2018, devant le jury composé de :

Mr. MERZOUGUI. R

Maitre de Conférences

Univ. Tlemcen

Président

Mr. ZERROUKI. H

Maitre de Conférences

Univ. Tlemcen

Directeur de mémoire

Mr. HADJILA. M

Maitre de Conférences

Univ. Tlemcen

Examinateur

Année universitaire : 2017/2018

DEDICACES

Je dédie ce projet de fin d'études à :

A mes chers parents,

*Qui m'ont éclairé le chemin de ma vie par leur grand soutien et leurs
Encouragements, leurs dévouements exemplaires et les énormes sacrifices
Qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voir
Réussir. Je les remercie pour tout ce qu'ils m'ont fait.*

Que dieu les garde et les protège.

Mon frère « Oussama » & ma sœur « Meriême »

*Ma plus grande source de bonheur, pour leur amour, leur complicité et leur
Présence.*

Tous les membres de ma famille, petits et grands,

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

Mes chers proches amies « Akila » « Imène » « Hanane » « Lamia »

& « Naouel »

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments

Que nous avons passé ensemble.

.....RADJAA

DEDICACES

Je dédie ce projet de fin d'étude, aux personnes qui me sont les plus chères :

A mes chers parents Mohammed et Djamila,

Pour toute ses patiences, ses soutiens, ses affectations et

Ses sacrifices durant ces années.

Pour m'avoir poussé jusqu'au bout et pour avoir été toujours

Un confort moral dans les moments les plus difficiles,

Partagé mes joies et mes peines.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé,

Bonheur et longue vie et faire

En sorte que jamais je ne vous déçoive.

A ma chère sœur Chérifa , sa fille Serin & ma princesse Rihab,

En lui souhaitant la réussite dans leurs vies.

A mes chères cousines

Yousra, Romaiissa & Sarah

A tous mes proches de la famille.

A tous ceux qui ont cru en moi.

A tous ceux qui comptent pour moi et je compte pour eux,

En espèrent être toujours à la hauteur de leurs attentes.

A mes chers amies

Naouel, Rajaa, Lamia, Akila, Imen, Soumia, Leila, ...

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 RT

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous

Etes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

.....HANANE

Remerciement

*Je remercie **Allah**, le Tout Puissant, qui nous a donné la volonté et le courage pour réaliser ce travail. On tient à remercier nos chers parents qui nous ont soutenus.*

*On remercie aussi vivement notre respectueux encadreur **Dr. ZERROUKI HADJ** maitre de conférence à l'université de Tlemcen pour la confiance qu'il nous a témoignée, pour son aide précieux et les conseils formateurs qu'il nous a prodigués afin d'améliorer notre mémoire, et nous guider à chaque étape de sa réalisation. Vous avez toujours réservé le meilleur accueil pour nous, malgré vos obligations professionnelles.*

*Nous tenons à remercier Monsieur **MERZOUGUI Rachid**, Maitre de conférences à l'université de Tlemcen, qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury de notre soutenance.*

*Nous adressons également nos respectueux remerciements à Monsieur **HDJILA Mourad**, Maitre de conférences à l'université de Tlemcen, pour son aide et son soutien durant la réalisation de ce travail en acceptant d'être examinateur.*

Nous tenons à remercier également tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance. Je remercie toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin qui nous ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Résumé :

Le LTE est une nouvelle technologie sans fil, elle dispose d'un ensemble de techniques hertziennes permettant de connecter un utilisateur distant au réseau IP par l'intermédiaire d'un lien radio. Mais cette technologie ne répond pas aux défis imposés par la vraie 4G, d'où la nécessité d'évoluer vers LTE-Advanced. Pour bien mener le marché concurrentiel, tout opérateur doit déployer la technologie la plus efficace et performante d'un part, et optimal d'un autre part.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous proposons de réaliser un outil de planification et de dimensionnement de la couverture radio du réseau 4G selon les différents modèles de propagation les plus utilisés, tout en choisissant le modèle le plus approprié en terme de fiabilité et d'économie des frais, d'où l'optimisation de la couverture du réseau ainsi que la minimisation des coûts d'investissement de la mise en place, et cela bien sûr en respectant des contraintes liées à la qualité de service nécessaire.

Mots clés : 4G, LTE, Dimensionnement, Couverture radio, Modèles de propagation, Bilan de liaison, Optimisation, planification, Qualité de services.

Abstract:

LTE is a new wireless technology; it has a set of Hertzian techniques for connecting a remote user to the IP network via a radio link. But this technology does not meet the challenges imposed by the true 4G, hence the need to evolve to LTE-Advanced. To successfully lead the competitive market, any operator must deploy the most efficient and effective technology on the one hand, and optimal on the other hand.

As part of this end of study project, we propose to realize a tool for planning and dimensioning of the 4G network radio coverage according to the different propagation models the most used, while choosing the most appropriate model in terms of reliability and cost savings, hence the optimization of network coverage and minimizing of the investment costs of implementation, and that of course respecting the constraints related to the required quality of service.

Key words: 4G, LTE, Scaling, Radio coverage, Propagation models, Link assessment, Optimization, Planning, Quality of services.

Table des matières

Dédicace	I
Remerciement	III
Résumé	IV
Table des matières	V
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Liste d'abréviations	XII
Introduction générale	1

Chapitre I : Evolution des réseaux mobiles cellulaires

I.1 Introduction	4
I.2 Le concept cellulaire	4
I.3 Evolution des réseaux de la 1G à la 5G	5
I.3.1 La première génération (1G)	5
I.3.2 Les réseaux mobiles de la deuxième génération	6
I.3.2.1 Le réseau GSM (2G)	6
I.3.2.1.1 Présentation	6
I.3.2.1.2 Architecture de GSM	6
I.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G)	10
I.3.2.2.1 Présentation	10
I.3.2.2.2 Architecture	10
I.3.2.2.3 L'acheminement en mode paquet	12
I.3.2.3 Le réseau EDGE (2.75G)	12
I.3.3 Les réseaux mobiles de la troisième génération	13
I.3.3.1 Le réseau UMTS (3G)	13
I.3.3.1.1 Présentation	13
I.3.3.1.2 L'architecture de l'UMTS	13
I.3.3.2 Le réseau de la 3G+	15
I.3.4 Le réseau de la quatrième génération	15
I.3.4.1 Le réseau LTE (3,9G)	15
I.3.4.2 Le réseau LTE- Advanced (4G)	16
I.3.5 Le réseau de la cinquième génération (5G)	16
I.4 Conclusion	17

Chapitre II : Le réseau de la quatrième génération (LTE)

II.1 Introduction	19
II.2 La technologie LTE	19

Table des matières

II.3 Buts de la 4G	20
II.4 Architecture générale du réseau LTE	20
II.4.1 La partie radio eUTRAN	21
II.4.2 Réseau Cœur : EPC (Evolved Packet Core) ou SAE	22
II.4.3 La partie IMS (IP MultiMedia Sub-system)	24
II.4.3.1 Définition	24
II.5 Caractéristiques du réseau LTE	25
II.5.1 La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés	25
II.5.2 Débits et fréquences	25
II.5.3 La latence	26
II.5.4 L'agilité en fréquence	26
II.5.5 La mobilité	26
II.5.6 La qualité de service	27
II.6 La couche physique	27
II.6.1 La modulation	27
II.6.2 Techniques d'accès	28
II.6.2.1 L'OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)	28
II.6.2.2 L'OFDMA	29
II.6.2.3 SC-FDMA	30
II.6.2.4 Structure des trames	31
II.6.2.5 Blocs de ressources	32
II.6.3 La technologie MIMO	33
II.6.4 Les canaux	34
II.6.4.1 Le concept de canal	34
II.6.4.2 Association des différents canaux	34
II.7 Le LTE- Advanced	35
II.8 Conclusion	35

Chapitre III : Dimensionnement du réseau d'accès 4G (LTE)

III.1 Introduction	37
III.2 Le processus de dimensionnement	37
III.3 Dimensionnement de couverture	38
III.3.1 Bilan de liaison (RLB)	39
III.3.1.1 PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)	40
III.3.1.2 Sensibilité du récepteur	42
III.3.1.3 La bande passante	42
III.3.1.4 Marge de shadowing : L'effet de Masque	43
III.3.1.5 Marge d'interférence	43
III.3.2 Calcul du bilan de liaison pour les liens montant et descendant	43

Table des matières

III.3.2.1 Formules de calcul pour la liaison Montante (UL)	43
III.3.2.2 Formules de calcul pour la liaison Descendante (DL)	44
III.3.3 Types de modèles de propagation	45
III.3.3.1 Propagation en espace libre (Free Space)	46
III.3.3.2 Le modèle Okumura-Hata	46
III.3.3.3 Modèle COST-231 Hata	47
III.3.3.4 Le modèle Walfish-Ikegami	48
III.3.3.5 Modèle Erceig Greenstein	49
III.3.4 Calcul du nombre de sites en se basant sur le bilan de liaison	50
III.3.5 Dimensionnement de l'interface S1 et X2	51
III.3.5.1 L'interface X2	51
III.3.5.2 Interface S1	52
III.4 Conclusion	52

Chapitre IV : Conception et réalisation de l'outil de planification de la couverture radio du réseau LTE-A

IV.1 Introduction	54
IV.2 Présentation du logiciel Matlab	54
IV.3 Création d'une interface graphique MATLAB	55
IV.4 Présentation de l'application développée	57
IV.4.1 L'interface d'accueil	57
IV.4.2 Le bilan de liaison	57
IV.5 Choix de modèle de propagation	60
IV.5.1 Le modèle Okumura-Hata	61
IV.5.2 Le modèle Cost231-Hata	63
IV.5.3 Le modèle Walfish-Ikegami	64
IV.5.4 Le modèle Ercein Greenstein	67
IV.6 Etude de cas	68
IV.7 Conclusion	70
Conclusion générale.....	71
Bibliographie	72

Liste des figures

Figure I.1 : Le concept cellulaire (type des cellules)	4
Figure I.2 : Evolution des réseaux cellulaires de la 1G à la 5G.	5
Figure I.3 : Architecture générale de réseau GSM.	7
Figure I.4 : Les informations gérées par le HLR.	8
Figure I.5 : Architecture du réseau GPRS.	11
Figure I.6 : L'acheminement en mode paquet en GPRS.	12
Figure I.7 : L'architecture du réseau UMTS.	14
Figure II.1 : Architecture générale du réseau LTE.	20
Figure II.2 : Architecture EPS (Evolved Pocket System).	21
Figure II.3 : Les interfaces existent dans l'E-UTRAN.	22
Figure II.4 : Entités de l'EPC (Evolved Packet Core).	23
Figure II.5 : VoLTE via IMS dans le LTE.	24
Figure II.6 : La technique de la modulation adaptative.	27
Figure II.7 : Consultations des modulations QPSK, 16-QAM et 64-QAM.	28
Figure II.8 : Principe de la modulation OFDM.	29
Figure II.9 : Principe d'insertion du Préfixe Cyclique.	29
Figure II.10 : La différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA.	30
Figure II.11 : Les deux techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA.	30
Figure II.12 : Structure de la Trame FDD « type 1 ».	31
Figure II.13 : Structure de la Trame TDD « type 2 ».	32
Figure II.14 : La structure d'un Bloc de Ressource.	32
Figure II.15 : Les techniques de transmission multi-antennaires.	33
Figure II.16 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques.	34
Figure III.1 : <i>Processus de dimensionnement</i>	38
Figure III.2 : Algorithme de calcul de dimensionnement de couverture.	39
Figure III.3 : Modèle de bilan de liaison Uplink (UL).	44
Figure III.4 : Modèle de bilan de liaison Downlink (DL).	45
Figure IV.1 : Logo Matlab.	54
Figure IV.2 : Fenêtre principale du Matlab.	55
Figure IV.3 : Fenêtre principal d'un nouveau GUI.	55
Figure IV.4 : Interface graphique MATLAB vierge.	56

Liste des figures

Figure IV.5 : Interface des propriétés des objets.....	56
Figure IV.6 : L'interface Start du planificateur.	57
Figure IV.7 :L'interface bilan de liaison paramétré.	58
Figure IV.8 : Calcul du bilan de liaison.....	59
Figure IV.9 : Map de la ville de Tlemcen.....	59
Figure IV.10 : Interface de choix du modèle.	61
Figure IV.11 : Interface du modèle OKUMURA-HATA.....	61
Figure IV.12 : Dimensionnement avec le modèle OKUMURA-HATA	62
Figure IV.13 : Interface du modèle COST231-HATA.	63
Figure IV.14 : Dimensionnement avec le modèle COST231-HAT.....	64
Figure IV.15 : l'interface du Modèle WALFISH-Ikegami	65
Figure VI.16 : Dimensionnement avec Modèle WALFISH-Ikegami	65
Figure IV.17 : Dimensionnement avec Modèle WALFISH-IKEGAMI.....	66
Figure IV.18 : Interface du Modèle d'Erceig Greenstein.....	67
Figure IV.19 : Dimensionnement avec Modèle Erceig Greenstein	68
Figure IV.20 : Interface ETUDE DE CAS.....	69
Figure IV.21 : Choix de la configuration optimale pour la zone à étudier.....	69

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Paramètres de calcul de la PIRE.	43
Tableau III.2 : Paramètres du modèle Okumura-Hata.....	49
Tableau III.3 : Paramètres du modèle COST-231 Hata.	50
Tableau III.4 : Paramètres du modèle COST-231 Walfisch-Ikegami.....	51
Tableau III.5 : Paramètres de terrain pour le modèle Erceig-Greenstein.....	52
Tableau III.6 : Comparaison entre les 4 modèles de propagation.	52
Tableau III.7 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteur	53
Tableau IV.1 : Comparaison de Pathloss en 'UpLink' et en 'DownLink'	60

Liste d'abréviations

- **3GPP**: 3rd Generation Partnership Project
 - **1G**: 1st Generation of wireless communication technology
 - **2G**: 2nd Generation of wireless communication technology
 - **3G**: 3rd Generation of wireless communication technology
 - **4G**: 4th Generation of wireless communication technology
 - **5G**: 5th Generation of wireless communication technology
- A**
- **AMC**: Adaptive Modulation and Coding
 - **AUC** : Authentication Center
- B**
- **BER**: Bit Error Rate
 - **BTS**: Base station Transceiver System
 - **BSC**: Base Station Controller
 - **BSS** : base station sub-system
- C**
- **CDMA**: Code Division Multiple Access
 - **CP**: Préfixe Cyclique
 - **CCO** : Control Channel Overhead
- D**
- **DL** : Downlink
 - **DC-HSPA+** : Dual-Cell High Speed Packet Access+
- E**
- **EPC**: Evolved Packet Core
 - **E-UTRAN**: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
 - **EDGE** : Enhanced Data Rates for GSM Evolution
 - **ePDG** : Evolved Packet Data Gateway
 - **EIR** : Equipment Identity Register
 - **ENodeB**: Evolved NodeB
- **EPS** : Evolved Packet System
- F**
- **FDD**: Frequency Division-Duplexing
 - **FDMA** : Frequency Division Multiple Access
 - **FFM** : Fast Fading Margin
- G**
- **GSM** : Global System for Mobile communications
 - **GGSN**: Gateway GPRS Support Node
 - **GPRS**: General Packet Radio Service
- H**
- **HSS**: Home Subscriber Server
 - **HLR** : Home Localisation Register
 - **HSPA**: High Speed Packet Access
 - **HSDPA** : High Speed Downlink Packet Access
- I**
- **IM**: Marge d'interférence
 - **IP**: Internet Protocol
 - **IMS**: IP Multimedia Subsystem
- L**
- **LTE**: Long Term Evolution
- M**
- **MS** : Mobil Station
 - **MIMO**: Multiple Input Multiple Output
 - **MME**: Mobility Management Entity
 - **MSC**: Mobile Switching Center
 - **MAPL**: Maximum Allowable Path Loss
 - **MME** : Mobility Management Entity
- N**
- **NGN**: Next Generation Network
 - **NSS** : Network Sub System
- O**
- **OFDMA**: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Liste d'abréviations

- **OFDM**: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
 - **OSS** : Operation SubSystem
 - **OMC** : Operations and Maintenance Center
- P**
- **PGW**: Packet Data Network Gateway
 - **PCRF**: Policy and Charging Rules Function
 - **PIRE**: Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
 - **PDN**: Packet Data Network
 - **PRB**: Physical Ressource Block
- Q**
- **QAM**: Quadrature Amplitude Modulation
 - **QOS**: Quality of Service
 - **QPSK**: Quadrature Phase Shift Keying
- R**
- **RNS**: Radio Network Sub-system
 - **RNC**: Radio Network Controller
 - **RXG**: Gain d'antenne de réception
- S**
- **S1-U** : Interface entre Enode B et S-GW (S1 User Plan)
 - **SINR**: Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
- **S1-C**: Interface entre Enode B et MME (S1 Control Plan)
 - **SHG**: Gain de soft handover
 - **SC-FDMA**: Single Carrier FDMA
 - **SGW**: Serving Gateway
 - **SGSN**: Serving GPRS Support Node
 - **SIM**: Subscriber Identity Mobile
 - **SIP**: Session Initiation Protocol
 - **SINR** : Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
 - **SNR** Signal-to-Noise Ratio
- T**
- **TDD**: Time Division-Duplexing
 - **TTI**: Transmission Time Interval
- U**
- **UIT**: Union Internationale des Télécommunications
 - **UMTS**: Universal Mobile Telecommunications System
- V**
- **VLR** : visitor Localisation Register
- W**
- **WCDMA**: Wide band CDMA
- X**
- **X2** : Interface entre les eNode B

Introduction générale

La communication mobile est devenue un produit de tous les jours. Au cours des dernières décennies, elle était une technologie coûteuse pour certaines personnes. Actuellement, ces systèmes sont utilisés par la majorité de la population mondiale. Dès les premières expériences avec la communication radio par Guglielmo Marconi dans les années 1890, la voie de la vraie communication a été assez longue. Pour comprendre la complexité des systèmes de communication mobile d'aujourd'hui, il est important de savoir d'où ils viennent et comment les systèmes cellulaires ont évolué.

Les technologies de communication mobile sont souvent divisées en générations. Les systèmes analogiques de la téléphonie mobile constituent la 1G. La 2G a vu la naissance du premier système mobile numérique, ensuite vient la 3G caractérisée par les premiers systèmes mobiles de manutention de données à large bande. 4G ou L'évolution à long terme (LTE), offre un support encore meilleur pour le haut débit mobile. Plus loin, les étapes d'évolution de la 4G LTE sont prises au cours jour après jours. À plus long terme perspective, vers 2020, on peut entrer dans ce que certains appelleraient l'accès radio "5G". Cette course continue de numéros de séquence croissants pour les mobiles, les générations de systèmes ne sont en fait qu'une question d'étiquettes. Ce qui est important est le système actuel, capacités et comment elles ont évolué.

Les versions ultérieures de LTE sont connues sous le nom LTE-Advanced, que LTE et LTE-Advanced sont la même technologie, car les deux sont effectivement compatibles, donc un terminal LTE-A peut se fonctionner sur un réseau LTE normalement. L'étiquette "Advanced" était principalement ajouté pour souligner la relation entre la version 10 (LTE-Advanced) de LTE et l'UIT / IMT-Advanced. [1]

Un autre aspect important est que le travail de développement sur LTE et LTE-Advanced est effectué en tant que tâche continue au sein du 3GPP, le même forum qui a développé le premier système 3G (WCDMA / HSPA). Par contre, le LTE-A est connu comme la vraie 4G car il peut offrir des débits plus élevés et une capacité d'utilisateur notamment importante.

Cette évolution et l'augmentation de débit et capacité nécessite toujours une bonne planification, pour permettre certain opérateur à être concurrent sur le marché, il est indispensable d'atteindre un dimensionnement optimal tout en minimisant les ressources et les coûts d'exploitation réseaux et de déploiement de la nouvelle technologie d'un part, et garantir une qualité de service satisfaisante d'un autre part.

Dans le cadre de ce projet, nous proposons de réaliser un outil de planification et dimensionnement de la couverture radio du réseau 4G selon les différents modèles de propagation les plus utilisés, tout en choisissant le modèle le plus approprié en termes de fiabilité et d'économie. D'où l'optimisation de la couverture radio du réseau ainsi que l'optimisation des coûts d'investissement de la mise en place et cela bien sûr en respectant des contraintes liées à la qualité de service nécessaire.

De ce fait, ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre définira le concept cellulaire, puis décrira les systèmes de communication mobiles et leurs évolutions depuis la 1G jusqu'à la 5G. Cela vise à mieux connaître les différents réseaux cellulaires avant de détailler la norme de la 4G-LTE dans le prochain chapitre.

Le deuxième chapitre entamera les réseaux de 4^{ème} génération (4G) LTE, son architecture, ses spécifications technologiques, ses caractéristiques techniques utilisées et les améliorations ramenées aux réseaux LTE-A.

Le troisième chapitre sera consacré pour tout ce qui est planification et dimensionnement de la couverture radio du réseau LTE-A. Nous commencerons par expliquer les différents processus de dimensionnement, puis approfondir en définissant les formules mathématiques et les calculs des paramètres de bilans de liaison ainsi que les différentes règles spécifiques aux modèles de propagation nécessaires pour la planification orientée couverture.

Le dernier chapitre abordera pour la conception et réalisation d'un outil planificateur, sert à faciliter le calcul des certains paramètres et exposerons les différentes interfaces de cette application avec des descriptions de chacun, puis finirons par un choix de modèle optimal et une analyse de résultat.

Chapitre I :

Evolution des réseaux mobile cellulaires

I.1 Introduction :

Depuis plusieurs années 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 pas encore mis en œuvre) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et 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, on va présenter l'étude préalable du projet. Comme première partie, nous allons définir le concept de base des réseaux mobiles, ensuite nous allons décrire leurs évolutions à travers les temps tout en précisant leurs architectures ainsi que leurs caractéristiques. Enfin, nous allons nous approfondir dans l'étude des réseaux LTE et ses spécifications techniques pour bien maîtriser cette technologie.

I.2 Le concept cellulaire:

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.1), 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.

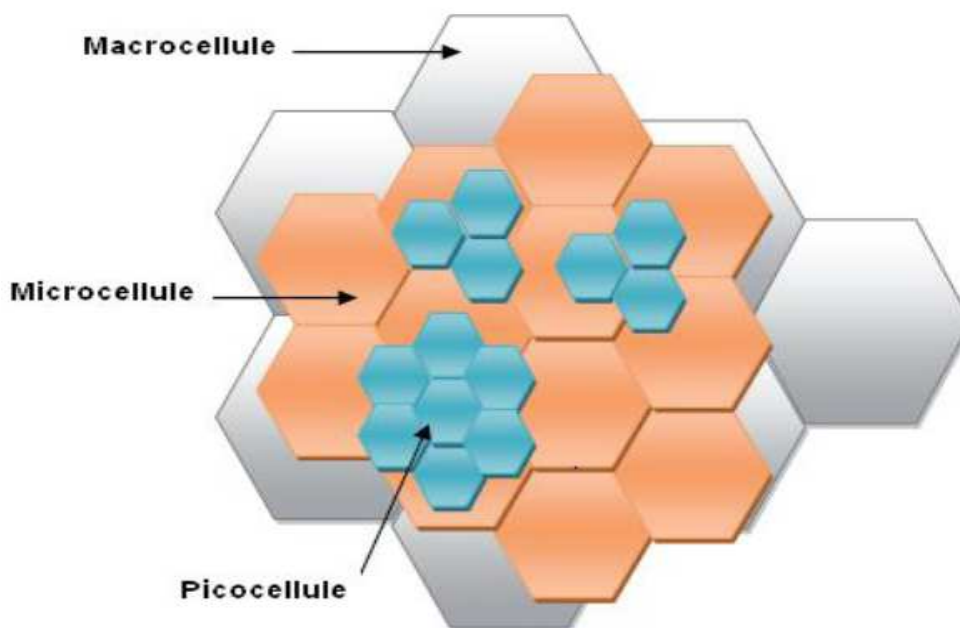


Figure I.1 : Le concept cellulaire (type des cellules)

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 30Km) 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 réseaux de la 1G à la 5G:

Les réseaux de la 1ère génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunications dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours. Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75.

Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la seconde génération de normes permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation du WAP permettant d'accéder à Internet, tant dit que pour la 3^{ème} génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données. En ce qui concerne la nouvelle génération 4G(LTE), déployer maintenant par plusieurs pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans le prochain chapitre.

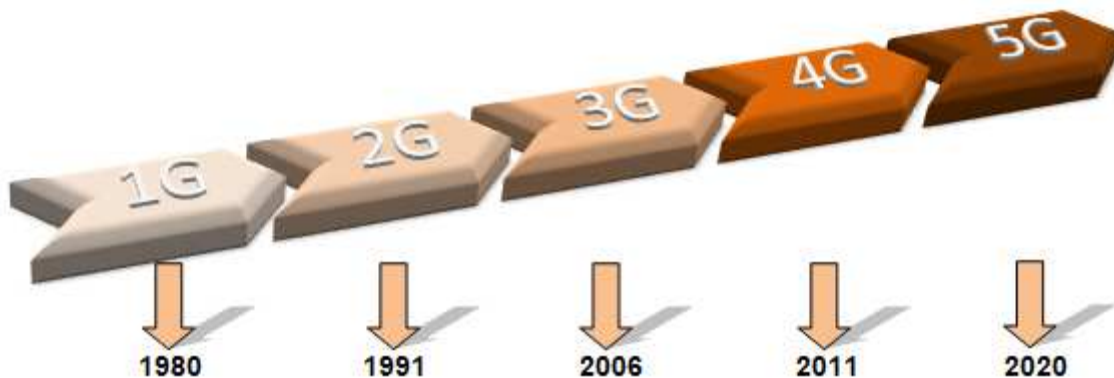


Figure I.2 : Evolution des réseaux cellulaires de la 1G à la 5G.

I.3.1 La première génération (1G) :

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission

analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur) [3].

Nous pouvons citer les technologies suivantes [4]:

- **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 ;

I.3.2 Les réseaux mobiles de la deuxième génération :

La deuxième génération (2G) de systèmes cellulaires a été développée à la fin des années 80. La 2G définit le passage de l'analogique vers le numérique, elle repose sur la technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal. Ce système apporte une meilleure qualité ainsi qu'une grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur. La deuxième génération utilise essentiellement les standards suivants [5] : le GSM (2G), le GPRS (2.5G) et le EDGE (2.75G).

I.3.2.1 Le réseau GSM (2G) :

I.3.2.1.1 Présentation :

Le service le plus important dans les réseaux cellulaires GSM est le service de la voix. Cette technologie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau fixe RTC (Réseau Téléphonique Commuté). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Il se distingue par un accès spécifique traduisant la liaison radio et un débit inférieur à 10 Kb/s [6].

- **GSM 900** : système radio mobile à vocation urbaine et rurale (macro cellule) utilisant la fréquence des 900 MHz avec des sous bandes de largeur 25 MHz : (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).

I.3.2.1.2 Architecture de GSM :

La figure I.3 représente l'architecture de réseau GSM :

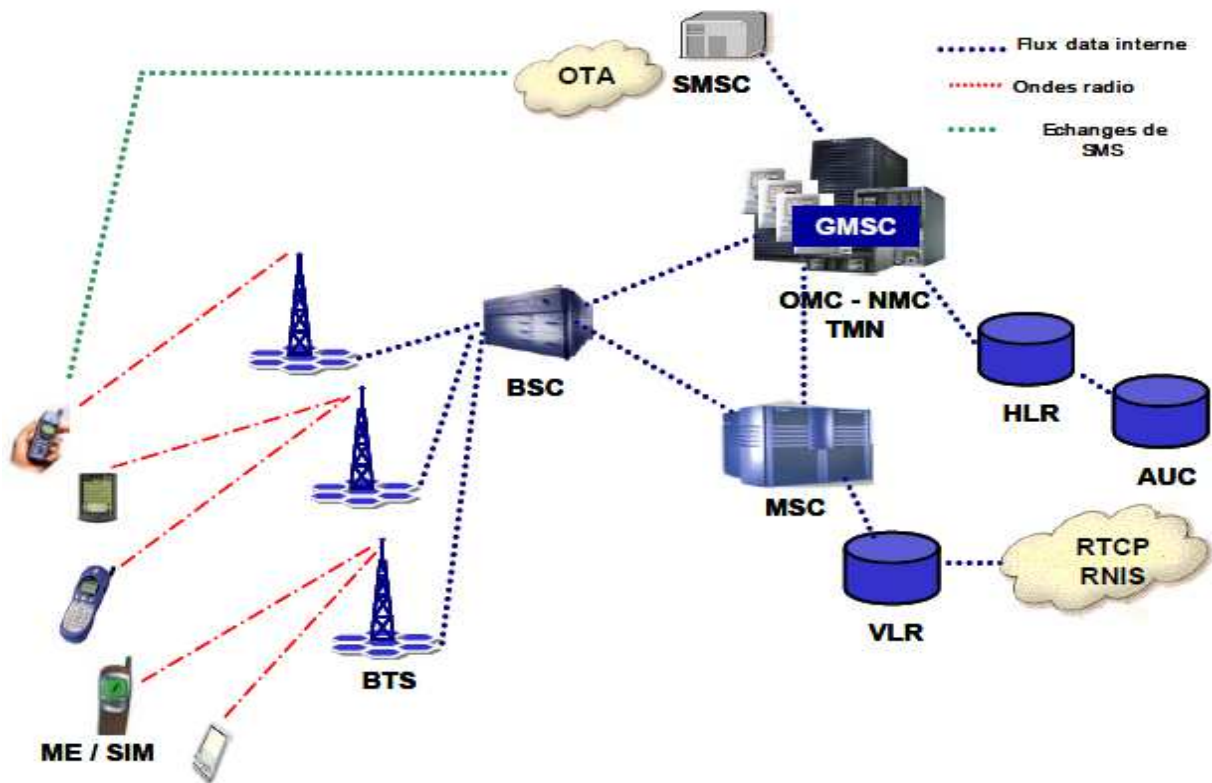


Figure I.3 : Architecture générale de réseau GSM.

Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

a. Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-system) :

Le BSS assure et gère les transmissions radio, et comprend les BTS qui sont des émetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence, et les BCS qui contrôlent un ensemble de BTS et permettent une première concentration de circuits.

La station mobile (Mobile Station) : C'est le téléphone portable, permet à l'abonnés d'accéder au service GSM au travers du système cellulaire. la station mobile est composée d'un combiné téléphonique identifié par un numéro unique l'IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) et d'une carte SIM qui contient le numéro d'identification de l'abonné IMSI (*International Mobile subscriber Identity*) et des algorithmes de chiffrement.

La station de base (BTS) : La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelé TRX a pour fonction de la gestion de transmission radio (modulation, démodulation, codage correcteur d'erreurs). La BTS gère la couche physique des réseaux, et la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure réseau, ainsi que les échanges avec la BSC. La capacité maximale d'un BTS est de 16 porteuses.

La fonction du BSC : le BSC est l'organe intelligent du sous système radio, réalise l'exploitation des données recueillies par les BTS et gère un ou plusieurs stations et remplis différentes fonction de communication et d'exploitation. Le BSC joue le rôle de concentrateur en faisant un relais entre les alarmes et les statistiques émanant des BTS vers le centre d'exploitation et maintenance.

Le BSC est une banque de données pour les versions logicielles et de données de configuration téléchargées par l'opérateur sur la BTS. Enfin le BCS pilote le transfert entre deux cellules, il avise la nouvelle BTS qui va prend en charge l'abonné en informant le HLR de sa nouvelle localisation.

b. Le sous-système d'acheminement (Network Sub-System) :

Le NSS comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour un appel et la gestion de mobilité, et contient un ensemble de commutateurs et de base de données.

La fonction du HLR : c'est une base de données qui conserve les données statiques de l'abonné et administre les données dynamiques sur le comportement de l'abonné, ces informations sont exploitées ensuite par L'OMC. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominal par opposition de VLR qui enregistre les visiteurs. La figure suivante décrit les informations gérées par le HLR.

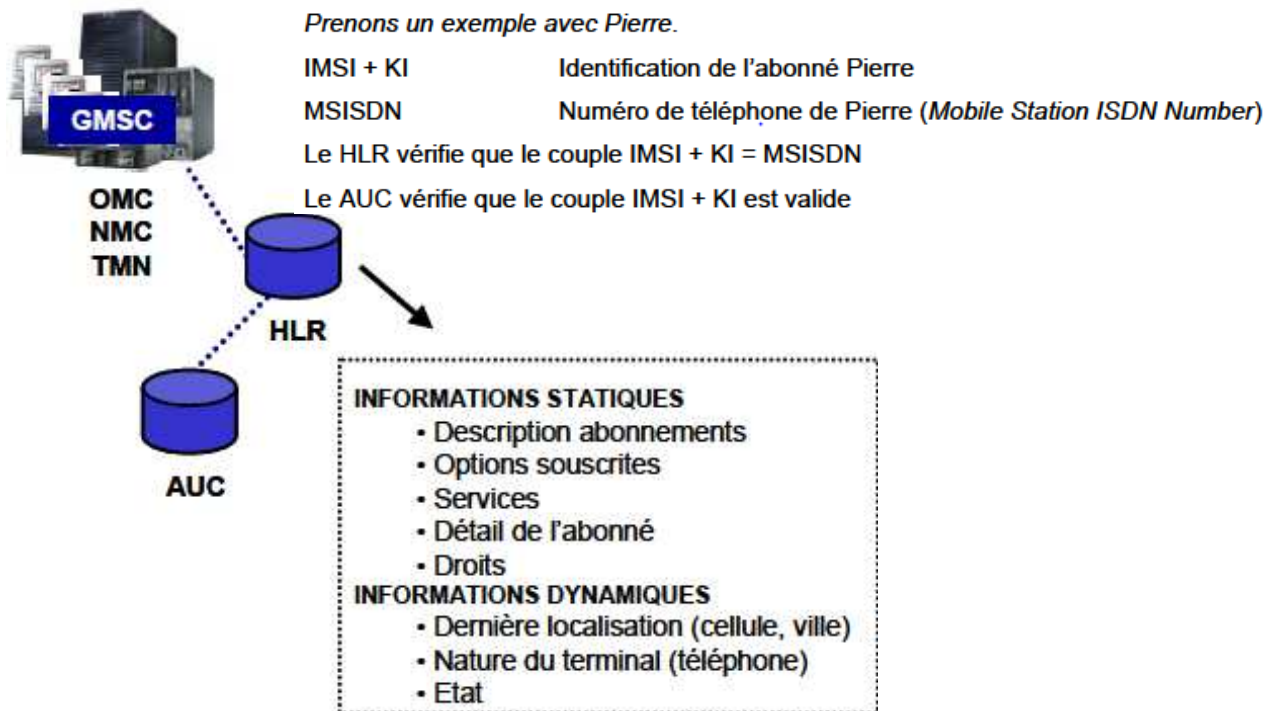


Figure I.4 : Les informations gérées par le HLR.

La fonction du MSC : Les MSC sont des commutateurs mobiles associés généralement au VLR. Le MSC assure l'interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public, et gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover si le MSC concerné est impliqué. Le commutateur est un nœud important, il donne un accès vers les bases de données des réseaux et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés. En connexion avec le VLR le MSC contribue à la gestion de mobilité des abonnés, ainsi le MSC possède la fonction passerelle GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un mobile.

Fonction du VLR : L'enregistreur de localisation des visiteurs est associé à un MSC. Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés, plusieurs MSC peuvent être reliés au même VLR, mais un MSC ne peut être relié qu'à un seul VLR et en général un VLR correspond à un seul MSC. Les données mémorisées par le VLR sont les mêmes que celles de l'HLR. De plus, le VLR contient ; son identité temporaire TMSI et sa localisation plus précise. La séparation matérielle entre MSC et VLR n'est pas précise, l'ensemble MSC/VLR peut gérer un certain millier d'abonnés [7, 8].

c. Le sous-système d'exploitation OSS :

L'administration des réseaux comprend toutes les activités qui permettent de mémoriser et de contrôler les performances et l'utilisation des ressources de façon à offrir un certain niveau de qualité aux usagers. Les différentes façons d'administration comprennent :

- L'administration commerciale
- La gestion de sécurité.
- L'exploitation et la gestion des performances.
- Le contrôle de configuration des systèmes.
- La maintenance

L'administration du réseau : OMC et NMC : Le NMC permet de l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé, alors que les OMC permettent une supervision locale des équipements. Les incidents mineurs sont transmis aux OMC qui les filtrent, tandis que les incidents majeurs remontent jusqu'au NMC.

L'enregistreur d'identité des équipements (EIR) : L'EIR (*Equipment Identity Register*) est une base de données contenant les identités des terminaux IMEI. Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau.

Le centre d'authentification (AUC) : L'AUC (*Authentication Center*) mémorise pour chaque abonné une clé secrète *ki* utilisée pour authentifier les demandes de service et chiffrer les communications. De plus, il contient les algorithmes d'authentification et de chiffrements utilisés sur le réseau, l'AUC est généralement associé à chaque HLR.

L'architecture TMN : Le TMN a pour objet de rationaliser l'organisation des opérations d'exploitation et de maintenance et de définir les conditions techniques d'une supervision efficace et économique de la qualité de service.

1.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) :

1.3.2.2.1 Présentation :

Le GPRS (*General Packet Radio Service*) fait son apparition en 2001, il représente une évolution majeure du GSM à travers l'utilisation de la commutation par paquet spécialement de l'internet. Un réseau GPRS comprend des abonnés mobiles ou fixes et peut être relié à divers réseaux de données fixes reposant sur différents protocoles : IP (*Internet Protocol*), X25 (protocole de l'IUT orienté connexion). Un des intérêts du GPRS est de permettre des débits instantanés supérieurs à ceux du GSM [6, 9].

1.3.2.2.2 Architecture :

Les recommandations GPRS reprennent l'architecture du BSS mais une architecture différente du NSS (l'introduction des deux nouvelles entités SGSN et GGSN). La figure 1.5 présente l'architecture du réseau GPRS. Le réseau GPRS est composé des entités suivantes :

- a. **SGSN (Service GPRS Support Node) :** L'entité SGSN (*Service GPRS Support Node*) se charge dans son aire de service des transmissions de données entre les stations mobiles et le réseau mobile, ainsi l'Authentification et l'enregistrement des stations mobiles au réseau GPRS. Le SGSN réalise la gestion de mobilité des stations mobiles. En effet, une station mobile doit mettre à jour sa localisation à chaque changement de zone de routage. Le SGSN est relié par des liens Frame Relay au sous-système radio GSM. Le SGSN est connecté à plusieurs BSC et présent dans le site d'un MSC.

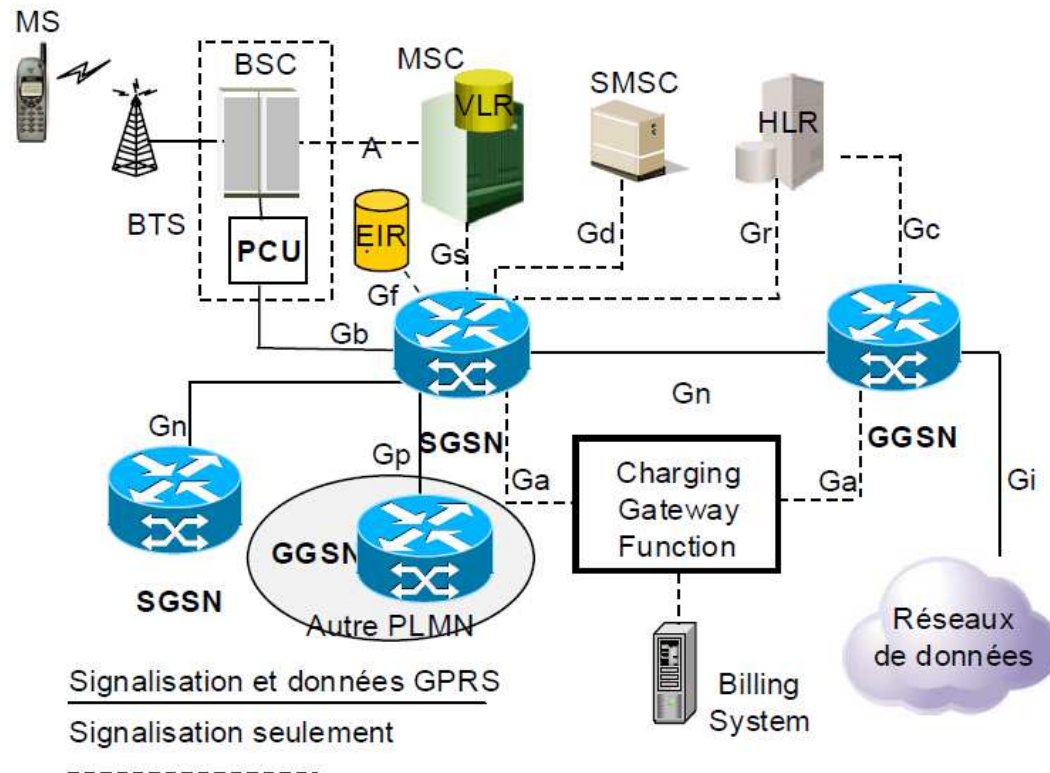


Figure I.5 : Architecture du réseau GPRS.

- b. GGSN (Gateway GPRS Support Node) :** L'entité GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) joue le rôle d'interface à des réseaux de données externes (Exp : X.25, IP). Elle décapsule des paquets GPRS provenant du SGSN les paquets de données émis par le mobile et les envoie au réseau externe correspondant. Egalement, le GGSN permet d'acheminer les paquets provenant des réseaux de données externes vers le SGSN du mobile destinataire. Le GGSN est généralement présent dans le site d'un MSC. Il existe un GGSN ou un nombre faible de GGSN par opérateur.
- c. Le module BG pour la sécurité:** Le concept BG (*Border Gateway*) permet de connecter le réseau GPRS via un réseau fédérateur et qui assure les fonctions de la sécurité pour la connexion entre les réseaux, ces BG jouent aussi le rôle d'interfaces avec les PLMN (*public land mobil network*) permettant aussi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux, par exemple deux réseaux des deux opérateurs.
- d. Le routeur IP :** L'opérateur peut prendre le parti d'administrer ses propre routeurs IP afin d'ouvrir le réseau GPRS vers les réseaux de données externes.

I.3.2.2.3 L'acheminement en mode paquet :

Lorsqu'un mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le BSS au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire. Le routage vers des terminaux fixes ou mobiles utilise le principe d'encapsulation et le protocole des tunnels, les données reçues par le GGSN sont transmises vers le SGSN dont dépend le mobile destinataire.

Ainsi les données recueillies en protocole IP de l'extérieur via un routeur IP pourront être communiquées dans des paquets X25 par le principe du tunnel (Figure I.6) (Encapsulation – Désencapsulation). On parle du protocole PDP (*Packet Data Protocol*).

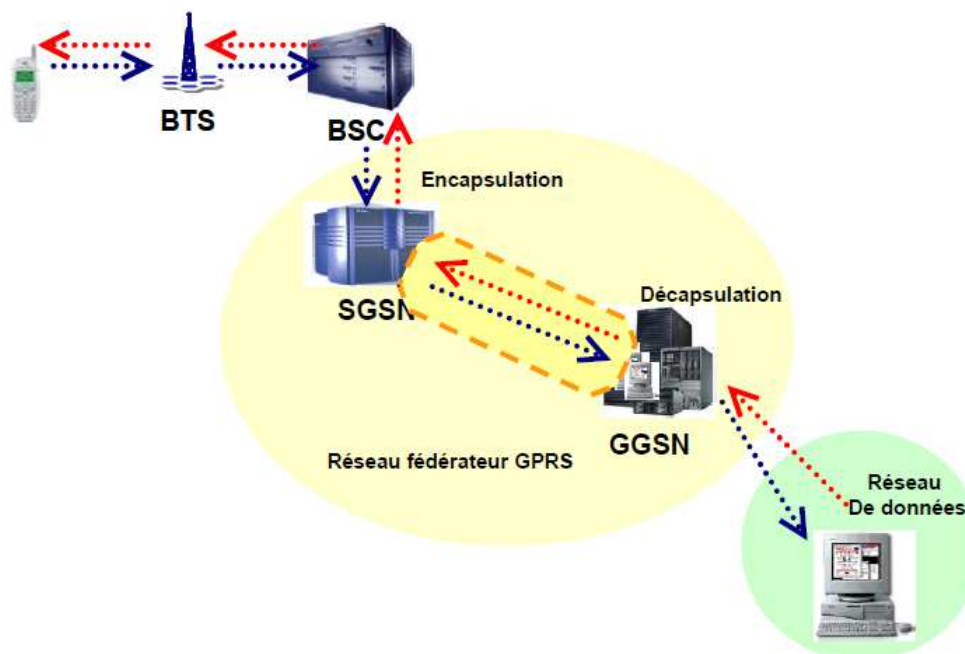


Figure I.6 : L'acheminement en mode paquet en GPRS.

I.3.2.3 Le réseau EDGE (2.75G) :

Au sein du projet EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*), une nouvelle modulation 8PSK a été spécifiée pour encore augmenter les débits offerts. Il est donc possible de multiplier les débits par trois par rapport au GPRS (qui utilise la même modulation GMSK à deux états que le GSM). La combinaison de l'EDGE et du GPRS, appelé GERAN : *GSM/EDGE Radio Access Network*, est une proposition « d'accès » au réseau UMTS de 3ème génération [8].

La combinaison d'EDGE avec les services circuits classique du GSM permet de définir des circuits de données à des débits allant jusqu'à 43.2kbit/s tout en utilisant un seul canal physique. Combiné au GPRS, c-à-d la fourniture de service de données en mode paquet, EDGE permet là encore d'augmenter sensiblement les débits offerts : neuf types de codages

sont normalisés permettant d'aller jusqu'à 59.2kbit/s par canal physique. De plus, les codages permettent de faire de l'adaptation de lien, c-à-d de choisir des schémas plus ou moins robustes suivant les conditions radios et de passer facilement de l'un à l'autre, même si des portions d'informations doivent être retransmises.

I.3.3 Les réseaux mobiles de la troisième génération :

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 [10].

I.3.3.1 Le réseau UMTS (3G) :

I.3.3.1.1 Présentation :

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 [11].

I.3.3.1.2 L'architecture de l'UMTS :

L'architecture du réseau UMTS, illustrée par figure I.7, est constituée d'une partie radio appelée RNS (*Radio Network Subsystem*) et d'une partie réseau de base appelée CN (*Core Network*).

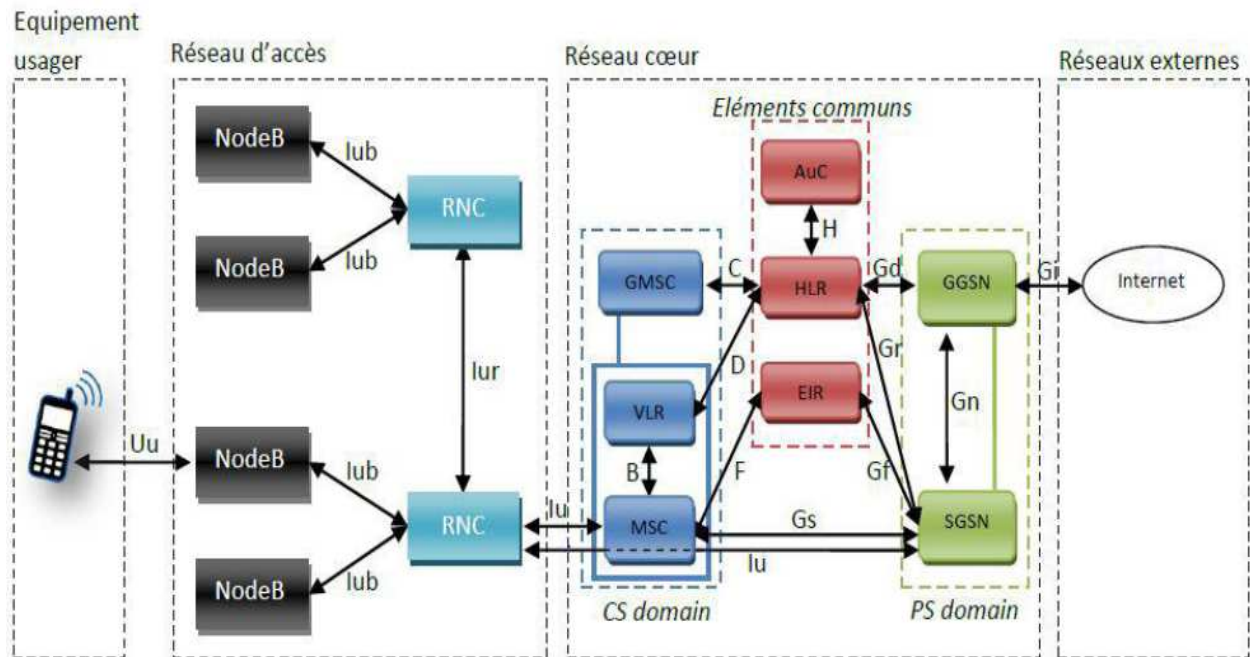


Figure I.7 : L'architecture du réseau UMTS.

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 externes.

L'UMTS élaborée dans le cadre du projet de partenariat de 3^{ème} génération (3GPP, *3rd Generation Partnership Project*) a défini deux domaines pour la partie CN [11] :

- **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, *PacketSwitched*), 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.

I.3.3.2 Le réseau de la 3G+ :

Aussi appelée *HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)* propose un débit encore plus important, avec un échange de données théorique de 14,4 Mbps, autrement dit 7,5 fois plus rapide que la 3G. On évoque parfois la 3G++ avec un débit théorique de 21 Mbps, mais cet acronyme reste peu utilisé. En quelques années, des extensions ont été mises au point afin d'améliorer les débits proposés. On observe notamment trois sous-technologies 3G :

- **HSPA** (*High Speed Packet Access*), parfois appelé génération 3,5G, qui se caractérise par une évolution de l'UMTS pour un débit maximum théorique de 14,4 Mbit/s et pratique d'environ 3,6 Mbit/s).
- **HSPA+** (*High Speed Packet Access +*), parfois appelé génération 3,75G, qui se caractérise par un débit maximum théorique de 21 Mbit/s et pratique d'environ 5 Mbit/s).
- **DC-HSPA+** (*Dual-Cell High Speed Packet Access+*), également appelé génération 3,75G, qui se caractérise par un débit maximum théorique de 42 Mbit/s et pratique de plus de 10 Mbit/s.

Les sigles 3G+, H+ ou DC peuvent également être utilisés par les opérateurs, cependant, leurs définitions, notamment en ce qui concerne les débits pouvant être atteints, peuvent différer selon les opérateurs.

I.3.4 Le réseau de la quatrième génération :

Toujours en cours de recherches et de standardisation, le réseau 4G (4ème 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 1Gb/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 (3,9G) :

LTE (*Long Term Evolution*) est la norme de communication mobile la plus récente qui est proposée par l'organisme 3GPP dans le contexte de la 4G. La norme LTE a d'abord été considérée comme une norme de troisième génération « 3.9G » (car proche de la 4G). Cette technologie est composée des deux parties : le réseau d'accès E-UTRAN, et le réseau cœur appelé SAE (*System Architecture Evolution*), elle 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.

Contrairement à la 3G qui nécessite d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz, le LTE propose plusieurs bandes de fréquences allant de 1.25 jusqu'à 20 MHz. Cela lui permettra de couvrir de grandes surfaces.

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

1.3.4.2 Le réseau LTE-Advanced (4G) :

Le LTE Advanced 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, grâce aux fréquences identiques et aux codages radio (OFDMA et SC-FDMA) qui sont ceux déjà utilisés dans les réseaux LTE (accès radio E-UTRAN).

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.

1.3.5 Le réseau de la cinquième génération (5G) :

Le réseau 5G constitue le futur de la téléphonie mobile, puisqu'il permettra aux abonnés de profiter de l'ultra haut débit, tout en limitant la consommation d'énergie des Smartphones. Son débit maximal devrait être de 1 Gbit/s pour les téléchargements, et 500 Mbit/s pour uploader des fichiers. Aujourd'hui, le réseau 5G est encore en test, même s'il est utilisé lors d'opérations militaires.

Pour l'instant, cette technologie reste très onéreuse, et l'on estime qu'elle ne sera proposée au grand public qu'en 2020. Pour en bénéficier, vous devrez alors investir dans un Smartphone

compatible. À l'heure actuelle, Samsung et Microsoft réalisent des tests, sur des prototypes de téléphones supportant cette nouvelle technologie. Le réseau 5G pourrait être déployé sur la bande L38, correspondant à une très haute fréquence, entre 1452 et 1492 MHz.

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 ensuite la deuxième génération GSM et son architecture, le GPRS, l'EDGE puis le réseau UMTS ainsi que ses deux évolutions HSPA et HSPA+, puis le réseau LTE et le LTE Advanced. Finalement, la 5ème génération laquelle est en cour de développement et standardisation.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier en détail le réseau LTE-Advanced, son architecture et ses nouvelles techniques de transmissions. Ce réseau fait l'objectif de notre projet de fin d'études.

Chapitre II :

Le réseau de la quatrième génération (LTE)

II.1 Introduction :

Dans le premier chapitre nous avons décrit les étapes majeures du développement des réseaux mobiles et ses évolutions dans le temps pour arriver au LTE. Ces rappels permettront de mieux appréhender le contexte d'émergence du LTE (Long Term Evolution), qui constitue un système dit de quatrième génération (4G).

L'évolution à long terme est l'équivalent français du terme anglais LTE. Elle désigne un projet réalisé par l'organisme de standardisation 3GPP ouvrant à rédiger des techniques qui permettront d'améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux futures évolutions technologiques. Les buts poursuivis pour le LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permettra le transfert des données à très haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevé que dans l'UMTS et une latence plus faible [13].

Ce chapitre a pour but d'une part décrire l'architecture globale du réseau, en incluant non seulement le réseau cœur et le réseau d'accès, mais aussi d'autres blocs avec leurs caractéristiques, et cela dans le but de montrer la relation entre eux. Et d'autre part, les interfaces radio et interfaces protocolaires.

II.2 La technologie LTE :

La technologie LTE (*Long Term Evolution*) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz), un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « *Downlink* », alors que la "vraie 4G" offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s.

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le WiFi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [14].

II.3 Buts de la 4G :

Les opérateurs se battent actuellement sur le déploiement de la « 4G », cette fameuse technologie qui devrait leur permettre de se différencier par la qualité de leur réseau. La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule.

Elle tente aussi d'offrir de meilleurs débits aux usagers en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers tout-IP.

La quatrième génération présente, pour l'amélioration des services, des plateformes multi-technologiques capables de supporter de nouvelles applications innovatrices.

II.4 Architecture générale du réseau LTE :

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio moyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure II.1 présente l'architecture générale du réseau LTE [15].

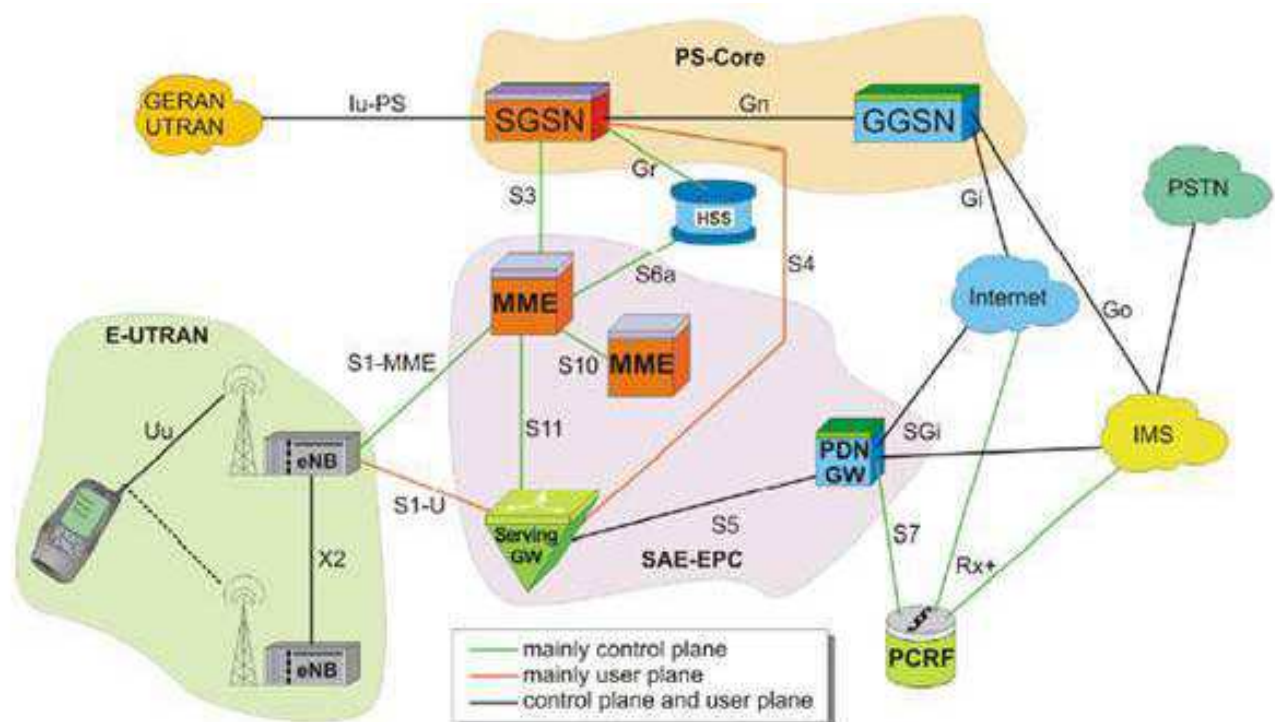


Figure II.1: Architecture générale du réseau LTE.

En réalité, l'ensemble de ce réseau s'appelle EPS (*Evolved Packet System*) (Figure II.2), il est composé des deux parties : le réseau évolué d'accès radio LTE, et le réseau cœur évolué appelé SAE (*System Architecture Evolution*).

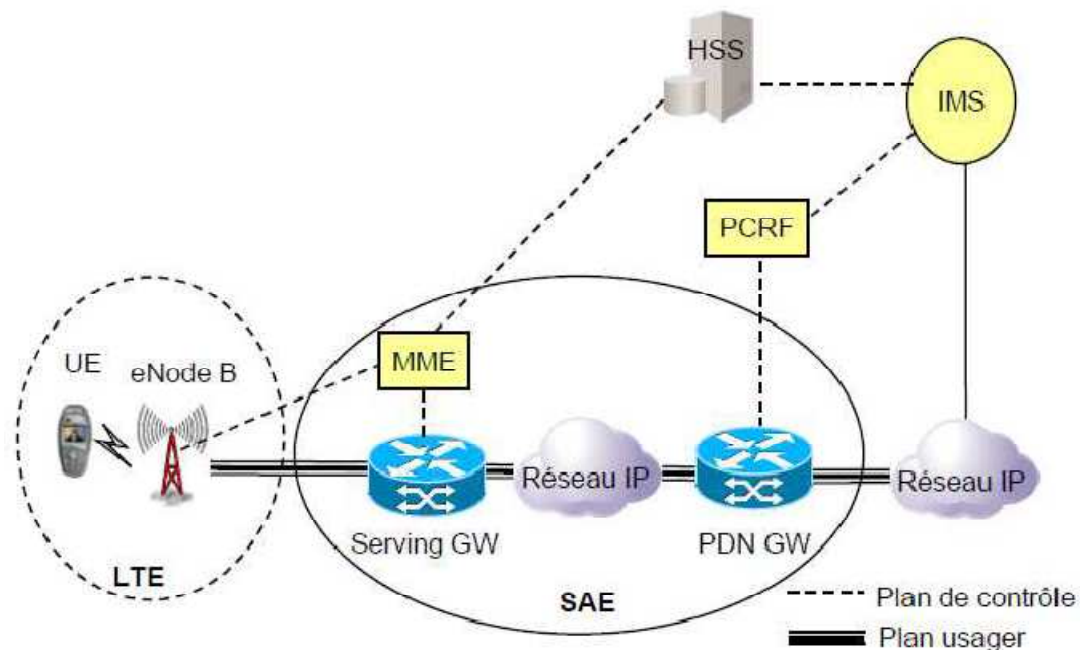


Figure II.2 : Architecture EPS (*Evolved Packet System*).

II.4.1 La partie radio E-UTRAN :

La partie radio du réseau, appelée « E-UTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2).

Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (*Radio Network Controller*) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

- a. **L'UE:** Les équipements mobiles (Smartphone, tablette, laptop) doivent être compatibles au réseau 4G qui permet un débit théorique de 100 Mbits/s. Pour en bénéficier, l'équipement UE doit donc offrir un débit de cette capacité.
- b. **eNodeB :** L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de *Handover* est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournissent la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le

réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB à la place de BSC ou RNC.

- c. **L'interface X2** : C'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le *Handover* ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1.
- d. **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 :
- **S1-U** (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW
 - **S1-C** (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

Les eNodeBs offrent deux qualités au réseau

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

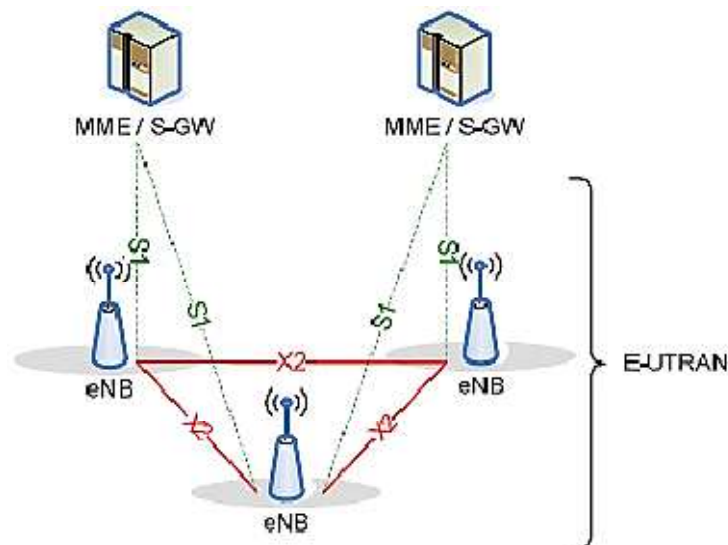


Figure II.3 : Les interfaces existantes dans l'E-UTRAN.

II.4.2 Réseau Cœur : EPC (Evolved Packet Core) ou SAE :

C'est le nom du réseau cœur évolué, paquet tout IP. EPC est aussi peut communiquer avec les réseaux 2G/3G. Le réseau cœur assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service et la gestion de la sécurité, au moyen des équipements, comme indiqué sur la figure II.4.

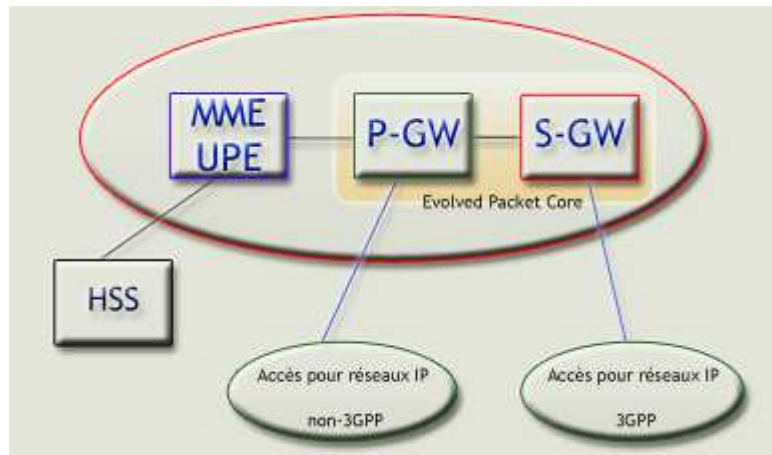


Figure II.4 : Entités de l'EPC (Evolved Packet Core).

- a. **MME (Mobility Management Entity)** : MME est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs. Elle est responsable aussi du Paging lorsque l'utilisateur est en état inactif. Elle sélectionne les composants dédiés aux types de la communication de l'utilisateur. Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux. Enfin, elle s'occupe de la signalisation.
- b. **Serving GW (Serving Gateway) ou UPE (User Plane Entity)** : Joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux. Responsable du routage des paquets.
- c. **PDN GW (Packet Data Network Gateway) ou IASA (Inter-Access System Anchor)** : Chargé de la mobilité entre différents systèmes, il est composé de l'élément 3GPP Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre LTE et les technologies 2G/3G, et l'élément SAE Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre le système 3GPP et les systèmes non 3GPP (WIFI, WIMAX, etc.). Sachant que l'élément SAE Anchor ne prend aucune décision concernant la mobilité, il exécute seulement les décisions prises par l'UE. Responsable de l'attribution des adresses IP aux utilisateurs.
- d. **HSS (Home Subscriber Server)** : Base de données, évolution du HLR de la 3G. Elle contient les informations de souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE..
- e. **PCRF (Policy & Charging Rules Function)** : Fournit les règles de la taxation.
- f. **EPDG (Evolved Packet Data Gateway)** : Un élément réseau qui permet l'interopérabilité avec le réseau WLAN en fournissant des fonctions de routage des

paquets, de Tunneling, d'authentification, d'autorisation et d'encapsulation / décapsulation des paquets.

II.4.3 La partie IMS (IP MultiMediaSub-system) :

II.4.3.1 Définition :

L'IP MultiMediaSub-system (IMS) est une architecture standardisée NGN (NextGenerationNetwork) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée (Figure II.5).

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux.

Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela que l'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire ; Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.

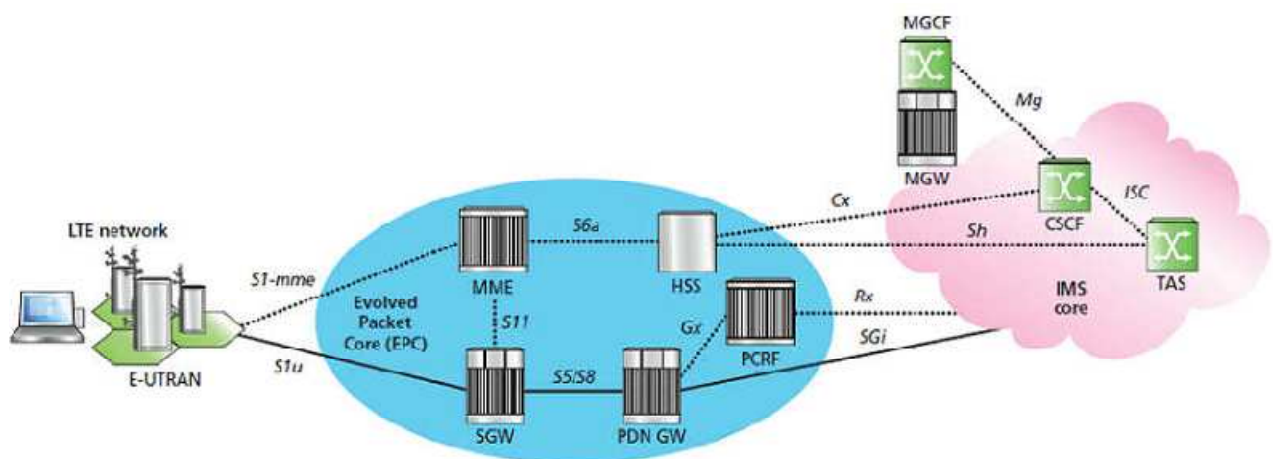


Figure II.5 : VoLTE via IMS dans le LTE

Citons quelques exemples de services de l'IMS :

- Echange de fichiers pendant un appel.

- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.
- Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel où il passe ses vacances.
- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

II.5 Caractéristiques du réseau LTE :

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

II.5.1 La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés :

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

II.5.2 Débits et fréquences :

Offrir de meilleurs services et de meilleurs débits aux usagers est un défi permanent des acteurs des communications mobiles, la technologie LTE a donc marqué l'avènement du très haut débit mobile. Au-delà des limitations capacitaires, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible.

La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais). Les exigences pour la technologie LTE ont porté également sur des gains de débit. Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants [14] :

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.
- Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :
- Deux antennes en réception.

- Une antenne en émission.

En complément, le débit est jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et unecourse aux débits est en marche dans certains pays. Enfin, des débits toujours plus élevésouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, sources de revenus et/ou dedifférenciation pour les opérateurs.

II.5.3 La latence :

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système, ainsi ; elle traduitla capacité du système à traiter rapidement des demandes d'utilisateurs ou de services. Unelatence forte limite l'interactivité d'un système et s'avère pénalisante pour l'usage de certainsservices de données. On distingue deux types de latence :

- a. La latence du plan de contrôle :** Représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service. L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.
- b. La latence du plan usager :** Définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

II.5.4 L'agilité en fréquence :

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant. Notons que le débit crête et les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

II.5.5 La mobilité :

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE)

sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent. Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra système.

II.5.6 La qualité de service :

La qualité de service (QoS) ou Quality of service (QoS) est la capacité à véhiculer dans de bonnes conditions le trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets. La qualité de service est un concept de gestion qui a pour but d'optimiser les ressources d'un réseau ou d'un processus et de garantir de bonnes performances aux applications critiques pour l'organisation. Les caractéristiques prises en compte pour déterminer la qualité d'un service sont évidemment variables en fonction du service proposé.

II.6 La couche physique :

Le rôle de la couche PHY est de fournir des services de transport de données sur les canaux physiques pour les couches RLC et MAC hautes, la couche Phy subit une profonde évolution puisque l'étalement de spectre est abandonné au profit de la transmission multi-porteuse. Cette technique d'accès, qui se généralise dans les systèmes cellulaires et sans fil, implique une nouvelle organisation des ressources radio. Par ailleurs, les techniques multi-antennaires MIMO prennent toute leur place dans LTE.

II.6.1 La modulation :

La modulation utilisée dans le LTE est une modulation adaptative qui varie en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB (Figure II.6). Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) ou (4-QAM), 16-QAM et 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*).

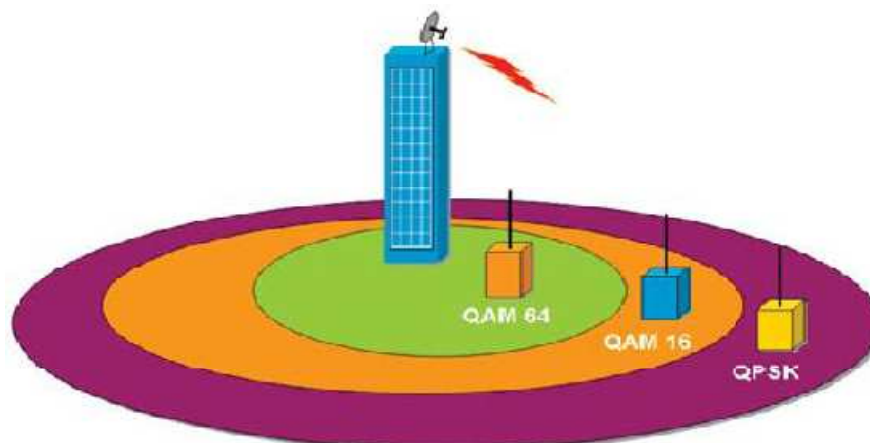


Figure II.6 : La technique de la modulation adaptative.

Par exemple, si les modulations disponibles sont le QPSK et le 16-QAM, dans le cas où le canal est marqué comme bon, on utilisera la modulation 16-QAM, qui offre un meilleur débit mais une plus faible robustesse. Par contre, si le canal est marqué comme dégradé, on utilisera la modulation QPSK, permettant un débit plus faible, mais plus robuste (moins sensible aux interférences) [16].

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) permet de doubler l'efficacité de la modulation d'impulsion en amplitude (PAM) en modulant les amplitudes des composants sinus et cosinus de la porteuse (Figure II.7). Le signal produit consiste en deux trains d'impulsions PAM en quadrature de phases.

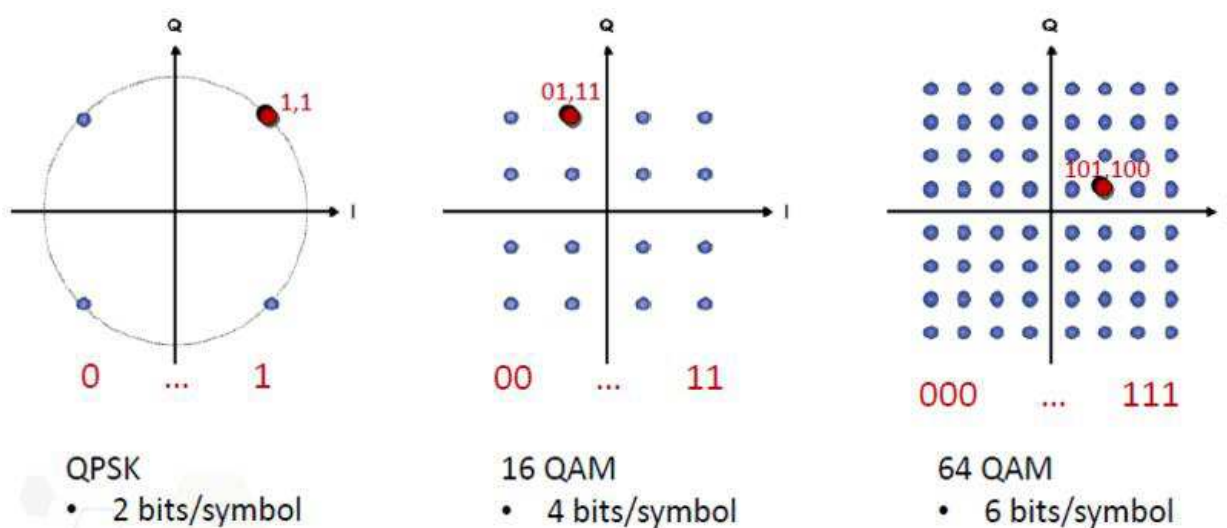


Figure II.7 : Consultations des modulations QPSK, 16-QAM et 64-QAM.

II.6.2 Les Techniques d'accès :

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

II.6.2.1 L'OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) :

Le multiplexage OFDM est une technique qui consiste à subdiviser la bande de transmission en N sous-canaux, conduisant à une augmentation de la durée symboles. C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide qui permet de diviser le flux de données à transmettre en N sous flux de données parallèles, qui seront transmis sur des sous bandes orthogonales différentes. Cette technique permet d'offrir une grande efficacité au niveau de l'utilisation du spectre et de la puissance grâce à l'utilisation de N sous-porteuse orthogonales et très proche l'une de l'autre (Figure II.8).

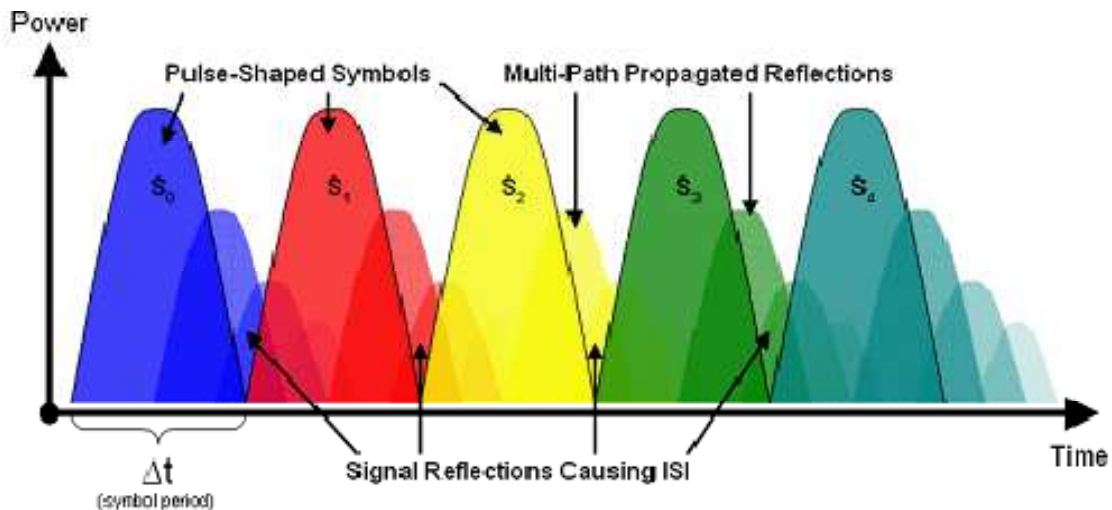


Figure II.8 : Principe de la modulation OFDM.

De plus, l'augmentation de la durée symbole accroît la robustesse de l'OFDM face au temps de propagation du aux trajets multiples (NLOS). D'autre part, une grande immunité contre les interférences inter-symboles créée par la propagation NLOS est apportée par l'insertion d'un temps de garde appelé aussi préfixe cyclique (CP) (Figure II.9). En effet, le symbole OFDM est allongé avec ce préfixe qui doit être plus grand que le plus grand des retards qui apparaissent dans le canal. Si un symbole d'une transmission précédente arrive en retard à cause de la propagation multi-trajets, il entre en collision avec le CP du symbole actuel, et comme la taille du CP est suffisante, cette collision ne peut pas affecter le reste du symbole, où il y a les informations utiles [16].

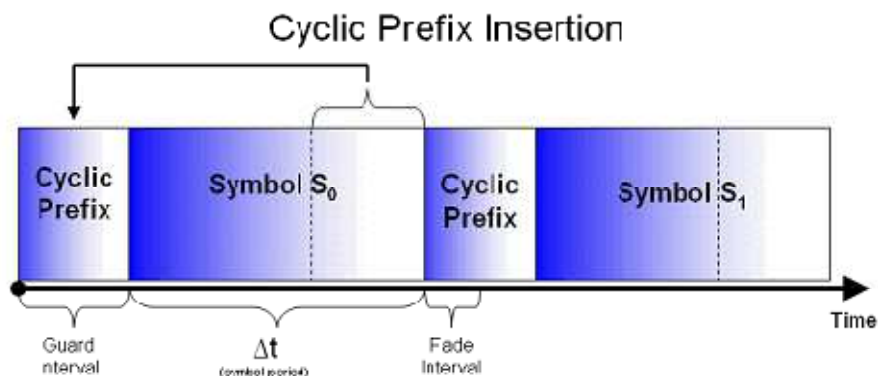


Figure II.9 : Principe d'insertion du Préfixe Cyclique.

II.6.2.2 L'OFDMA :

L'abréviation pour *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* est une technique d'accès basée sur la division en fréquence, elle se base sur L'OFDM, la différence entre ces deux techniques est montrée sur la figure II.10.

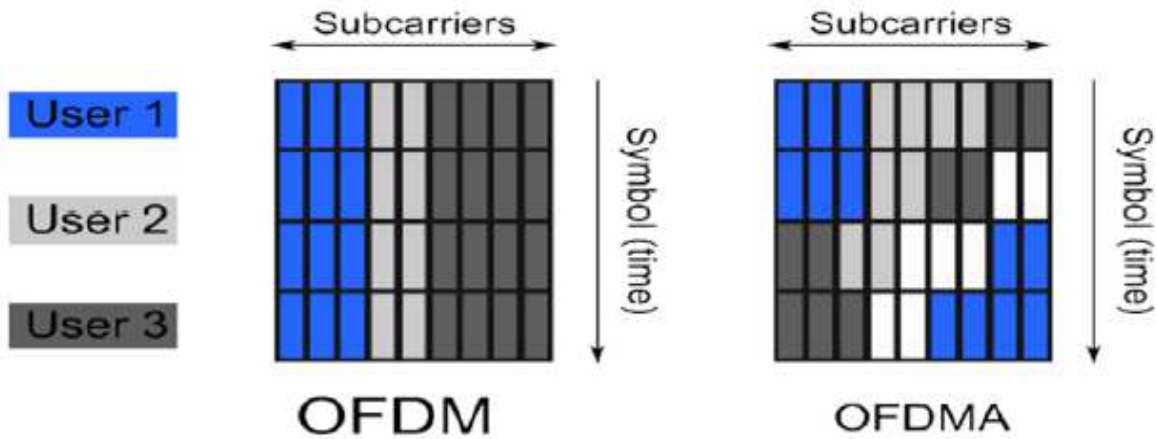


Figure II.10 : La différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA.

Si l'OFDM alloue à chaque user une porteuse et permet donc la transmission des données de plusieurs usagers à la fois, l'OFDMA permet de changer de porteuse pour un usager après une durée de temps, un concept emprunté de la TDMA, ainsi en LTE la porteuse de 15Khz, ce qui fait qu'un symbole OFDMA dure $71.35\mu s$ ($1/150000+CP$), cette technique permet une meilleure protection contre le fading, car si ce dernier touche une fréquence l'ensemble des données relative à l'utilisateur seront perdu si l'OFDM est utilisé, par contre avec l'OFDMA seule une petite partie qui sera affecté. Cependant le problème du PAPR de l'OFDM reste toujours présent pour laquelle l'OFDMA n'est utilisé qu'en lien descendant car l'eNodeB a suffisamment de puissance d'émission alors que le terminal d'utilisateur (UE) a une autonomie limitée. Ainsi 3GPP à utiliser une méthode d'accès différente pour le lien montant : SC-FDMA.

II.6.2.3 SC-FDMA :

L'abréviation pour *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*, est une technique également dérivée de l'OFDM. La figure suivante montre la différence conceptuelle avec l'OFDMA expliquée dans le paragraphe précédent.

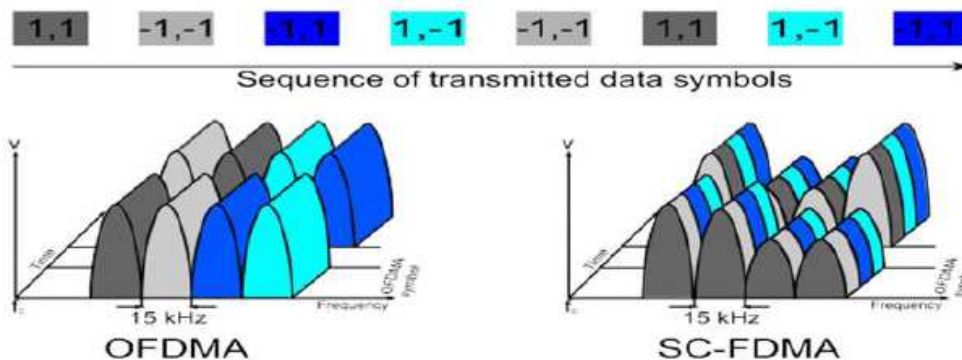


Figure II.11 : Les deux techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA.

Alors que l'OFDMA transmet plusieurs symboles en parallèle sur plusieurs sous-porteuses espacées de 15KHz résultant un symbole OFDMA d'une durée de 66.7µs, SC-FDMA transmet un seul symbole à la fois (série) mais qui est réparti sur l'ensemble des porteuses résultant ainsi un symbole de largeur $M \times 15\text{KHz}$ mais toujours d'une durée 66.7µs, réellement chaque sous-porteuse porte « un sous-symbole » mais visuellement c'est comme si il n'y a qu'une seule porteuse qui est utilisé d'où la nomination.

L'avantage c'est que le problème relatif au PAPR élevé disparaît car c'est la transmission en parallèle de plusieurs symboles qui le cause, tandis qu'avec la SC-FDMA la transmission est série qui est certes plus lente mais assure un faible PAPR qui permet à l'amplificateur RF du mobile de consommer un minimum d'énergie, raison pour laquelle elle a été adoptée pour le lien montant.

II.6.2.4 Structure des trames :

LTE utilise deux types de structure de trames : le « type 1 » pour le mode FDD et FDD Half-Duplex, et le « type 2 » pour le mode TDD, la figure II.12 montre la trame « type 1 ».

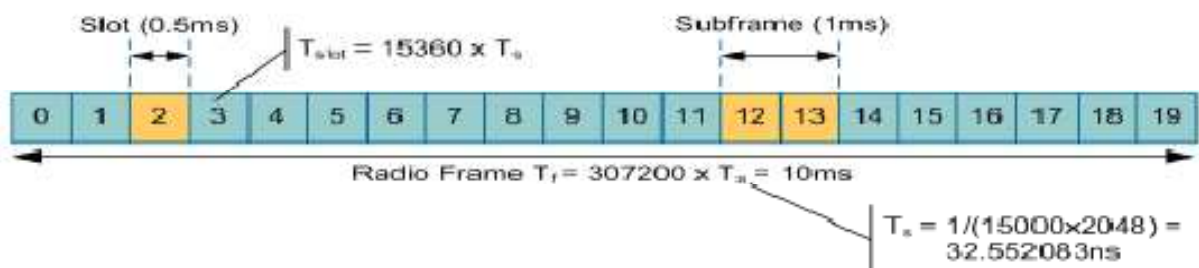


Figure II.12 : Structure de la Trame FDD « type 1 ».

Une trame LTE FDD dure 10ms et se compose de 10 sous-trames de 1ms chacune, une sous-trame se compose de 2 intervalles de temps (*time slot*) d'une durée de 0.5ms chacun. La même structure est utilisée que ça soit en lien montant ou descendant.

Le « type 2 » utilisé pour le Mode TDD (Figure II.13). On retrouve également une trame d'une durée de 10ms et se compose 10 sous-trames de 1ms chacune, une sous-trame se compose de 2 intervalles de temps d'une durée de 0.5ms chacune ce qui change c'est qu'un intervalle de temps peut être utilisé soit en lien montant ou descendant en fonction des besoins, et à chaque changement d'un intervalle de temps du lien descendant vers le lien montant (pas l'inverse), et à chaque changement d'un intervalle de temps du lien descendant vers le lien montant (pas l'inverse), un intervalle de temps spécial est inséré qui contient une période de sécurité (GP) et des symboles pilotes, l'un de ses rôles est de laisser le temps pour que la partie électronique des équipements passe du mode *descendant* vers le mode *montant*.

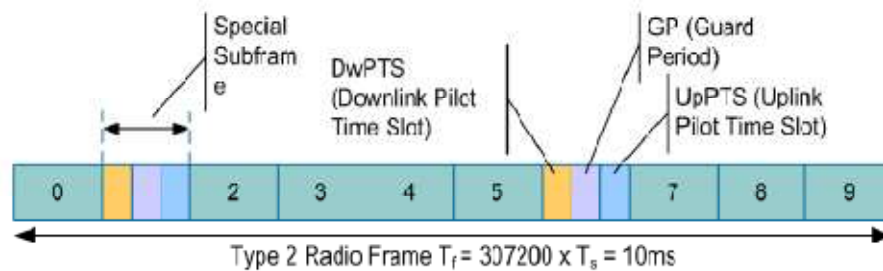


Figure II.13 : Structure de la Trame TDD « type 2 ».

II.6.2.5 Blocs de ressources :

Au niveau de la partie précédente, nous avons vu la structure des trames en LTE, nous allons maintenant zoomer sur un intervalle de temps afin de voir ce qui est transmis réellement au niveau de la couche physique.

L'unité de transmission en LTE s'appelle un Bloc de ressource (Figure II.14), elle occupe un intervalle de temps dans le domaine temporel (0.5ms), et 12 sous porteuses dans le domaine fréquentiel, chacune occupe 15Khz, ce qui fait qu'un bloc de ressource occupe 180Khz au total, chaque colonne d'un bloc de ressources représente un symbole OFDMA quand il s'agit d'une trame/intervalle de temps pour le lien descendant où un symbole SC-FDMA lorsqu'il s'agit d'une trame/intervalle de temps réservé(e) pour le lien montant [13].

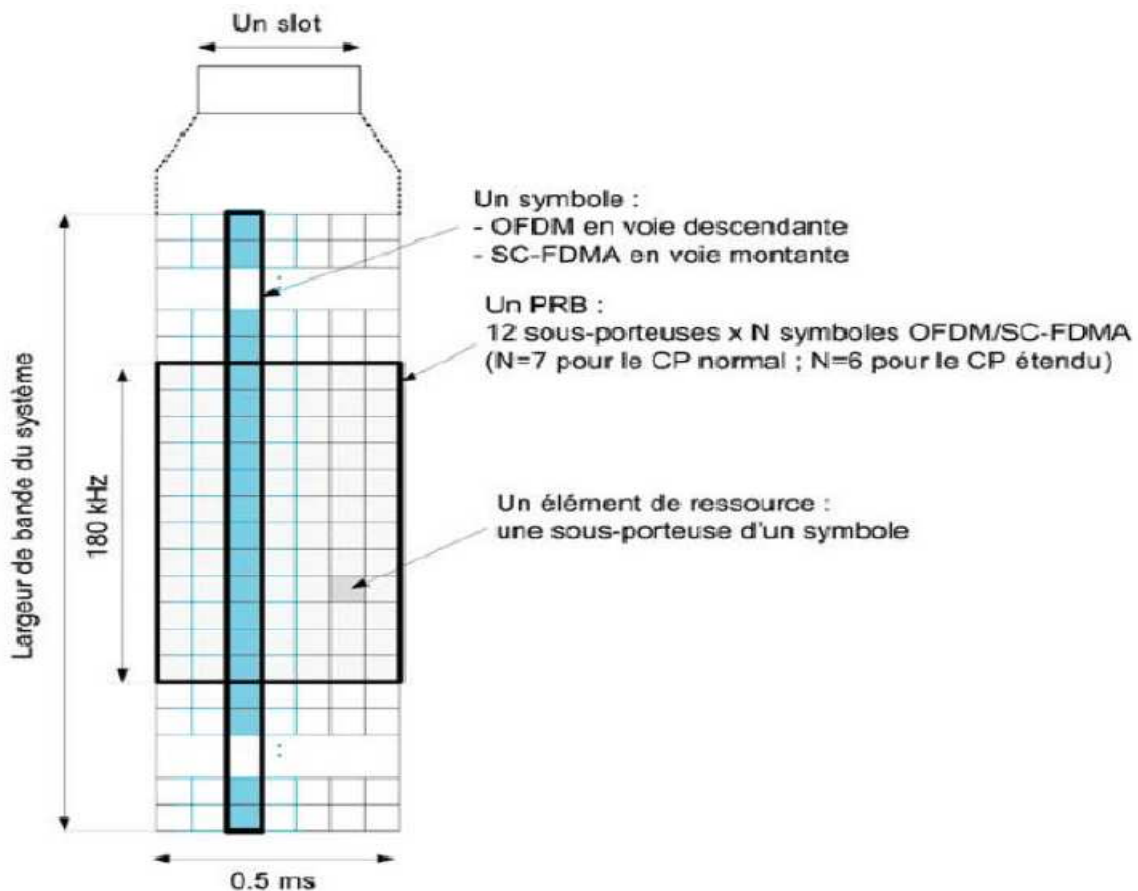


Figure II.14 : La structure d'un Bloc de Ressource.

Un bloc de ressource contient 7 symboles si le préfixe cyclique normal est utilisé, 6 symboles si le préfixe cyclique étendu est utilisé, chaque symbole dure environ 71.35 μ s, l'intersection entre les symboles temporels et les sous-porteuses donne naissance à ce qui est appelé des éléments de ressources, il s'agit de la plus petite unité de transmission, un élément de ressource contient un symbole modulé en BPSK/QPSK/16-QAM ou 64-QAM dépendant de la nature de cette donnée [13].

II.6.3 La technologie MIMO :

Les MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes du côté de l'émetteur et du côté du récepteur. Lorsqu'un tel système comprend, seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO (*Single Input Multiple Output*). De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, il est nommé MISO (*Multiple Input Single Output*). Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (*Single Input Single Output*) (figure II.15). La mise en place d'une telle structure permet à LTE d'atteindre des hauts débits et une grande capacité [17]. Les systèmes MIMO exploitent les techniques de:

- **Diversité d'espace** : Diversité d'antenne.
- **Diversité fréquentielle** : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- **Diversité temporelle** : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal

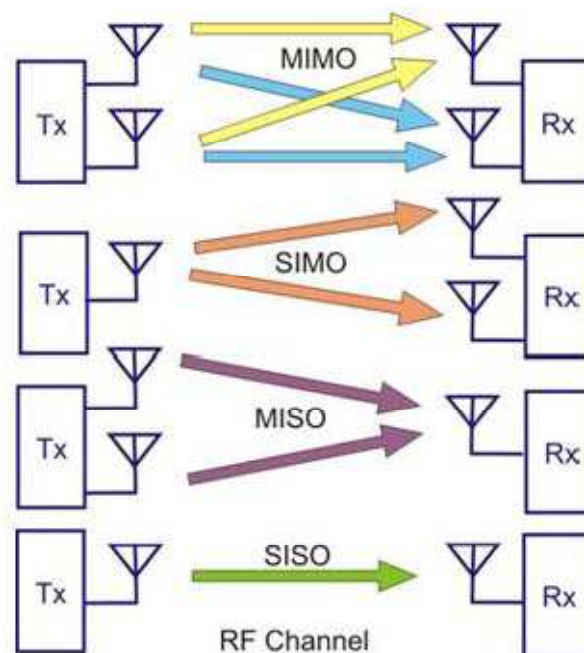


Figure II.15 : Les techniques de transmission multi-antennaires.

II.6.4 Les canaux :

II.6.4.1 Le concept de canal :

Le système LTE, de manière similaire à l'UMTS, utilise le *concept de canal* afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. Ces canaux sont des composantes de l'architecture du système et sont donc à distinguer du canal de transmission (qui capture les effets de la propagation radio) et du canal fréquentiel (ou porteuse) déjà rencontrés. On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés.

- **Les canaux logiques**, qui opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent.
- **Les canaux de transport**, qui opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio.
- **Les canaux physiques**, qui sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission.

II.6.4.2 Association des différents canaux :

La figure suivante décrit l'association entre les canaux logiques, de transport et physiques, respectivement pour la voie montante et la voie descendante [4].

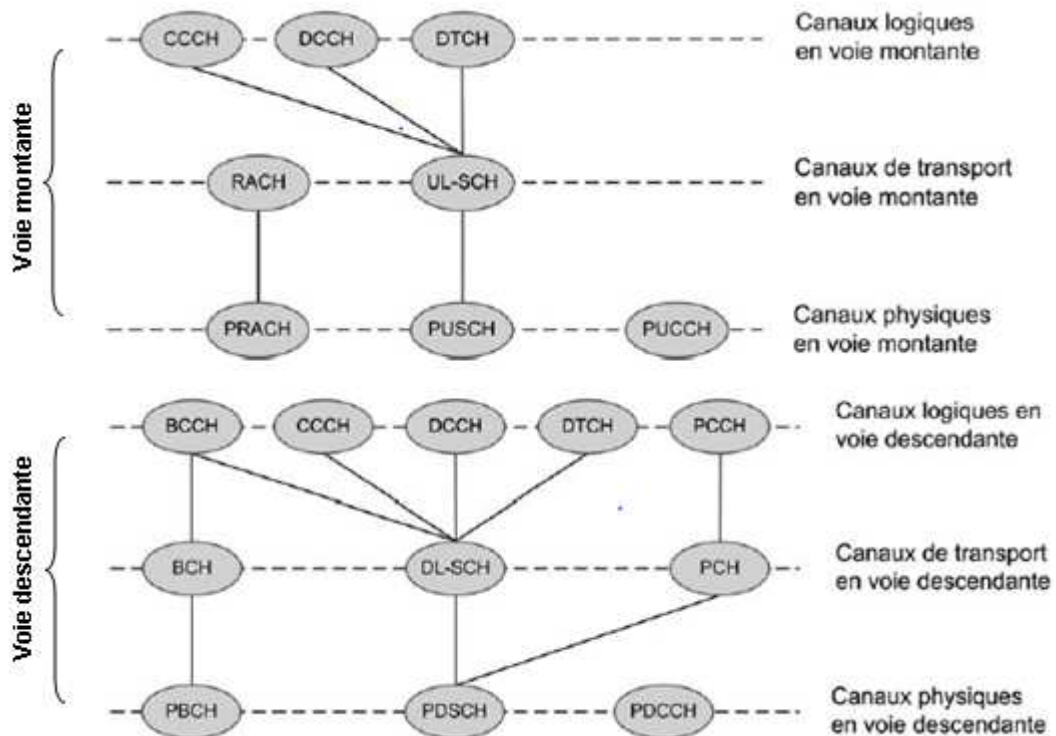


Figure II.16 : Association entre canaux logiques, de transport et physiques.

II.7 Le LTE- Advanced :

Par l'ITU pour la quatrième génération. LTE-Advanced est une technologie compatible avec le LTE et qui correspond aux releases 10 et suivantes du 3GPP. Pour pouvoir atteindre, voire dépasser, les exigences de l'IMT-Advanced et offrir des débits crête de l'ordre de 1 Gbps, il s'appuie sur un certain nombre de nouvelles fonctionnalités. La première d'entre elles est *l'agrégation de porteuses*. Alors que le LTE supporte une bande de fréquence maximale de 20 MHz, LTE-Advanced permet d'agréger jusqu'à cinq bandes de 20 MHz pour atteindre 100 MHz. Cela signifie une multiplication potentielle des débits utilisateur par cinq (5) à faible charge.

Pour l'opérateur, c'est la possibilité de faire de l'équilibrage de charge entre porteuses et de faire un usage optimal d'un spectre fragmenté. Du point de vue de la norme, la chaîne de transmission des canaux de transport doit être redéfinie, la signalisation et le contrôle de puissance doivent être adaptés [18].

II.8 Conclusion :

Au cours de ce deuxième chapitre, on a étudié le réseau de la quatrième génération LTE pour avoir une idée primordiale sur son fonctionnement, les différents éléments qui le composent. Pour cela, on a abordé en premier lieu, l'architecture générale du réseau LTE, les spécifications ainsi que les fonctionnalités de chaque bloque, puis les caractéristiques générales de cette génération du réseau cellulaire d'autant plus que nous avons défini les techniques d'accès appliquées à la couche physique. Finalement, 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. Cela peut nous faciliter la démarche du troisième chapitre qui concerne la planification et le dimensionnement de couverture pour le réseau LTE.

Chapitre III :

Dimensionnement du réseau d'accès 4G

III.1 Introduction :

Le but d'un réseau de téléphonie mobile « cellulaire » est d'offrir des services de voix et de données au public, les communications pouvant se faire n'importe où (dans la zone de couverture) et n'importe quand. Lorsqu'une communication est établie, celle-ci doit pouvoir se poursuivre avec un niveau de qualité satisfaisant, même si l'utilisateur est en situation de mobilité. Pour satisfaire ces exigences, l'opérateur du réseau doit déployer un certain nombre de relais radio (stations de base – SB) qui vont assurer l'interface entre les terminaux des abonnés et les infrastructures du réseau de communication. La portée d'un relais radio est liée aux puissances d'émission du relais et des terminaux, aux contraintes de protection contre les interférences entre relais, terminaux et services, ainsi qu'aux contraintes apportées par le canal radio lui-même (trajets multiples, évanouissements et affaiblissement de propagation).[19]

Le dimensionnement d'un réseau est la première étape du processus global de la planification permettant une première évaluation rapide de la densité et de la configuration des sites requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité. [20]

Dans ce chapitre, nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques intéressants surtout à la planification radio du réseau LTE pour différents modèles de propagation.

III.2 Le processus de dimensionnement :

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème complexe qui met en jeu à la fois des aspects théoriques et pratiques. Il s'agit de trouver la meilleure architecture cellulaire au regard de plusieurs critères que l'on peut résumer comme suit [19] :

- **Qualité de couverture** : garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir.
- **Absorption de la charge** : le réseau doit être capable de supporter ou desservir le trafic associé à chaque cellule.
- **Mobilité** : Faciliter le Handover lors des changements de cellules. Chaque station de base doit connaître ses voisines pour permettre à un utilisateur de se déplacer sans perte de communication.
- **Evolutivité** : un réseau cellulaire est en perpétuelle évolution, intégrant de nouvelles stations de bases, ou simplement de nouveaux TRX associés à chaque station de base.

Le dimensionnement se fait sur deux plans: le plan capacité et le plan couverture. En fait, l'analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception du réseau LTE [21]. Le processus entier peut se résumer en 4 grandes phases :



Figure III.1: *Processus de dimensionnement.*

- ❖ **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 de 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 de fin d'études, nous allons nous intéresser à la phase dimensionnement, qui consiste à déterminer le nombre des eNodeB requis, la capacité requise sur les interfaces X2 et S1.

III.3 Dimensionnement de couverture :

Le dimensionnement de la couverture d'un réseau consiste à déterminer le nombre des sites nécessaire pour couvrir une zone donnée. On va se baser sur le bilan de liaisons (RLB: Radio Link Budget), qui permet d'estimer le taux perte du trajet (*Path Loss*). Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié.

Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites nécessaire pour couvrir le domaine. Cette démarche se résume dans la figure III.2 [16]:

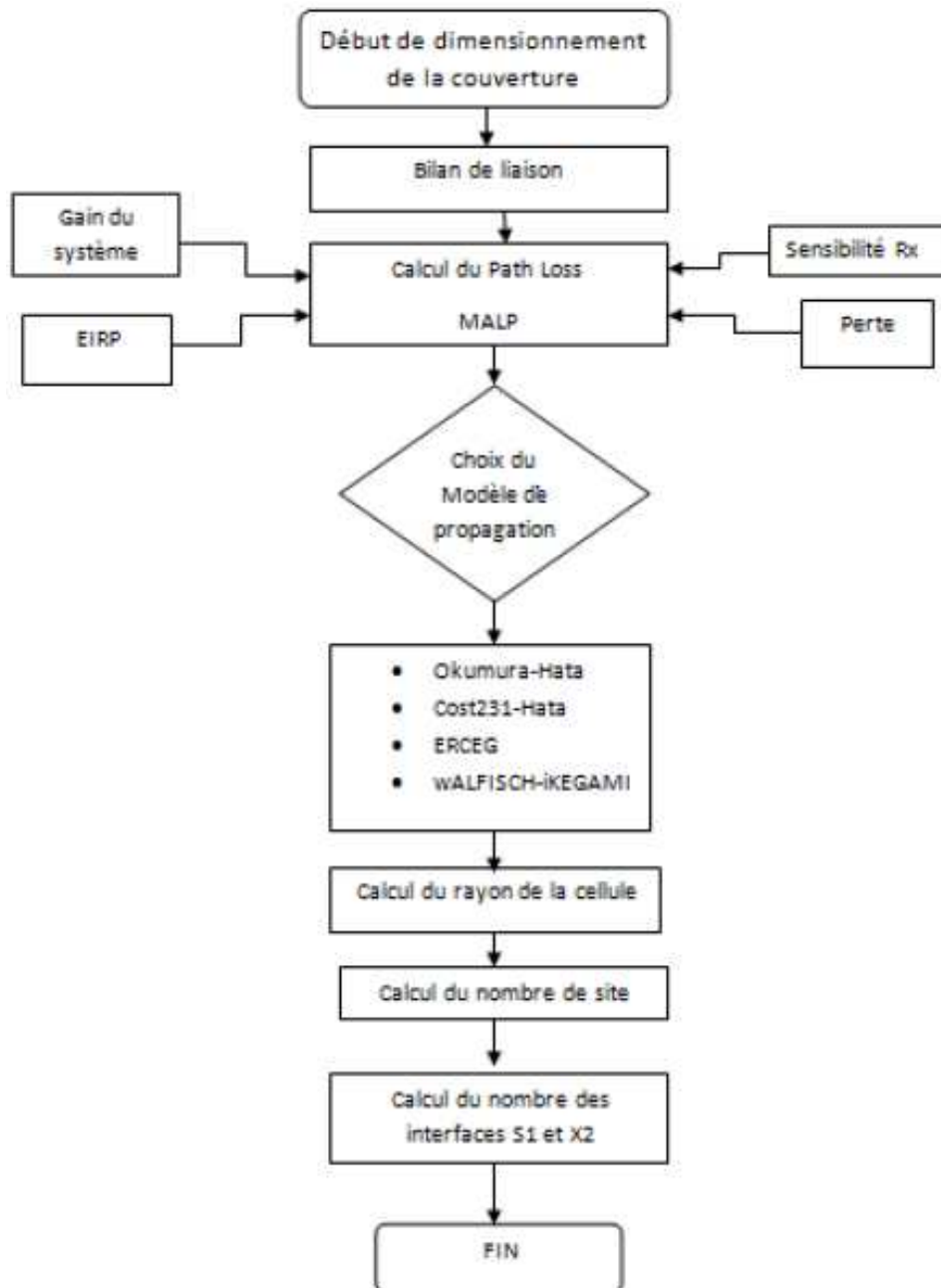


Figure III.2 : Algorithme de calcul de dimensionnement de couverture.

III.3.1 Bilan de liaison (RLB) :

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 ? Pour répondre à cette question est de déterminer l'affaiblissement maximal parcours (ou MAPL : *Maximum Allowable Path Loss*) en passant par établir un bilan de liaison radio (RLB). Il permet de prédire le rayon de couverture de la cellule en se basant sur la fréquence de fonctionnement, le modèle de propagation et les paramètres de l'émetteur (Tx) et du récepteur.

En effet, il s'agit d'additionner tous les éléments du gain (augmentation) ou de perte (diminution) dans la puissance du signal radio entre chaque extrémité [16, 10].

Pour le LTE, l'équation RLB de base peut être écrite comme suit (en dB) :

$$\text{Path Loss} = P_{Tx} - G_{Tx} - L_{Tx} + \text{Req SINR} + G_{Rx} - L_{Rx} - R_x \text{Noises} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

PathLoss: perte de trajet totale rencontré par le signal provenant de l'émetteur (dB)

P_{Tx} : La puissance transmise par l'antenne de l'émetteur (dBm)

G_{Tx} : Gain d'antenne d'émission (dBi)

L_{Tx} : les pertes de l'émetteur (dB)

ReqSINR: Minimum de SINR requis (dB)

G_{Rx} : Gain d'antenne de réception (dB)

L_{Rx} : Les pertes du récepteur (dB)

$R_x \text{Noises}$: Bruits du récepteur (dB)

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 peut ainsi être reformulée :

$$\text{MAPL} = \text{PIRE} - \text{IM} + \text{RXg} - k + \text{SHG} - \text{RX} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*): L'affaiblissement maximal de parcours, exprimé en dB.

C'est le paramètre qu'on veut déterminer à travers l'établissement d'un bilan de liaison.

PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) : ou EIRP (*Equivalent Isotropic Radiated Power*), est la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope.

IM: Marge d'interférence.

RXg: Gain d'antenne de réception.

K: Perte de câble.

SHG: Gain de soft handover.

RX= Sensibilité de réception.

III.3.1.1 PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) :

La puissance rayonnée par une antenne est appelée Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) ou *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP). Elle correspond à la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour obtenir le même champ à la même distance. La PIRE est donnée en dBm par la formule suivante [21] :

$$\text{PIRE} = P + G - L_r \quad (\text{III.3})$$

Avec :

P : la puissance fournie à l'entrée de l'antenne

G : le gain de l'antenne étudiée

L_r : une perte supplémentaire dans la direction considérée.

Le tableau suivant regroupe tous les paramètres de calcul de la PIRE.

Paramètres	UE	eNode B
P_{Tx}	Puissances d'émission de l'UE (23dBm)	Puissances d'émission de l'eNodeB au niveau du connecteur de l'antenne (43 à 49 dBm).
$G_{Tx} = \sum_{UE/eNode B} G_i$	G_a : Gain de l'antenne de l'UE (dépend du constructeur). $G_{Tx, d}$: Gain de diversité (dépend du nombre d'antenne à l'UE).	G_a : Gain de l'antenne de l'eNodeB (dépend du constructeur). $G_{Tx, d}$: Gain de diversité (dépend du nombre d'antenne à l'eNodeB).
$L_{Tx} = \sum_{UE/eNode B} L_i$	L_{body} : Pertes du corps humain; dépend de l'équipement de l'utilisateur (clé USB, tablette, Téléphone). L_{other} : autres pertes liées à l'UE.	L_{feeder} : Pertes des câbles d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne, elle dépend du câble (1 à 6 dBm). L_{other} : autres pertes liés à l'eNodeB (connecteurs par exemple).

Tableau III.1 : Paramètres de calcul de la PIRE.

a) Puissance d'émission :

La puissance d'émission est la puissance maximale de la station de base (eNodeB) ayant une valeur typique pour la macro-cellule 43-46 dBm au niveau du connecteur d'antenne. La puissance de transmission maximale de 23 dBm pour le UE [22]

b) Gain d'antenne :

Le gain d'antenne est défini comme étant la puissance rayonnée par l'antenne, dans une direction donnée, par rapport à la puissance rayonnée par une antenne omnidirectionnelle parfaite qui rayonne uniformément dans toutes les directions. Il est exprimé en dB mais pour signifier que l'antenne de référence utilisée est isotrope, il est d'usage de parler de dBi [21]. La relation entre gain et la surface effective de l'antenne est donnée par:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \tag{III.4}$$

Avec :

A : Aire équivalente de l'antenne

λ : Longueur de l'onde rayonnée

L'antenne isotrope de référence à un gain $G=1$ et donc une aire équivalente:

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} \tag{III.5}$$

Il dépend principalement de la fréquence porteuse, de la taille de l'antenne et du type du dispositif. Le gain d'antenne de station de base typique est de 15 à 18 dBi. De même, selon le type de l'appareil, le gain de l'antenne du mobile varie de -5 dBi à 10 dBi.

III.3.1.2 Sensibilité du récepteur :

Un récepteur est caractérisé par sa sensibilité. La sensibilité « S » est le niveau de puissance minimal de réception pour éviter la coupure du lien radio. Elle est donnée par la formule suivante [23] :

$$S = 10 \log_{10}(K \cdot T \cdot B_{RX}) + \text{SINR}_{\text{requis}} + \text{NF} + \text{IM} - G_{\text{RX,d}} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

K : Constante de Boltzmann ($1,388062 \times 10^{-23}$)

T : Température ambiante en (k).

B_{RX} : Largeur de bande de réception, elle dépend du nombre de blocs ressources requis et la largeur d'un bloc de ressources.

SINR_{requis} : Valeur du SINR requise au récepteur, c'est un indicateur de la performance du système plus il est faible plus le système est performant, dépend du nombre de blocks de ressources, débit d'information requis etc.

NF : RF 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 d'échantillonnage et de quantification, etc.

G_{RX,d} : Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du type de récepteur et du nombre d'antennes.

III.3.1.3 La bande passante :

LTE fonctionne dans différentes largeurs de bande passante, y compris 1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz à la fois pour la liaison montante et descendante. La sélection de la largeur de bande est reliée directement à la capacité de la station de base, plus la bande est large plus le trafic qui peut prendre en charge est grand. Lors de la planification pratique, pour une première fois de déploiement, le dimensionnement se fait par une bande passante de 5 MHz, 10 MHz [23].

III.3.1.4 Marge de shadowing: L'effet de Masque :

Le *shadowing*, ou l'effet de masque (*slow fading*) est la variation du signal dû aux obstacles qui existent dans le milieu de propagation radio, tel que les bâtiments et la morphologie du terrain vallées, collines...).

III.3.1.5 Marge d'interférence :

La marge d'interférence est le niveau d'augmentation du bruit dû à l'augmentation de la charge dans la cellule. Il s'agit de deux types d'interférence : l'interférence intracellulaire et interférence intercellulaire. Dans le cas de la technologie LTE, l'utilisation de l'OFDM élimine les interférences intracellulaires. En outre, dans les cas de planification et d'optimisation pratiques, l'interférence totale sera la somme des interférences intercellulaires et du bruit thermique au niveau du récepteur [23].

III.3.2 Calcul du bilan de liaison pour les liens montant et descendant :

Cette phase de dimensionnement englobe les paramètres, les formules nécessaires au calcul d'un bilan de liaison pour les liens montant et descendant (Figures III.3 et III.4), ainsi que les différents seuils et large prise en compte et qui sont proposés par la norme.

III.3.2.1 Formules de calcul pour la liaison Montante (UL)[22]:

➤ **Pour l'émetteur UE :**

Pour le côté émetteur on va déterminer la PIRE en dBm cette dernière a été décrite précédemment :

$$PTX_{UE}[dBm] = [18 - 23]dBm$$

$$GTX_{UE}[dBi] = [-5 - 10]dBi$$

$$[dB] = [0 - 5]dB$$

$$PIRE [dBm] = PTX_{UE} + GTX_{UE} - L_{corps} \quad (III.7)$$

➤ **Pour le récepteur e-Node B :**

$$NF_{enode B}[dB] = 2 dB$$

$$N_{therm}[dB] = -118.4 dB$$

$$N_{RX}[dBm] = N_{FIG enode B} + N_{therm} dB \quad (III.8)$$

$$SINR[dB] = -7db$$

$$S[dBm] = N_{RX} + SINR \quad (III.9)$$

$$IM [dB] = [1 - 10]dB$$

$$L_{cables} [dB] = [1 - 6]dB$$

$$GRX_{enode B} [dBi] = [15 - 21]dBi$$

$$FFM [dB] = 0 dB \dots \text{(Fast Fading M)}$$

$$SHG [dB] = 0dB$$

$$MAPLE = PIRE - IM + GRX_{eNODEB} - L_{Cables} + SHG - S \tag{III.10}$$

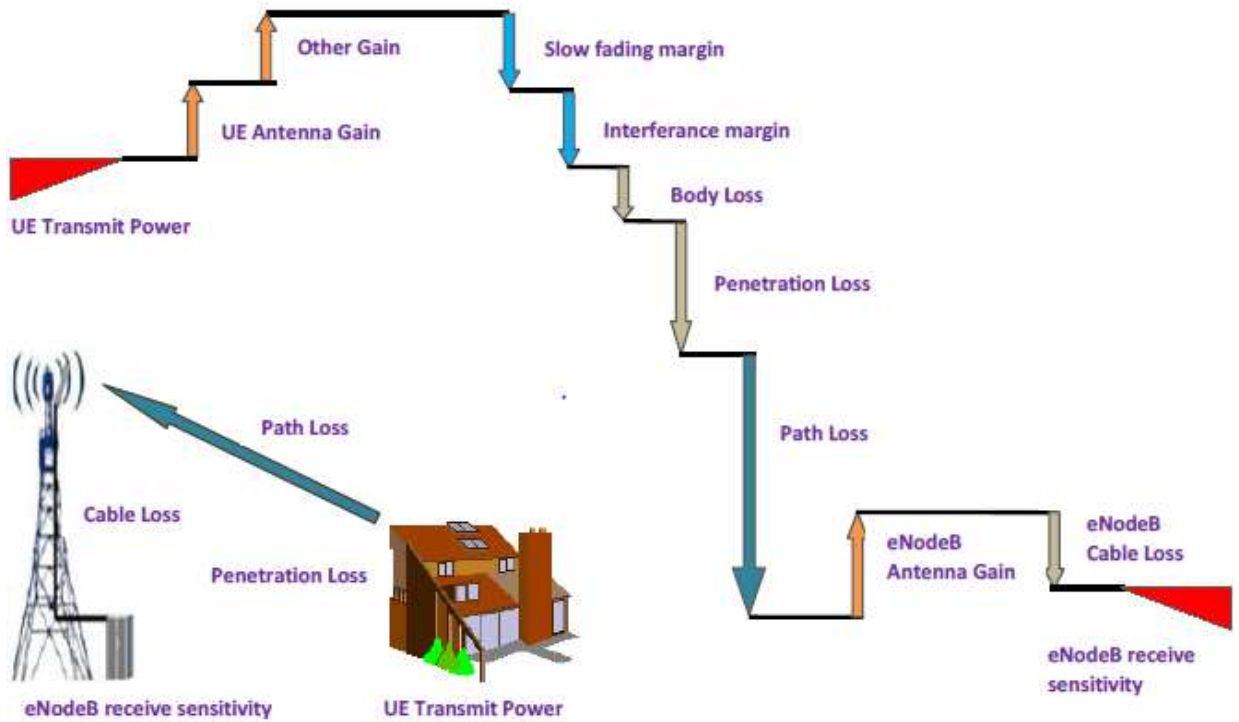


Figure III.3 :Modèle de bilan de liaison Uplink (UL).

III.3.2.2 Formules de calcul pour la liaison Descendante (DL): [22]

➤ Pour l'émetteur e-NODE B :

Pour le coté émetteur on va déterminer la PIRE en dBm cette dernière a été décrite précédemment :

$$PTX_{UE} [dBm] = [43 - 46]dBi$$

$$GTX_{UE} [dBi] = [15 - 18]dB$$

$$L_{cables} [dB] = [1 - 6]dB$$

$$PIRE [dBm] = PTX_{enode B} + GTX_{enode B} + L_{cables} \tag{III.11}$$

➤ Pour le récepteur UE :

$$NF_{UE} [dB] = [6 - 11]dB$$

$$N_{therm} [dB] = -104.5 dB$$

$$N_{RX}[dBm] = NF_{UE} + N_{therm} \tag{III.12}$$

$$SINR[dB] = -9dB$$

$$S[dBM] = N_{RX} + SINR \tag{III.13}$$

$$IM[dB] = [3 - 8]$$

$$CCO[dB] = [0.4 - 1]dB$$

$$GRX_{UE}[dBi] = [-5 - 10]dBi$$

$$L_{Corps}[dB] = [3 - 5]dB$$

$$MAPLE[dB] = PIRE - IM + GRX_{enode B} - CCO + L_{corps} - S \tag{III.14}$$

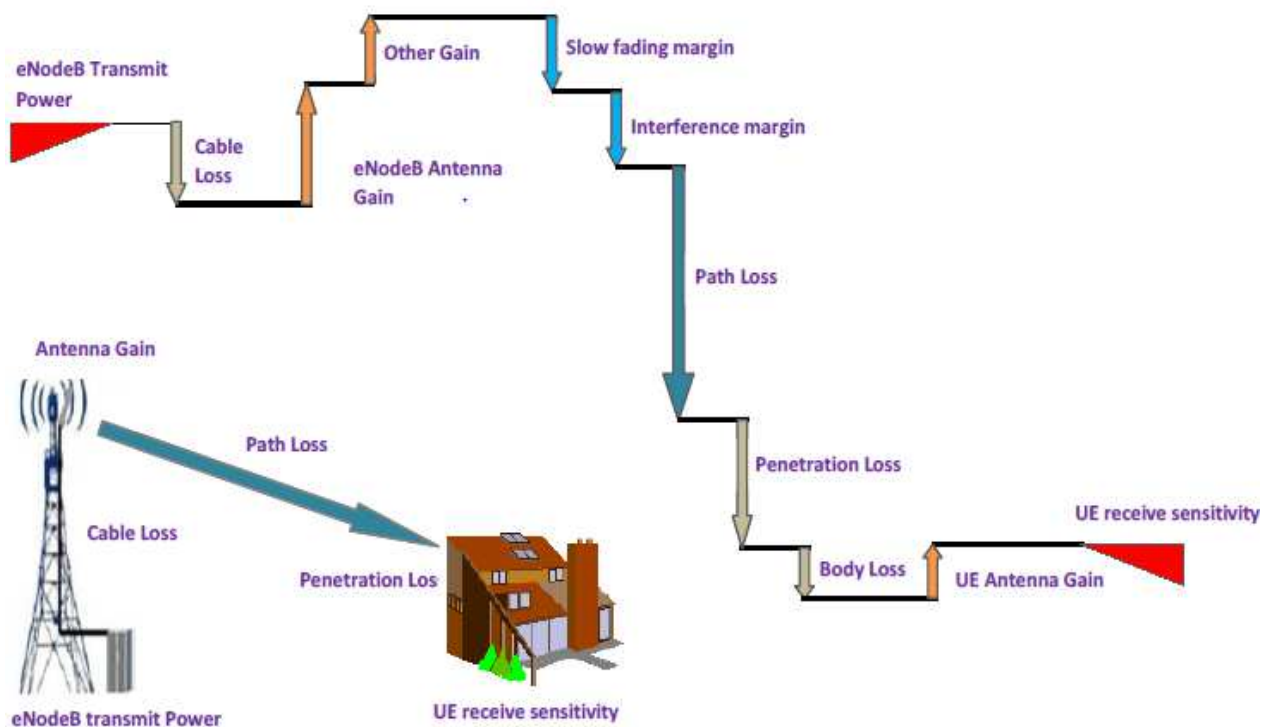


Figure III.4 :Modèle de bilan de liaison Downlink (DL).[24]

III.3.3 Types de modèles de propagation:

Les prédictions de couverture constituent deux méthodes distinctes :

a) Les modèles déterministes ou physiques :

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'informations sur la zone où ils vont être appliqués. De plus, ils demandent beaucoup de temps de calcul. Ils sont généralement réservés aux lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent être utilisés. Ces modèles permettent de

prédire la propagation des ondes radio et calculer les trajets des ondes radio en tenant compte des phénomènes de réflexion et diffraction [6].

b) Les Modèles empiriques :

L'élaboration de ces modèles repose sur la collecte de données concernant des mesures et des formules mathématiques pour permettre prédire l'impact ainsi que la valeur moyenne D'affaiblissement d'un émetteur sur une certaine zone de réception. Les modèles empiriques ont l'avantage d'être simples et de faiblement dépendre de la caractéristique d'un site. C'est pourquoi ils sont couramment employés pour les communications cellulaires pour une première estimation de la perte de propagation.

Les opérateurs doivent donc acquérir ces bases de données. Les données de terrain proviennent en général des images satellites qui permettent aujourd'hui d'estimer l'élévation locale de terrain avec une résolution de l'ordre de 3m. Ces données coûtent relativement chères, qui dépend des facteurs suivants:

- Les hauteurs des antennes d'émission et de réception.
- Distance parcourue par l'onde.
- Caractéristique et densité des bâtiments.
- Saison (hiver, printemps...)
- Type de terrain.
- Fréquence de l'onde.

III.3.3.1 Propagation en espace libre (Free Space):

On parle de propagation en espace libre lorsque le signal traverse un milieu vide sans obstacle. Bien que ce modèle soit idéal, il peut être considéré comme point de départ pour tout autre modèle.

L'affaiblissement de parcours dans un espace libre est donné par:

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

Avec d : la distance, F : la fréquence et c : la célérité de la lumière.

III.3.3.2 Le modèle Okumura-Hata:

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, au niveau des outils de planification cellulaire, il est basé sur des mesures effectuées dans les environnements de Tokyo par Okumura. Ce modèle est appliqué pour des cellules de taille relativement grandes (de rayon supérieur à 1 Km), il

prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous-urbain, rural) (Tableau III.2). Les conditions d'applications du modèle sont les suivants :

F: désigne la fréquence en MHz $\in [150,1500]$

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

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

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</p> $a(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7] \cdot h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$
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</p> $a(h_m) = 8.29[\log_{10}(1.54h_m)]^2 - 1.1, \text{ pour } F \leq 300 \text{ MHz}$ $a(h_m) = 3.2[\log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97, \text{ pour } F \geq 300 \text{ MHz}$
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2[\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ <p>Où</p> $\alpha = 35.94, \text{ si la zone est rurale quasi-ouverte.}$ $\alpha = 40.94, \text{ si la zone est rurale ouverte.}$

Tableau III.2 : Paramètres du modèle Okumura-Hata[25].

III.3.3.3 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) [10]. Les formules de calcul sont données par le tableau III.3.

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

Tableau III.3 : Paramètres du modèle COST-231 Hata[25].

III.3.3.4 Le modèle Walfish-Ikegami:

On utilise ce modèle pour les environnements urbains et sous-urbains. Généralement, il est conçu pour des fréquences inférieures à 2 GHz. Mais, il peut être étendu pour atteindre des fréquences jusqu'à 6 GHz. Selon ce modèle (Tableau III.4), l'expression du *Path Loss* peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaires comme suit:

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd} \tag{III.16}$$

L_0 : Propagation en espace libre.	$L_0 = 32.4 + 20 \log_{10}(d.F)$ <p>d: distance en Km F: Fréquence en MHz</p>
L_{rst} : perte de diffraction du toit vers la rue.	$L_{rst} = -16.9 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(F)$ $+ 20 \log_{10}(h_{roof} - h_m) + Lori$ <p>h_{roof}: hauteur des bâtiments. F: fréquence en MHz. h_m: hauteur du mobile. w: largeur de la rue en mètre. Lori : facteur de correction prenant en compte l'orientation de la rue. $Lori = -10 + 0.345\phi$ pour $0 \leq \phi < 35$ degré $Lori = 2.5 + 0.075(\phi - 35)$ pour $35 \leq \phi < 55$ degré $Lori = 4 - 0.11(\phi - 55)$ pour $55 \leq \phi \leq 90$ degré Avec ϕ est l'angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue.</p>

L_{msd} : perte par diffraction multimarques.	$L_{msd} = L_{bsh} + Ka + Kd \log_{10}(d) + Kf \log_{10}(F) - 9 \log_{10}(b)$ <p>Avec :</p> <p>b : séparation entre bâtiments en m.</p> <p>Ka : 54</p> <p>Kd : 18</p> <p>Kf : $-4 + 0.7(F/(925 - 1))$, pour les cités moyennes et centres sous urbains, avec densité d'arbre modéré.</p> <p>Kf : $-4 + 1.5(F/(925 - 1))$, pour les centres métropolitains.</p> <p>$L_{bsh} = -18 \log_{10} \left(1 + (h_b - h_{roof}) \right) \text{si } h_b < h_{roof}$</p> <p>Sinon $L_{bsh} = 0$</p> <p>Avec :</p> <p>h_b : hauteur de station de base.</p> <p>h_{roof} : hauteur des bâtiments</p>
---	---

Tableau III.4 : Paramètres du modèle COST-231 Walfisch-Ikegami [25].

III.3.3.5 Modèle ErceigGreenstein :

Le modèle ErceigGreenstein 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.5)

$$L = 20 \log_{10}(4\pi d_0/\lambda) + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + s + X_f + X_h \quad (\text{III.17})$$

d_0 : 100 mètres

d : distance en mètres

$$\gamma = a - (b \cdot h_b) + \frac{c}{h_b} \quad (\text{III.18})$$

Avec

h_b : la hauteur de la station de base entre 10 et 80m.

a , b , et c sont des constantes dépendant de la catégorie de terrain,

$$X_f = 6 \log_{10}(F/2000)$$

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

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

	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.5 : Paramètres de terrain pour le modèle Erceig-Greenstein [25].

L'effet de masque est donné par le paramètre s , qui suit une distribution logarithmique. La valeur typique de l'écart type de « s » est entre 8,2 et 10,6 dépendant du type de terrain et de la densité des arbres.

Le tableau suivant présente une comparaison entre les 4 modèles de propagation :

Modèle	Fréquence porteuse (Mhz)	Hauteur du mobile (m)	Hauteur de la station de base (m)	Distance (km)
Okumura-Hata	150 – 1500	1 – 10	30 – 200	1 – 20
Cost231-Hata	1500 – 2000	1 – 10	30 – 200	1 – 20
Erceig-Greenstein	500 – 2000	2 – 10	10 – 80	----
Walfisch-Ikegami	800 – 2000	1 – 3	10 – 80	0,1 – 8

Tableau III.6 : Comparaison entre les 4 modèles de propagation.

III.3.4 Calcul du nombre de sites 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, nous pouvons 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.

Pour être un peu plus clair on peut prendre un exemple, en supposant que l'environnement est urbain et qu'on va y appliquer le modèle Okumura-Hata. Alors, on obtient:

$$MAPL = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(R_{Cell})$$

$$MAPL - 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) = [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(R_{Cell})$$

$$\log_{10}(R_{Cell}) = [MAPL - 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m)] / [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]$$

D'où le rayon de la cellule est donné par :

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

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. [23].

Nombre de secteur par site	Empreinte
1	$S_{Cell} = 2.6 \times R_{Cell}^2$
2	$S_{Cell} = 1.3 \times 2.6 \times R_{Cell}^2$
3	$S_{Cell} = 1.95 \times 2.6 \times R_{Cell}^2$

Tableau III.7 : Empreinte du site en fonction du nombre de secteur [26].

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_{site}), à l'aide la formule suivante [10]:

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

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 :

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

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

$$N_{site} = \text{MAX}(N_{site\ DL}, N_{site\ UL}) \quad (III.23)$$

III.3.5 Dimensionnement de l'interface S1 et X2 :

III.3.5.1 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 donné par la formule :

$$N_{X2} = N_{site} \times 2 \quad (III.24)$$

III.3.5.2 Interface S1:

Chaque eNodeB est connectée au réseau cœur par l'intermédiaire de l'interface S1 qui consiste en S1-Usager entre l'eNodeB et le SGW et S1-Contrôle entre l'eNodeB et le MME. On peut donc déduire que le nombre d'interface S1-U est égale au nombre d'interface S1-C :

$$N_{site} = N_{S1U} = N_{S1C} \quad (III.25)$$

III.4 Conclusion :

Le dimensionnement consiste à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées.

Or, dans ce chapitre nous avons traité les principes de base de la planification et le dimensionnement radio du réseau LTE-A, particulièrement les e-NodeB en basant sur les modèles de propagation empiriques, le bilan de liaison dans les deux sens UL et DL ainsi que le dimensionnement des interfaces X2 et S1, nous avons aussi introduit les concepts mathématiques et les calculs nécessaires pour la conception de notre outil de planification lequel on va développer par la suite.

Chapitre IV:

**Conception et réalisation de l'outil de
planification radio du réseau LTE-A**

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va développer une application permettant de faciliter le processus de planification de couverture radio. En effet, cette application est composée d'un ensemble d'interfaces graphiques permettant à l'utilisateur de calculer certains paramètres et arriver au choix du modèle de propagation le plus adéquat tout en optimisant les ressources et garantissant la qualité de couverture satisfaisante. Pour cela, on a choisi le logiciel Matlab pour la réalisation et la conception de notre outil de planification.

IV.2 Présentation du logiciel Matlab :

Le logiciel 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.

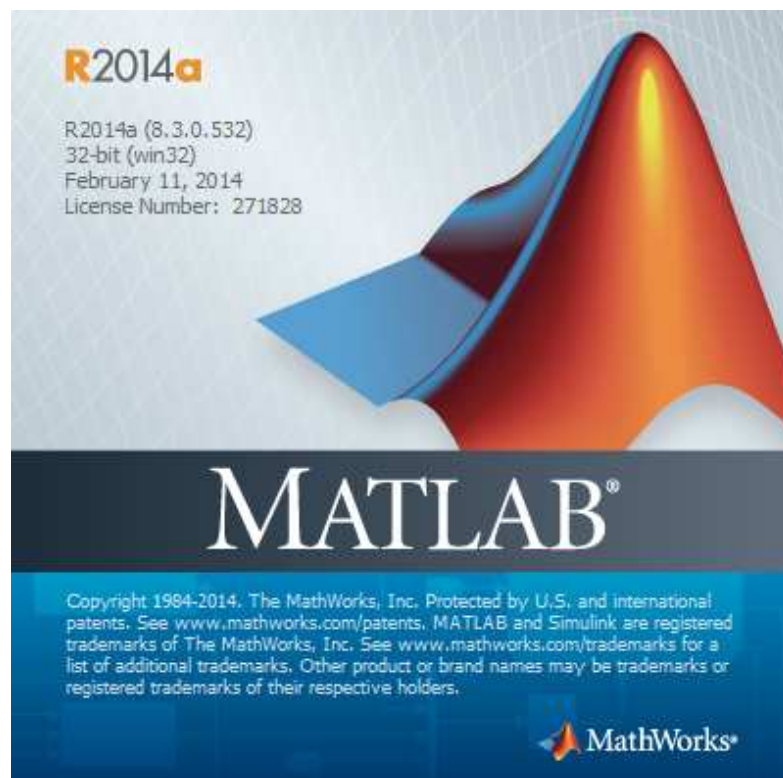


Figure IV.1: Logo Matlab.

IV.3 Création d'une interface graphique MATLAB :

Pour créer une interface graphique sous MATLAB on doit :

- Aller à l'écran de base qui comprend l'écran de contrôle command Windows ainsi que des fenêtres complémentaires permettant de suivre le fonctionnement général d'une application.
- Taper l'instruction **guide** sur la ligne de commande (Figure IV.2), ou bien cliquer sur « new », puis « *Graphical User Interface* » :

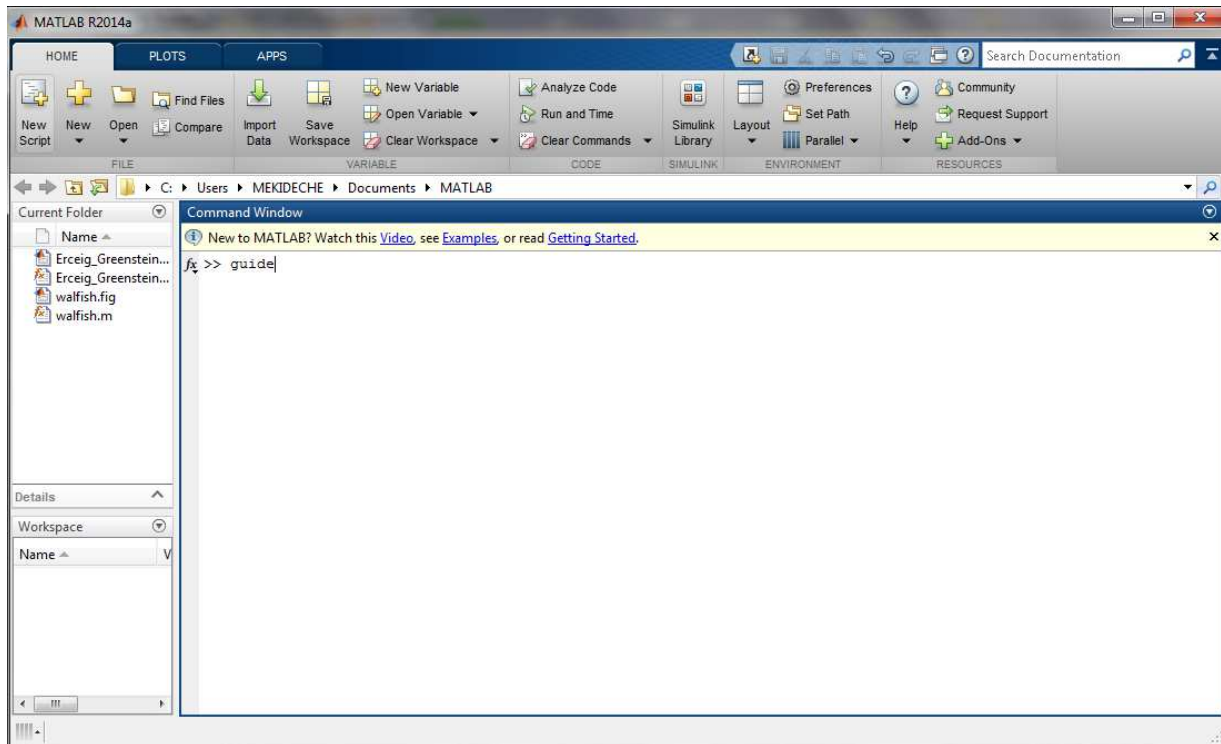


Figure IV.2 : Fenêtre principale du Matlab.

- Choisir le « *Blank GUI* », c'est une interface vide ou interface par défaut (Figure IV.3).

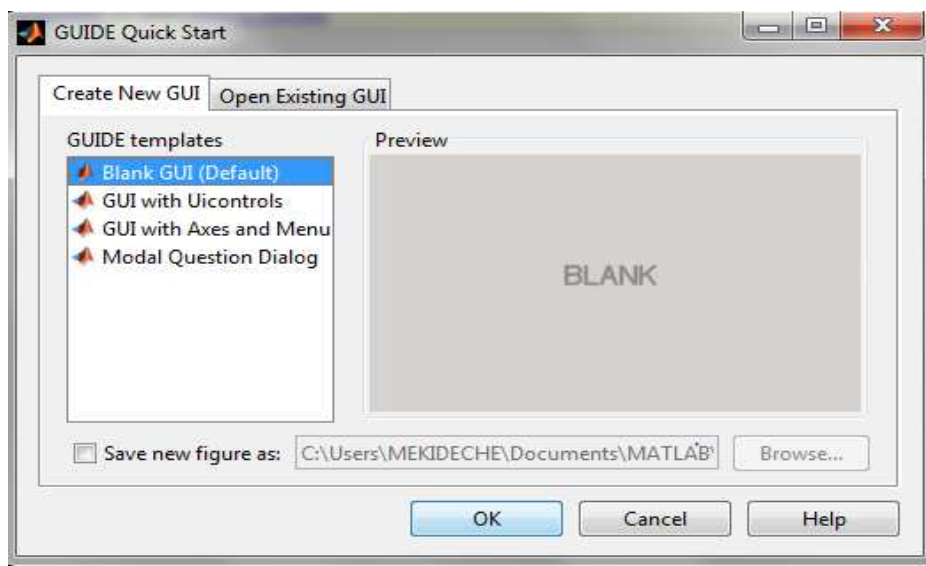


Figure IV.3 : Fenêtre principale d'un nouveau GUI.

- Le placement des objets est réalisé par sélection dans une boîte à outils (Figure IV.4). Leur mise en place et leur dimensionnement se font à l'aide de la souris.

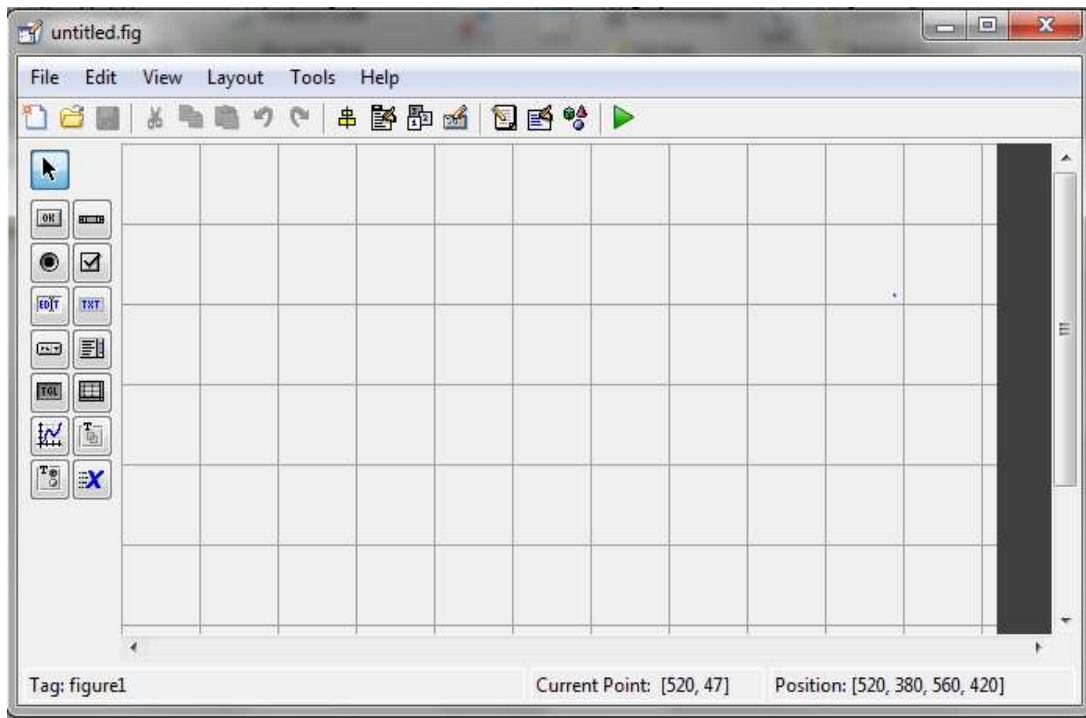


Figure IV.4 : Interface graphique MATLAB vierge.

- Un double-clic sur un objet permet de faire apparaître le *PropertyInspector* où les propriétés des objets sont facilement éditables (Figure IV.5). Leurs modifications et la visualisation de ces modifications sont immédiates.

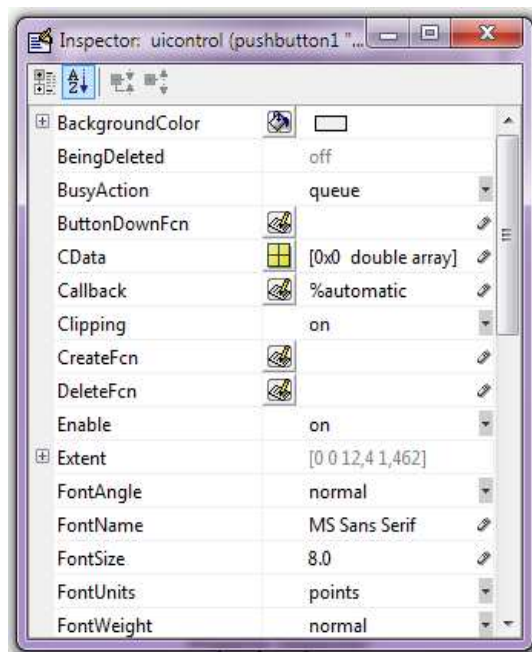


Figure IV.5 : Interface des propriétés des objets.

IV.4 Présentation de l'application développée :

IV.4.1 L'interface d'accueil :

Chaque application possède une page d'accueil ou de démarrage qui correspond effectivement à l'esthétique et à l'ergonomie. D'un autre côté, elle consiste à une solution idéale pour couvrir la latence du démarrage et de chargement, la figure ci-dessous montre la page d'accueil de notre application :



Figure IV.6 : L'interface Start du planificateur.

IV.4.2 Le bilan de liaison :

C'est la première interface qui apparaît après l'interface du démarrage, le bilan de liaison est représenté par deux liens dans deux sens : le lien montant «*UpLink*» et le lien descendant «*DownLink*».

En effet, pour calculer le bilan de liaison de chaque lien il faut d'abord remplir les champs d'entrées qui sont initialisés par des valeurs selon les critères de l'UIT les sorties apparaissent avec une couleur différente, la figure IV.7 représente l'interface de bilan de liaison.

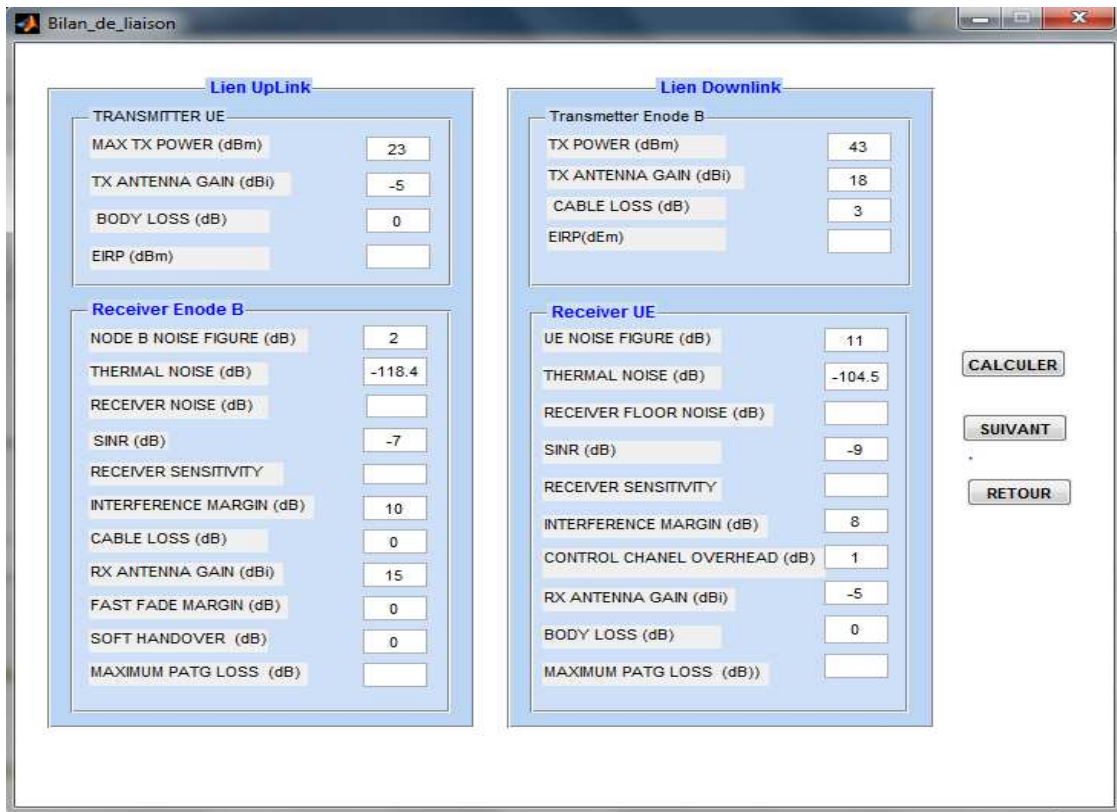


Figure IV.7: L'interface bilan de liaison paramétré.

Après avoir appuyé sur le bouton « **CALCULER** », les résultats ou les paramètres de sorties vont apparaître avec la couleur rouge sur les champs vides comme le montre la figure suivante.

Le système va calculer et afficher les paramètres suivants ; **EIRP**, **RECEIVER NOISY**, **RECEIVER SENSITIVITY** et **MAX PATHLOSS**. Ces paramètres sont calculés suivant des formules indiquées dans le chapitre précédent. Dans le bilan de liaison, on s'intéresse surtout sur le *Pathloss* maximal ou le MAPL. [27]

On constate que la valeur du MAPL est relativement la même dans le lien montant et le lien descendant, ce qui indique qu'il y a une liaison équilibrée à un fonctionnement symétrique. Le tableau suivant récapitule le résultat du *Pathloss* au niveau de bilan de liaison montant et descendant.

Pathloss (MAPL)	
Lien montant 'UpLink'	146.4
Lien descendant 'DownLink'	146.5

Tableau IV.1 : Comparaison de Pathloss en 'UpLink' et en 'DownLink'



Figure IV.8 : Calcul du bilan de liaison.

- **La zone d'étude** : Nous avons choisi une zone de couverture avec Google Map (Figure IV.9) et nous estimons la superficie du terrain de 150 Km². C'est une zone urbaine de faible densité dans laquelle on devrait planifier le déploiement d'antenne au choix d'utilisateur, dans notre cas on a choisi une configuration tri-sectorielle.



Figure IV.9 : Map de la ville de Tlemcen

IV.5 Choix de modèle de propagation :

Dans cette interface, l'utilisateur doit choisir un modèle de propagation parmi les modèles suivants : **OKUMURA HATA**, **COST231 HATA**, **WALFISH IKEGAMI**, **ERCEIG GREENSTEIN**, selon son besoin.

Dans le cas où l'utilisateur veut comparer entre les quatre modèles pour avoir une meilleure configuration, et après avoir rempli les formulaires de chacun des modèles, il peut passer aux **ETUDES DES CAS** à où le système donnera la meilleure configuration optimale.

Pour chaque modèle de propagation on a :

a) *Les paramètres d'entrées :*

- La surface en km²
- La hauteur du mobile en m.
- La hauteur de la station de base en m.
- La type de l'environnement (Urbain, Urbain dense, Sous-urbain, Rural...etc).
- La fréquence en Mhz.
- Le nombre de secteur par site.

Il y on a d'autres paramètre qui caractérise le modèle WalfishIkegami en particulier :

- L'espace entre bâtiments,
- La largeur de la route,
- L'orientation de la rue.

b) *Des paramètres de sorties :*

- Le pathloss.
- Le nombre d'e-Node B.
- Le rayon de cellule.
- Le nombre d'interface S1-C.
- Le nombre d'interface S1-U.
- Le nombre d'interface X2.

La figure suivante montre l'interface « choix des modèles de propagation », par exemple en appuyant sur le premier bouton radio on va sélectionner le modèle **OKUMURA-HATA**.



Figure IV.10: Interface de choix du modèle.

IV.5.1 Le modèle Okumura-Hata :

Après avoir sélectionné le premier modèle, appuyer sur le bouton «SUIVANT» de l'interface Choix du modèle, l'interface d'OkomuraHata va apparaitre comme montre la figure IV.11.

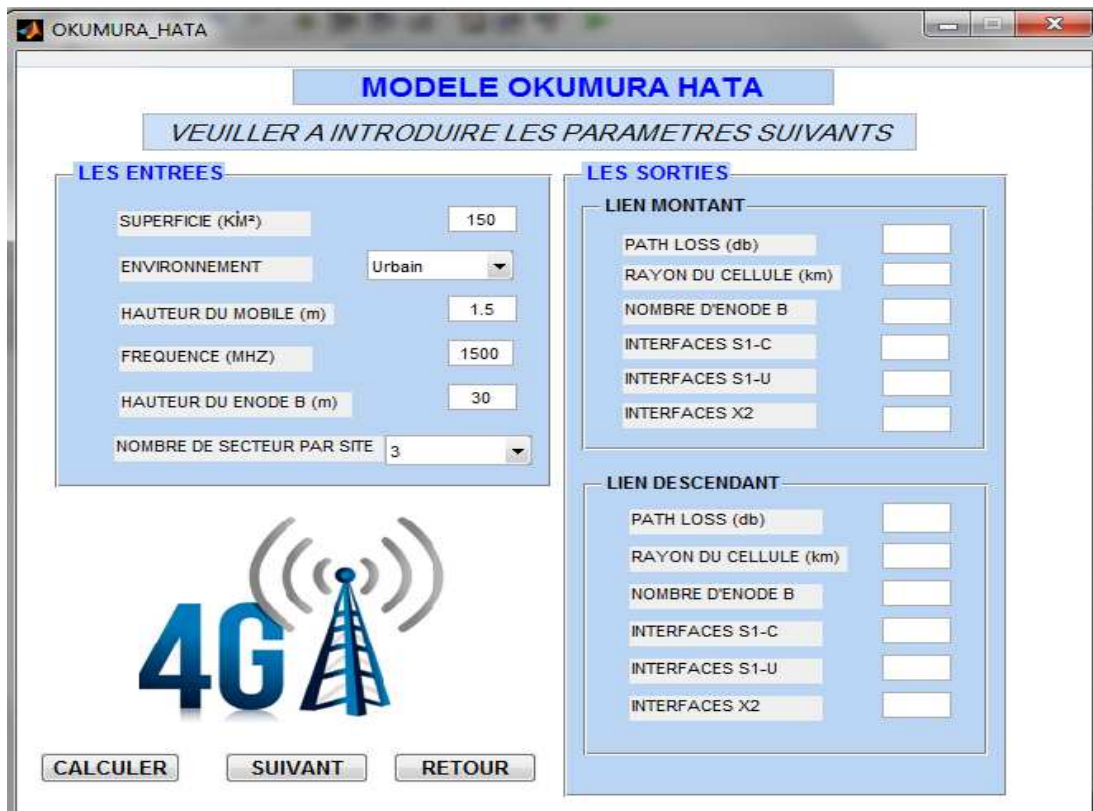


Figure IV.11 : Interface du modèle OKUMURA-HATA.

Les champs d'entrées sont paramétrés par défaut, l'utilisateur peut les changer selon la zone considérée, la fréquence utilisée et les hauteurs de mobile et de e-NodeBchoisis.Le modèle *OKUMURA-HATA* possède cinq types d'environnements (urbain, urbain dense, sous-urbain, rural quasi-ouverte, rural ouverte), donc l'utilisateur a un choix multiple selon la zone à planifier.

Dans notre cas, nous choisissons un environnement Urbain car notre zone de couverture est faiblement dense, avec une hauteur du mobile de 1,5 (m), hauteur d'eNodeB de 30 (m) et une fréquence de 1500 Mhz.

En cliquant sur le bouton « **CALCULER** », on obtient les paramètres de sortie en rouge précisant (MAPL, le rayon de cellule, nombre d'eNodeB, nombre d'interfaces X2, S1-C et S1-U) pour les deux liens montant et descendant comme la montre la figure suivante.

The screenshot shows a software window titled "OKUMURA_HATA" with a central header "MODELE OKUMURA HATA" and a sub-header "VEILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS". The interface is divided into two main sections: "LES ENTREES" (Inputs) and "LES SORTIES" (Outputs). Below the inputs is a "4G" logo with a radio tower icon. At the bottom are three buttons: "CALCULER", "SUIVANT", and "RETOUR".

LES ENTREES	
SUPERFICIE (KM ²)	150
ENVIRONNEMENT	Urbain
HAUTEUR DU MOBILE (m)	1.5
FREQUENCE (MHZ)	1500
HAUTEUR DU ENODE B (m)	30
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3

LES SORTIES	
LIEN MONTANT	
PATH LOSS (db)	146.4
RAYON DU CELLULE (km)	2.25
NOMBRE D'ENODE B	6
INTERFACES S1-C	6
INTERFACES S1-U	6
INTERFACES X2	12
LIEN DESCENDANT	
PATH LOSS (db)	146.5
RAYON DU CELLULE (km)	2.25
NOMBRE D'ENODE B	6
INTERFACES S1-C	6
INTERFACES S1-U	6
INTERFACES X2	12

Figure IV.12: Dimensionnement avec le modèle OKUMURA-HATA

D'après cette interface, on a un rayon de la cellule égal à 2.25 km et pour une surface de 150 Km², nous avons besoins de 9 e-NodeB, 6 interfaces S1-C, 6 interfaces S1-U et finalement 12 interfaces X2.

Quand le calcul du modèle Okumura-Hata est terminé, l'utilisateur peut revenir à l'interface de choix de modèle de propagation, en cliquant sur le bouton « **RETOUR** » pour sélectionner le modèle suivant 'Cost231-Hata'.

IV.5.2 Le modèle Cost231-Hata :

En faisant les mêmes démarches que le modèle Okumura-Hata. Après le choix du deuxième modèle, on clique sur le bouton 'SUIVANT', l'interface de Cost231-Hata va être apparue comme il est schématisé par la figure (IV.13) :

Figure IV.13: Interface du modèle COST231-HATA.

Les paramètres d'entrées sont les mêmes que le modèle précédent pour nous permettre de mieux faire une analyse de comparaison avec le modèle Okumura-Hata. Donc il suffit de cliquer sur le bouton « **CALCULER** » pour obtenir les paramètres de sorties de modèle Cost231-HATA.

La figure suivante montre l'interface de résultats de dimensionnement de ce modèle.

Figure IV.14: Dimensionnement avec le modèle COST231-HAT.

D'après les calculs, on observe quand ont obtenu 9 eNodeB, 9 interfaces S1-U, 9 interfaces S1-C ainsi que 18 interfaces X2 avec un rayon de la cellule de 1,90 km dans les deux liens Uplink et Downlink.

IV.5.3 Le modèle Walfish-Ikegami:

Nous choisissons ce modèle, soit en cliquant sur « SUIVANT » de l'interface précédant ou en revenons sur l'interface de choix de modèle de propagation en sélectionnons le bouton 'RETOUR' ainsi l'onglet du modèle Walfish-Ikegami va apparaitre avec des champs d'entrés paramétrés par défaut, ce modèle de propagation est caractérisé par des paramètres d'entrés qui sont particuliers par rapport aux autres modèles de propagation.

Nous citons par exemple ; la visibilité (*Line Of Sight* : LOS ou *No Line Of Sight* :NLOS), largeur de la route en (m), distance entre bâtiments (m), orientation de la route en(degré) et enfin le type de terrain A, B ou C (voir chapitre III pour plus de détail).

Les figures IV.15 et IV.16 montrent respectivement l'interface du modèle Walfish-Ikegami avec les paramètres d'entrés par défaut et le résultat de dimensionnement de ce modèle.

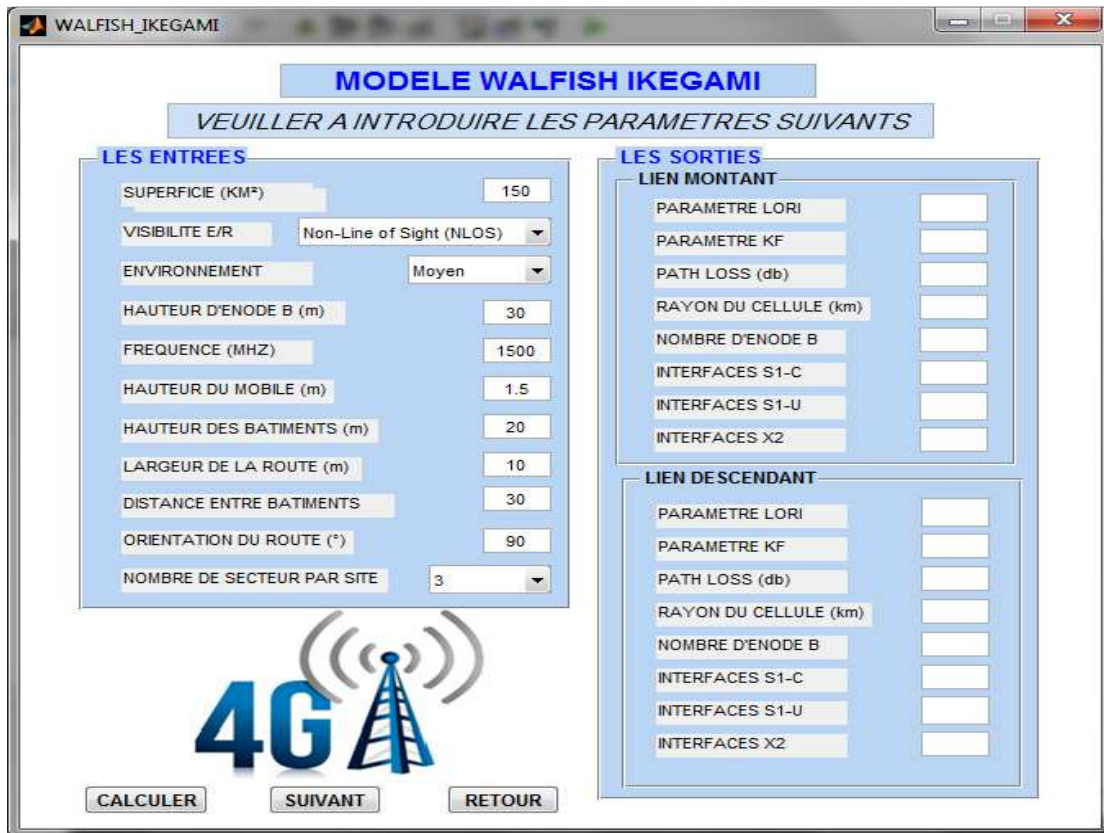


Figure IV.15 : l'interface du Modèle WALFISH-Ikegami

MODELE WALFISH IKEGAMI

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KM ²)	150
VISIBILITE E/R	Non-Line of Sight (NLOS)
ENVIRONNEMENT	Moyen
HAUTEUR D'ENODE B (m)	30
FREQUENCE (MHZ)	1500
HAUTEUR DU MOBILE (m)	1.5
HAUTEUR DES BATIMENTS (m)	20
LARGEUR DE LA ROUTE (m)	10
DISTANCE ENTRE BATIMENTS	30
ORIENTATION DU ROUTE (°)	90
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PARAMETRE LORI	0.57293
PARAMETRE KF	-3.5648
PATH LOSS (db)	146.4
RAYON DU CELLULE (km)	1.79
NOMBRE D'ENODE B	10
INTERFACES S1-C	10
INTERFACES S1-U	10
INTERFACES X2	20

LIEN DESCENDANT

PARAMETRE LORI	0.57293
PARAMETRE KF	-3.5648
PATH LOSS (db)	146.5
RAYON DU CELLULE (km)	1.79
NOMBRE D'ENODE B	10
INTERFACES S1-C	10
INTERFACES S1-U	10
INTERFACES X2	20

4G

CALCULER SUIVANT RETOUR

Figure VI.16 : Dimensionnement avec Modèle WALFISH-Ikegami

Le résultat de dimensionnement montre qu'avec la même zone de couverture considérée (ville de Tlemcen) on a obtenu des résultats égaux soit dans le sens Uplink ou le sens Downlink. En effet, pour un *pathloss* maximal MAPL obtenus égal à 146,4 nous obtenons, avec ce modèle, un rayon de cellule égal à 1,79 km et un nombre de sites eNodeB égal à 10 ce qu'est plus grand que les deux modèles précédents.

On observe aussi la présence des paramètres de sorties qui sont particulier à ce modèle comme le paramètre LORI (fonction de l'orientation de l'antenne par rapport à la rue), KF (paramètre dépend de l'environnement et la fréquence utilisée), et les deux sont reliés à la visibilité en particulier.

MODELE WALFISH IKEGAMI

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KM²)	150
VISIBILITE E/R	Line of Site (LOS)
ENVIRONNEMENT	Moyen
HAUTEUR D'ENODE B (m)	30
FREQUENCE (MHZ)	1500
HAUTEUR DU MOBILE (m)	1.5
HAUTEUR DES BATIMENTS (m)	20
LARGEUR DE LA ROUTE (m)	10
DISTANCE ENTRE BATIMENTS	30
ORIENTATION DU ROUTE (°)	90
NOMBRE DE SECTEUR PAR SITE	3

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PARAMETRE LORI	0
PARAMETRE KF	0
PATH LOSS (db)	146.4
RAYON DU CELLULE (km)	1.92
NOMBRE D'ENODE B	9
INTERFACES S1-C	9
INTERFACES S1-U	9
INTERFACES X2	18

LIEN DESCENDANT

PARAMETRE LORI	0
PARAMETRE KF	0
PATH LOSS (db)	146.5
RAYON DU CELLULE (km)	1.92
NOMBRE D'ENODE B	9
INTERFACES S1-C	9
INTERFACES S1-U	9
INTERFACES X2	18

4G

CALCULER SUIVANT RETOUR

Figure IV.17 : Dimensionnement avec Modèle WALFISH-IKEGAMI

On constate que lors du changement du paramètre de « la visibilité » en Line of Site (LOS), les paramètres KF et LORI devient nulles, ce qui prouve que la présence de ces derniers est liée aux obstacles comme les buildings, les arbres, les montagnes, etc. On remarque aussi que lors de l'élimination des obstacles, le nombre des sites eNodeBest diminué de 10 à 9.

IV.5.4 Le modèle ErceigGreenstein:

Enfin, il nous reste évidemment l'interface du dernier modèle d'ErceigGreenstein (Figure IV.18), qu'est un modèle empirique développé pour les applications sans fil large bande.

Ce modèle est convenable pour les zones boisées et montagneuses, c'est pour cette raison qu'il valable pour trois différents types de terrain spécifiques : A, B et C (voir chapitre III).

Type A : Terrain montagneux avec une lourde densité d'arbres,

Type B : Terrain vallonné avec une densité modérée d'arbres.

Type C : Terrain plat avec faible densité d'arbres.

Figure IV.18 : Interface du Modèle d'ErceigGreenstein.

En résumé, avec ce modèle (Figure IV.19) nous pourrons déployer 9 eNodeB, 18 interfaces X2, 9 interfaces S1-U et 9 interfaces S1-C pour le choix de terrain de type A et les mêmes paramètres de la surface de couverture et de fréquence que les modèles précédents.

Figure IV.19: Dimensionnement avec Modèle ErceigGreenstein

IV.6 Etude de cas :

Après avoir rempli les différents modèles, et pour savoir la meilleure configuration optimale on sélectionne « ETUDE DE CAS », cette dernière contient un résumé de tous les calculs effectués avec les différents modèles de propagation.

Cette partie de l'application est responsable pour distinguer le modèle le plus optimale et le plus adéquat pour une meilleure couverture du réseau LTE, en se basant sur le nombre minimal des eNodeB et le rayon de couverture maximal, comme la montre la figure suivante.

Le bouton « réinitialiser » permet de réinitialiser le programme de calcul à zéro et supprimer toutes les données ayant été importées. Ce bouton annule également toutes les modifications et revenir à l'état original sans avoir quitté le simulateur. En effet, il efface les valeurs temporairement enregistrées en vidant tous les champs de résultat de simulation.

Le fait d'appuyer sur le bouton CALCULER, tous les champs seront remplis et on obtiendra la configuration optimale pour la zone à étudier (Figure IV.21).

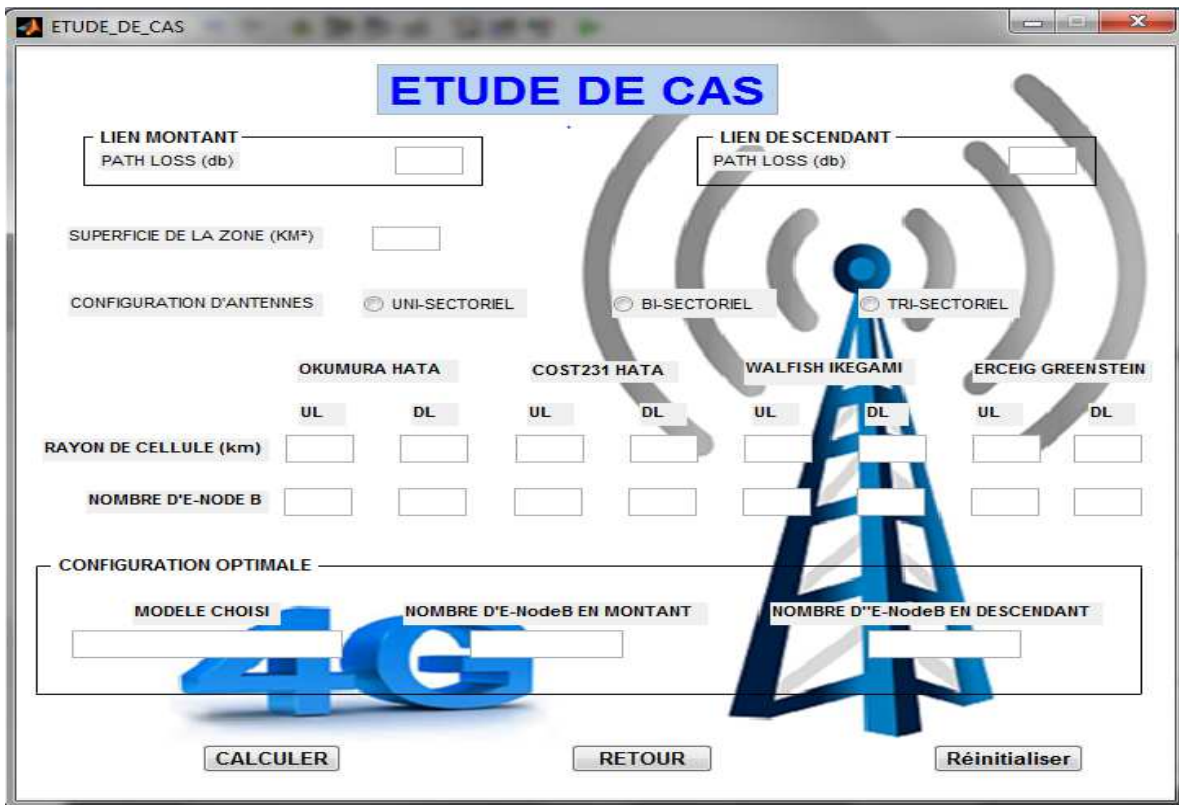


Figure IV.20 : Interface ETUDE DE CAS.



Figure IV.21 : Choix de la configuration optimale pour la zone à étudier.

Analyse de résultats :

Pour un paramétrage commun fournis par l'utilisateur pour les quatre modèles ; une superficie de 150Km², une fréquence de 1500Mhz, une hauteur de mobile de 1.5m, une hauteur d'eNodeB de 30m et une configuration tri-sectorielle des sites presque dans le même type d'environnement, la configuration optimale des nombres d'eNodeB à déployer est celle du modèle OKUMURA-HATA puisqu'il ne nécessite que 6 eNodeBs qui indique le nombre minimal de sites par rapport aux autres modèles. Aussi, il permet de maximiser le rayon de couverture d'environ 2.25km.

En effet, en utilisant le modèle *OKUMURA-HATA* on gagne 3 eNodeBs par rapport aux modèles *ErceigGreenstein* et *COST231-HATA* et 4 eNodeBs par rapport au modèle *WALFISH-IKEGAMI*. Le résultat prouve qu'un dimensionnement du réseau 4G-LTE avec le modèle *OKUMURA-HATA* donne des meilleurs résultats et que ce modèle est le plus approprié en termes de fiabilité et d'économie des frais. D'où l'optimisation de la couverture radio du réseau ainsi que l'optimisation des coûts d'investissement de la mise en place et cela bien sûr en respectant des contraintes liées à la qualité de service nécessaire.

IV.5 Conclusion :

Durant ce chapitre nous avons entamé la conception de notre outil « Optimisation de la couverture du réseau LTE-A », en langage Matlab.

On a commencé par présenter et définir les paramètres de bilan de liaison et les formules mathématiques nécessaires pour calculer le *Pathloss* maximal avec une étude conceptuelle de l'outil de planification et d'optimisation de la couverture là où nous avons présenté les captures d'écran de notre simulateur ainsi que son fonctionnement en détails, tout cela est dans le but de définir le nombre de sites (eNodeB) optimal, le rayon de cellule, le nombre d'interface et le type d'environnement pour chacun des quatre modèles de propagation. Enfin, arriver à la phase d'étude de cas pour avoir une recommandation qui concerne le choix du modèle adéquat pour optimiser la couverture du réseau d'accès 4G.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce projet de fin d'étude est d'optimiser la couverture du réseau d'accès 4G-LTE et cela par le biais de développement d'une application qui a été réalisé sous l'environnement Matlab pour simplifier les calculs compliqués nécessaire au dimensionnement de la couverture par le calcul du bilan de liaison qui permet à l'opérateur d'optimiser les ressources tout en minimisant maximisant le rayon de la couverture radio et obtenir le nombre d'eNodeB minimal nécessaire à la couverture d'une zone bien déterminée en passant par les formules propre à chaque modèle de propagation suivant la nature du terrain de zone d'étude.

Pour y parvenir nous sommes passés par quatre étapes essentielles, nous avons commencé par faire une étude approfondie des différents réseaux mobile existant, ainsi que leurs évolutions dans le temps. Puis nous avons focalisé dans la deuxième étape sur la technologie des réseaux 4G, plus précisément, le LTE-A ces objectifs, son architecture, ses spécifications techniques et ces caractéristiques. Ensuite, nous avons expliqué le processus de planification et citer les différentes règles spécifiques aux modèles de propagation nécessaires pour la planification orientée couverture. En fin, la dernière partie décrit les étapes d'étude conceptuelle de l'outil de dimensionnement et d'optimisation de la couverture là ou nous avons présenté les captures écrans de notre simulateur ainsi que son fonctionnement en détail, tout cela est dans le but d'arriver a la phase d'étude de cas pour le choix du modèle adéquat sert à optimisation de la couverture du réseau d'accès 4G-LTE.

En effet , notre application est réalisée afin de faciliter la tache de planification laquelle est la tache plus complexe dans le dimensionnement d'un tel réseau, du cou ce simulateur a la fonction de calculer les différent paramètres de bilan de liaison et des modèles de propagation, tirer le rayon de cellule, le nombre d'eNodeB et le nombre d'interfaces nécessaires pour couverture radio d'une zone, Ensuite, donner une recommandation concerne le choix du modèle optimal parmi les quatre modèles de propagation pour une zone de couverture précise.

Pour conclure nous estimons avoir satisfait les objectifs initialement fixés, mais comme tout œuvre humaine, cette application n'est pas parfaite, on peut l'améliorer par l'ajout de la planification orientée capacité et voir même une cartographie numérique pour les zones d'étude afin de géo-localiser les sites.

Bibliographie

- [1]. Erik Dahlman, Stefan Parkvall , Johan Skold « *LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband* », Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, ISBN: 9780124199859, October 2013.
- [2]. MESSAOUI Mohamed, « *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]. <http://4glte.over-blog.com/article-evolution-de-la-1g-vers-la-4g-82164235.html>, publié le 22 août 2011 (consulté en Février 2018).
- [4]. Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, « *LTE et les réseaux 4G* », édition groupe Eyrolles, ISBN : 978-2-212-12990-8, 2012.
- [5]. <http://www.marche-public.fr/Terminologie/Entrees/2G.htm> (consulté en Mars 2018).
- [6]. ZENATI.I, BOUFERSAKHA .O, « *Dimensionnement et planification d'un réseau LTE* », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications (RMST), Université de Tlemcen, Mai 2017.
- [7]. Stéphane Girodon, « *Réseaux GSM, GPRS, UMTS, Architecture évolutif pour une stratégie de service* », Rapport de stage DESS MTI, IAE Aix en Provence, Juin 2002.
- [8]. KHALDOUN Al-Agha, « *Réseaux de mobiles et réseaux sans fil* », Edition Eyrolles, ISBN: 978-2212110180, octobre 2001.
- [9]. Simon ZNATY, « *GPRS : Principes et Architecture* », Copyright EFORT 2005 http://www.efort.com/r_tutoriels/GPRS_EFORT.pdf, (consulté en Mars 2018)
- [10]. HAMLILI Heyem, « *Conception et développement d'un outil d'aide à la planification et dimensionnement de l'EUTRAN d'un réseau LTE-Advanced* », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications (RMST), Université de Tlemcen, Mai 2016.
- [11]. Harri Holma, Antti Toskala, « *UMTS, les réseaux de 3 générations* », 2^{ème} édition, Edition OEM, Collection Pro Micro, ISBN : 978-2-7464-0370-3, Août 2001.
- [12]. « Réseaux mobiles : connaissez-vous les différences entre 2G, 3G et 4G ? », Publié par Camille le 25/03/2016 http://www.echosdunet.net/dossiers/reseaux_mobiles_diffrences_entre_2g_3g_4g (consulté en Mars 2018).
- [13]. Fellahi Ghezlane, « *Planification et optimisation d'une réseau de la 4G (LTE) pour la wilaya de Tlemcen* », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Réseaux et Systèmes de Télécommunications (RST), Université de Tlemcen, Mai 2015.
- [14]. A. HOUTON, « *Etude de performance des réseaux 4G* », Présenté pour l'obtention du diplôme de licence professionnel, UATM CASA, 2015
- [15]. H. Idrissi, « *Planification et optimisation des réseaux 3G/4G pour INWI* », Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en systèmes électroniques et télécommunications, 2015.

Bibliographie

- [16]. H. Tounsi, « *Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie télécom* », projet de fin d'études pour l'obtention Mastère professionnel en Nouvelles Technologies des Télécommunications et Réseaux (N2TR), 2016
- [17]. Zebiri.I « *Etude de la capacité des réseaux LTE* », projet de fin d'études pour l'obtention du Master en systèmes intelligents et réseaux, FST FES, 2014.
- [18]. Marceau Coupechoux, Philippe Martins, « *Vers les systèmes radio mobiles de 4^{ème} générations de l'UMTS au LTE* », collection IRIS, Publisher Springer-Verlag Paris, ISBN : 978-2-8178-0084-4, 2013.
- [19]. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/telecommunications-les-transmissions-radio/6-principes-de-base-d-un-systeme-de-telephonie-mobile/> (consulté en Avril 2018).
- [20]. Betaouaf. D, Boumechera. W « *Développement d'un Outil de Dimensionnement et de Planification d'un Réseau 4G-LTE* », Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications option RMST, université de Tlemcen, Mai 2015.
- [21]. Philippe Godlewski, Sami Tabbane, Xavier Lagrange, « *Réseaux GSM. 5ème édition* », Edition Hermes Science Publications, Collection : IC2 Réseaux et Télécoms, ISBN : 2-7462-0153-4, Septembre 2000.
- [22]. <https://vdocuments.site/doc6-lte-workshop-tun-session5-performance-evaluation.html> (consulté en Avril 2018)
- [23]. 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.
- [24]. Huawei Technologies CO., Ltd. « *LTE Radio Network Planning : Introduction* », Huawei Confidential document, <https://fr.scribd.com/doc/223051009/Huawei-LTE-Radio-Network-Planning-Introduction> (consulté Avril 2018).
- [25]. Motorola, Inc., « *LTE RF Planning & Design V 1.2* », Motorola LTE RF Planning Guide, Internal and confidential document © Copyright 2011.
- [26]. 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.
- [27]. MOUSSA Meriem, « *Planification Réseau Radio de 4G/LTE* », Projet de fin d'études pour l'obtention de Mastère Professionnelle en Réseaux et Télécommunication, 2013.