

Sommaire

Sommaire

Dédicace	2
Remerciement.....	3
Résumé:.....	4
Sommaire	5
Liste des acronymes	9
LISTE DES FIGURES.....	13
LISTE DES TABLEAUX	15
INTRODUCTION GENERALE	16
Chapitre I.....	19
Cadre du projet.....	19
Introduction:.....	19
I. Cadre du projet:	19
II. Présentation de l'entreprise d'accueil:.....	19
1. Les exploits et les objectifs de l'entreprise:	19
2. Organisation fonctionnelle:.....	21
3. Direction d'affectation de stage:	22
III. Contexte du projet:	22
1. Problématique :.....	22
2. Solutions proposées:	23
Conclusion:	23
Chapitre II.....	24
Evolutions des Technologies mobile et critique de l'existant	24
Introduction:.....	24
I. Le concept cellulaire:.....	24
II. Evolution de la 1G à la 3 G:.....	26
1. La première génération des réseaux mobiles:	26
2. Les réseaux mobiles de deuxième génération:.....	27
3. La troisième génération des réseaux mobiles: UMTS.....	29

3.1	Architecture de l'UMTS:	29
3.1a	L'UE (unit equipment):	30
3.1b	Réseau d'accès Utran: Universal Terrestrial Radio Access Network	30
3.1c	Réseau cœur: Core Network (CN):	32
III.	L'évolution du réseau 3G vers le 4G	33
1.	Release 4:	35
2.	L' évolution HSPA (High Speed Packet Access):.....	36
3.	L' évolution HSPA+ (High Speed Packet Access+) : release 7 et release 8	39
4.	La quatrième génération et son utilité:.....	40
4.1	Objectifs de la LTE:	41
4.2	Les caractéristiques LTE.....	41
4.3	Allocation de spectre pour la LTE:	42
4.4	Architecture du réseau 4G/LTE:	45
4.5	Technologies employées dans le réseau 4G:	51
4.5a	La modulation:.....	51
4.5b	Techniques d'accès:.....	52
4.5c	Structure de la trame LTE:	55
4.5d	Blocks de ressources.....	56
4.5e	Technique MIMO :.....	57
4.6	Services associés au LTE	58
4.7	Le contrôle de la qualité de service:.....	59
IV.	4G Advanced: Evolution vers LTE Rel-10:.....	60
V.	Cinquième génération: 5G	62
	Conclusion:	66
	Chapitre III.....	67
	Dimensionnement du réseau d'accès 4G.....	67
	Introduction:.....	67
I.	Le processus de dimensionnement:.....	67
II.	Dimensionnement de couverture:	68
1.	Bilan de liaison:.....	69
2.	Paramètres du bilan de liaison	71
3.	Calcul du bilan de liaison pour les liens montant et descendant:.....	74
4.	Modèles de propagation RF:	76
a.	Propagation en espace libre (Free Space):.....	77

b.	Le modèle Okumura-Hata:	78
c.	Le modèle cost231-Hata:.....	79
d.	Le modèle Walfish-Ikegami:	79
e.	Le modèle ErceigGreenstein:	80
5.	Calcul du nombre de sites en se basant sur le bilan de liaison:	82
6.	Dimensionnement des interfaces S1 et X2:	83
a.	Interface X2	83
b.	Interface S1:	83
	Conclusion:	83
	Chapitre IV.....	84
	SPECIFICATION DES BESOINS ET CONCEPTION	84
	Introduction:.....	84
	I. Spécification des besoins:	84
1.	Paramètres d'entrée	84
2.	Paramètres de sortie	85
3.	Identification des acteurs:.....	85
4.	Besoins fonctionnels:	85
5.	Besoins non fonctionnels:	86
6.	Besoins architecturaux:	86
	II. Les diagrammes des cas d'utilisations:.....	87
1.	Diagrammes de cas d'utilisations global:	87
	Description du scénario:.....	88
2.	Diagrammes de cas d'utilisations calcul du Path Loss:.....	88
	Description du scénario:.....	89
3.	Diagrammes de cas d'utilisations choix et paramétrage de modèle de propagation:.....	90
	Description du scénario:.....	90
	III. Diagramme de classe:.....	91
	IV. Diagramme de séquence:.....	93
1.	Diagramme de séquence Calcul Bilan de Liaison:	93
2.	Diagramme de séquence paramétrage du modèle de propagation COST231-Hata.....	95
3.	Diagramme de séquence Etude de cas:	95
	Conclusion:	96
	Chapitre V.....	97
	REALISATION	97

Introduction:.....	97
I. Environnement de travail:.....	97
1. Environnement matériel:	97
2. Environnement Logiciel:.....	97
a. PowerAMC:.....	97
b. Visual studio 2010 Professionnel:	98
c. Le framework .NET:	98
II. Description du fonctionnement de l'application et de ses interfaces:	98
1. Authentification:.....	98
2. Bilan de liaison:.....	99
3. Zone d'étude:	102
4. Choix de Modèle de propagation:.....	103
5. Etude de cas:	114
6. Analyse des résultats:.....	117
Conclusion:	118
CONCLUSION GENERALE	119
Bibliographie.....	120
Webographie	121

Liste des acronymes

A

AMC: Adaptive Modulation and Coding

B

BER: Bit Error Rate

BTS: Base station Transceiver System

BSC: Base Station Controller

C

CDMA: Code Division Multiple Access

CP: Préfixe Cyclique

E

EPC: Evolved Packet Core

E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

F

FDD: Frequency Division-Duplexing

G

GGSN: Gateway GPRS Support Node

GPRS: General Packet Radio Service

H

HSS: Home Subscriber Server

HSPA: High Speed Packet Access

I

IM: Marge d'interférence

IP: Internet Protocol

IMS: IP Multimedia Subsystem

L

LTE:Long Term Evolution

M

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MME: Mobility Management Entity

MSC: Mobile Switching Center

MAPL: Maximum Allowable PathLoss

N

NGN: Next Generation Network

O

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

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

T

TDD: Time Division-Duplexing

TTI: Transmission Time Interval

U

UIT: Union Internationale des Télécommunications

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

W

WCDMA: Wide band CDMA

X

X2 : Interface entre les eNode B

0-9

3GPP:3rd Generation Partnership Project

1G: 1st Generation o wireless communication technology

2G: 2sd 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

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Nouveau Logo de Tunisie Télécom.....	21
Figure 2: Organisation fonctionnelle de Tunisie Télécom.....	22
Figure 3: Différents types de cellules	26
Figure 4: Architecture simplifiée réseau 2G.....	28
Figure 5: Architecture simplifiée du réseau 2G+.....	29
Figure 6: Architecture générale du réseau 3G	30
Figure 7: Architecture du réseau d'accès	32
Figure 8: L'évolution de la technologie 3G.....	34
Figure 9:Architecture réseau 3G Release 99.....	34
Figure 10: Architecture réseau 3G Release 4 et son interopérabilité avec GERAN	36
Figure 11: Architecture réseau 3G Release 5	38
Figure 12: Architecture UMTS Release 6.....	39
Figure 13: Scénario de déploiement de la 4G en Tunisie	44
Figure 14: Scénario de sous bande de fréquences proposées pour la 4G	45
Figure 15: Architecture du réseau 4G [w6].....	46
Figure 16: Architecture E-UTRAN	47
Figure 17: Architecture EPC [w7]	49
Figure 18: Modulation adaptative [w9].....	51
Figure 19: Modulation QAM [w11]	52
Figure 20: Modulation OFDM [w12]	53
Figure 21: Préfixe Cyclique [w13].....	53
Figure 22: La différence entre OFDMA et SC-FDMA [w13]	54
Figure 23: Structure de la trame LTE.....	55
Figure 24: Duplexage FDD [w14].....	55
Figure 25: Duplexage TDD [w15].....	56
Figure 26: Grille de ressources temps fréquence.....	56
Figure 27: Principe de la technique MIMO [w16]	58
Figure 28: Le principe de la technologie MIMO [w16].....	58
Figure 29: Evolution vers LTE Rel-10	60
Figure 30: Largeur de Bande du canal LTE Rel-8	61
Figure 31: Agrégation de porteuses à composantes contigües	61
Figure 32: Calcul de Dimensionnement de couverture.....	69
Figure 33: Modèle de bilan de liaison uplink [w20]	75
Figure 34: Modèle de bilan de liaison downlink [w20]	76
Figure 35: Architecture simple tiers	87
Figure 36: Diagramme de cas d'utilisation global	87
Figure 37: Diagramme de cas d'utilisation Calcul Path Loss	89
Figure 38: Diagramme de cas d'utilisation Choix et Paramétrage des Modèles de Propagation	90
Figure 39: Diagramme de classe.....	93
Figure 40: Diagramme de séquence Calcul du Path Loss	94
Figure 41: Diagramme de séquence paramétrage du modèle de propagation COST231-HATA	95

Figure 42: Diagramme de séquence Etude de cas	96
Figure 43: Interface Authentification	99
Figure 44: Interface Bilan de Liaison introduction des valeurs	100
Figure 45: Interface Bilan de Liaison avec box d'information	100
Figure 46: Interface Bilan de Liaison paramétrée	101
Figure 47: Calcul de Bilan de Liaison	102
Figure 48: Zone de couverture choisie avec Google Map	103
Figure 49: Interface choix de Modèle de propagation(OKUMURA-HATA sélectionné).....	104
Figure 50: Interface de dimensionnement du Modèle OKUMURA-HATA	105
Figure 51: Interface du Modèle OKUMURA-HATA paramétrée.....	106
Figure 52: Dimensionnement avec Modèle OKUMURA-HATA	107
Figure 53: Choix du Modèle de propagation COST231-HATA	108
Figure 54: Interface de dimensionnement du Modèle de propagation COST231-HATA.....	109
Figure 55: Paramétrage du Modèle de propagation COST231-HATA	110
Figure 56: Dimensionnement avec Modèle de propagation COST231-HATA.....	111
Figure 57: Choix du Modèle WALFISH-IKEGAMI	112
Figure 58: Paramétrage de l'interface du Modèle WALFISH-IKEGAMI	113
Figure 59: Dimensionnement avec Modèle WALFISH-IKEGAMI	114
Figure 60: Sélection de l'interface étude de cas	115
Figure 61: Interface ETUDE DE CAS	116
Figure 62: Interface ETUDE DE CAS Configuration optimale.....	117

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques LTE	42
Tableau 2: Nombre de PRB suivant les différentes bandes passantes	57
Tableau 3: Paramètres pour le calcul de PIRE	72
Tableau 4: Bilan de liaison Montant [w19]	74
Tableau 5: Bilan de Liaison Descendant [w19].....	76
Tableau 6: Modèle OKUMURA-HATA.....	79
Tableau 7: Modèle COST231-HATA.....	79
Tableau 8: Modèle Walfish-Ikegami.....	80
Tableau 9: Paramétrage des terrains pour le Modèle Erceig Greenstein [B3]	81
Tableau 10: Comparaison entre les Modèles de Propagation	81
Tableau 11: Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [B3]	82

INTRODUCTION GENERALE

Le système de téléphonie cellulaire connaît un succès considérable, avec un nombre d'abonnés sans cesse croissant, le premier système sans fil a été inventé par Bell System, aux états unis, en 1940. Le 1er réseau cellulaire de type analogique, ayant pour nom AMPS (*Advanced mobile phone system*) a été mis en place à Chicago dès 1978 suivis par le système NMT (*Nordic Mobile Telephone*) en Europe en 1981, ces réseaux de première génération sont caractérisés par une modulation analogique et une méthode d'accès FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).

Les réseaux de deuxième génération ont fait leurs débuts dans les années 1990 tel que le système GSM (*Global System for Mobile*) en Europe, le système PDC au Japon et le système IS-95 au USA, ces systèmes sont caractérisés par des modulations numériques. Après les instances de normalisation se sont ensuite tournées vers un système unique de la troisième génération de la téléphonie mobile, On peut définir la troisième génération comme un ensemble de technologies développées dans le but de faire évoluer les systèmes cellulaires de deuxième génération au niveau de la capacité et de la couverture ainsi que la qualité de service (*QoS*).

La 3G est une norme de téléphonie mobile. Mais pour mieux comprendre, reprenons dans l'ordre les différentes technologies de partage de données et les débits associés.

Commençons avec la génération 2G et la norme GSM. Elle correspond uniquement à des échanges de voix avec un débit d'environ quelques kbits/secondes. Après, il y a eu la génération 2,5G avec le GPRS (débit maximum théorique de 54,6 Kbit/s) puis la génération 2,75G avec EDGE permettant d'échanger des données à des volumes de plusieurs centaines de kbits/secondes (384 Kbit/s max en théorie).

Enfin, la 3G est arrivée. Avec la 3G et la norme UMTS, les utilisateurs ont fait un premier saut qualitatif en termes de débits d'échanges de données et on passe théoriquement à des échanges de plusieurs mégabits/secondes.

Une première évolution de la 3G est réalisée avec la 3G+ et la norme HSDPA, où l'on passe à des débits d'échanges un peu supérieurs à la 3G. Il devient possible dès lors de

télécharger en théorie jusqu'à 7,2 Mbit/s depuis ce type de connexion contre 2 Mbits /s pour la 3G. A noter que la 3G+ est actuellement proposée sur la plupart des clés 3G.

Actuellement on passe vers le réseau 4G qui présente beaucoup d'amélioration quand à la bande passante de l'utilisateur ainsi que d'autres paramètres de qualité de service.

Enfin, pour être plus précis, il y a d'abord la 3,9G avec la norme LTE avec laquelle on passe de plusieurs dizaines de méga à plusieurs centaines de méga par secondes en théorie. Et puis, la 4G, avec la norme LTE Advanced, c'est potentiellement 1 Gb/s de téléchargement à l'arrêt.

Ce passage doit faire l'objet d'une bonne planification qui vise à déterminer l'ensemble des composantes (matérielles et logicielles) de tels systèmes, les positionner, à les interconnecter et à les utiliser de façon à minimiser le coût supplémentaire d'exploitation des ressources de réseau, tout en garantissant un certain degré de disponibilité et de performance. Ainsi, Le besoin envers un outil de planification, qui accompagne l'évolution des réseaux mobile semble nécessaire et cela en tenant compte du fait que la propagation radio est fortement influencée par le terrain et par d'autres facteurs.

C'est dans ce contexte que se situe notre projet de fin d'étude qui vise à réaliser cet outil de planification du sous système radio de la norme LTE.

Comme démarrage nous allons nous concentrer sur les modèles appliqués pour la planification telle que le modèle Walfisch-Ikegami, le modèle Okumura-Hata, le modèle Cost231-Hata et le modèle Erceig-Greenstein. Nous allons traiter toute la théorie nécessaire pour chaque modèle afin de pouvoir dimensionner la zone à étudier avec les différents modèles existants. Et par l'intermédiaire du bilan de liaison nous finirons par choisir le modèle de planification qui donne les résultats les plus convenables en termes de nombre d'eNodeB et des interfaces des contrôleurs eNodeB, etc.

De ce fait, nous avons organisé notre plan de projet en 5 chapitres.

Dans le premier chapitre nous allons présenter l'organisme d'accueil où se déroule notre stage de fin d'étude tout en précisant ses approches et ses objectifs.

Le deuxième chapitre présente une introduction des principaux concepts de base utilisés dans ce document. Les réseaux mobiles sont décrits, ainsi que leur évolution dans le temps. Cette section permet de mieux comprendre les réseaux mobiles et plus précisément la technologie des réseaux 4G, ces objectifs, ces caractéristiques, son architecture et ses spécifications techniques.

Le troisième chapitre est consacré pour la planification et le dimensionnement du réseau 4G où nous expliquerons le processus de planification et les différents règles et modèles nécessaires pour la planification orientée couverture.

Le quatrième chapitre présentera une étude conceptuelle de l'outil de planification composée de diagrammes d'activité, de diagramme de classe et de diagrammes de séquence.

Le cinquième chapitre décrit l'ensemble des outils matériels et logiciels ainsi que les différentes technologies utilisées. En terminant par une étude de cas qui va démontrer les différents scénarios de fonctionnement de notre application.

Chapitre I

Cadre du projet

Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons mettre en cadre notre projet et présenter l'organisme d'accueil qui est Tunisie Telecom tout en précisant ses activités ainsi que ses objectifs. ensuite nous allons faire une description de notre projet afin d'expliquer son contexte et son objectif.

I. Cadre du projet:

Notre projet intitulé " optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie Telecom" est réalisé dans le cadre de présentation du projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de mastère professionnel en Nouvelles Technologies de Télécommunications et Réseaux à l' université Virtuelle de Tunis durant l'année universitaire 2015/2016.

II. Présentation de l'entreprise d'accueil:

Tunisie Télécom (TT) [w2] est un opérateur de télécommunications qui travaille à renforcer l'infrastructure des télécommunications en Tunisie et à améliorer le taux de couverture sur ses réseaux fixe et mobile.

Sa politique de diversification des services lui a permis d'offrir à ses clients une gamme de services au niveau de la téléphonie fixe, de la téléphonie mobile, et transmission par satellite et l'ADSL.

1. Les exploits et les objectifs de l'entreprise:

Tunisie Telecom a perdu de position sur le marché mobile sur les dernières années; grâce à l'implication, à la mobilisation et la solidarité de son personnel, elle a pu regagner des points de part de marché sur le segment du mobile. Elle vise a regagner ses parts de marché et reprendre la position, qui est la sienne, de leader sur le marché mobile.

Elle a augmenté son résultat aussi bien pour le fixe que pour l'ADSL. Grâce à l'offre SMART ADSL, qui était un succès commercial, Elle est parvenue à vendre par semaine entre 2500 et 3000 abonnements, et cela dénote l'intérêt porté par ses clients à ce service, lui permettant ainsi de réaliser une reprise sur le segment ADSL et d'accroître son taux de pénétration.

Elle a également lancé plusieurs services et plus récemment le service Rapido et celui du RBT (Ring Back Tone) trop demandé sur le marché.

Le monde évolue à une grande vitesse grâce aux nouvelles technologies numériques qui ont envahi tous les domaines: la santé, l'éducation, la sécurité...ainsi que les domaines socio-économiques.

Tunisie Telecom, étant acteur principal du secteur du numérique, doit anticiper et se positionner sur ces nouveaux services et participer à cette révolution, cette évolution de notre monde vers le monde numérique.

Elle est sur le point de mettre en place un nouveau plan de transformation qui est composé de trois axes :

- Le premier axe et le principal est celui de l'internet haut débit : Elle continue à fournir la meilleure couverture et le meilleur débit pour l'internet fixe et mobile. Elle a lancé le service Rapido, le VDSL2+ qui lui a permis de moderniser son réseau fixe et d'offrir un service unique sur le marché dédié à ses clients allant jusqu'à 100 Mb/s, un débit que l'internet mobile ne peut pas fournir, d'où son unicité sur le marché.

D'autre part, elle est sur la dernière ligne droite pour le lancement des services 4G, ce qui va permettre la création d'une nouvelle dynamique et de nouveaux services 4G; et sur ce plan Tunisie Telecom est bien positionnée puisque ses cartes SIM sont compatibles depuis déjà 5 ans et nos stations sont raccordées à la fibre optique depuis très longtemps, chose que les concurrents n'en disposent pas. C'est grâce à cette connectivité qu'elle pourra offrir les meilleurs services 4G, le meilleur débit et la meilleure latence,

- Le 2ème axe est l'expérience client qui demeure le plus important pour Tunisie Telecom. Le client doit être au centre d'intérêt de la société car c'est lui qui fait l'économie.

En outre, sa présence sur tout le territoire, dans toutes les régions et localités est l'atout principal de Tunisie Telecom pour assurer une meilleure proximité de ses clients et battre la concurrence par cette relation privilégiée qu'elle a avec eux,

- Le 3ème axe est le contenu, désormais très important pour Tunisie Telecom. Elle vient de lancer le service Icflix qui donne accès à une bibliothèque numérique riche en termes de films internationaux mais aussi de films tunisiens afin d'attirer ses clients et les fidéliser davantage, et de renforcer la production cinématographique tunisienne.

Tunisie Telecom vise à réaliser ce plan de transformation afin d'hisser TT au plus haut rang, ainsi qu'à montrer à ses clients la nouvelle image de Tunisie Telecom et la richesse de ses nouveaux services et solutions. Pour ce faire, et comme début, elle a procédé à la refonte de sa communication avec une nouvelle identité visuelle présentée ci-dessous figure 1.



Figure 1: Nouveau Logo de Tunisie Télécom

Cette nouvelle identité et ce nouveau logo pour montrer que Tunisie Telecom est une entreprise proche de ses clients, qui se modernise, qui change et qui innove.

2. Organisation fonctionnelle:

Comme suite à son innovation Tunisie Télécom est entrain de changer son organisation fonctionnelle et son nouveau organigramme sera prêt d'ici fin 2016, Actuellement, elle est organisée comme le montre la figure 2:

Certes, une planification robuste, particulièrement du réseau d'accès, est nécessaire pour éviter des coûts inutiles pouvant être assumés pendant le démarrage de l'exploitation.

On ne peut pas nier qu'il existe plusieurs outils de planification des réseaux sur le marché qui sont fiables et performants mais ils sont commercialisés avec des prix énormes.

2. Solutions proposées:

pour remédier à ce problème de coût, nous développerons un outil de planification de la couverture radio du réseau 4G simple et efficace qui a pour but la détermination de la densité nécessaire et la configuration des sites radio pour aboutir à une meilleur qualité de services. Et cela en décrivant le processus de dimensionnement, ses méthodes, ses modèles et les outils de mise au point nécessaire.

Ce projet a comme objectifs:

- ✓ description des fonctionnalités du réseau 4G nécessaire pour le dimensionnement.
- ✓ Présentation des modèles de base pour le dimensionnement du réseau d'accès.
- ✓ Estimation de la couverture ainsi que les éléments du réseau.
- ✓ Développement et description d'une application de planification.

Conclusion:

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté l'entreprise d'accueil, son classement à l'échelle national, sa stratégie, ses exploits et ses objectifs tout en précisant l'intérêt que lui apportera ce projet. Dans le chapitre suivant, nous allons présenté l'évolution des réseaux cellulaire commençant par la 2G à la 4G et plus précisément la technologie 4G.

Chapitre II

Evolution des Technologies mobile et critique de l'existant

Introduction:

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 a travers les temps tout en précisant leurs architectures ainsi que leurs caractéristiques, nous allons nous approfondir dans l'étude des réseaux LTE et ses spécification technique pour bien maitriser cette technologie.

I. Le concept cellulaire:

Les réseaux mobiles sont basés sur le concept de motif cellulaire. Une technique qui permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale..

Une cellule est contrôlée par un émetteur/récepteur appelé station de base, qui assure la liaison radio avec les terminaux mobiles sous sa zone de couverture. La couverture d'une station de base est limitée par plusieurs facteurs, notamment :

- la puissance d'émission du terminal mobile et de la station de base ;
- la fréquence utilisée ;
- le type d'antennes utilisé à la station de base et au terminal mobile ;
- l'environnement de propagation (urbain, rural, etc.) ;
- la technologie radio employée.

Une cellule est représentée sous la forme d'un hexagone ; en effet, l'hexagone est le motif géométrique le plus proche de la zone de couverture d'une cellule qui assure un maillage régulier de l'espace. Dans la réalité, il existe bien entendu des zones de recouvrement entre cellules adjacentes, qui créent de l'interférence intercellulaire.

On distingue plusieurs types de cellules en fonction de leur rayon de couverture, lié à la puissance d'émission de la station de base, et de leur usage par les opérateurs.

Les cellules macro sont des cellules larges, dont le rayon est compris entre quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres. Elles sont contrôlées par des stations de base macro dont la puissance est typiquement de 40 W (46 dBm) pour une largeur de bande de 10 MHz. Leurs antennes sont placées sur des points hauts, comme des toits d'immeubles ou des pylônes.

Les cellules micro sont des cellules de quelques dizaines à une centaine de mètres de rayon, destinées à compléter la couverture des cellules macro dans des zones denses ou mal couvertes. Les stations de base associées sont appelées des stations de base micro.

Les cellules pico peuvent servir à couvrir des hot spots, ou de grandes zones intérieures (indoor), tels que des aéroports ou des centres commerciaux. Les antennes des stations de base pico peuvent être placées comme celles des stations de base micro, ou au plafond ou contre un mur à l'intérieur de bâtiments.

Les cellules femto sont de petites cellules d'une dizaine de mètres de rayon, principalement destinées à couvrir une habitation ou un étage de bureaux. Elles sont généralement déployées à l'intérieur des bâtiments.[B1]

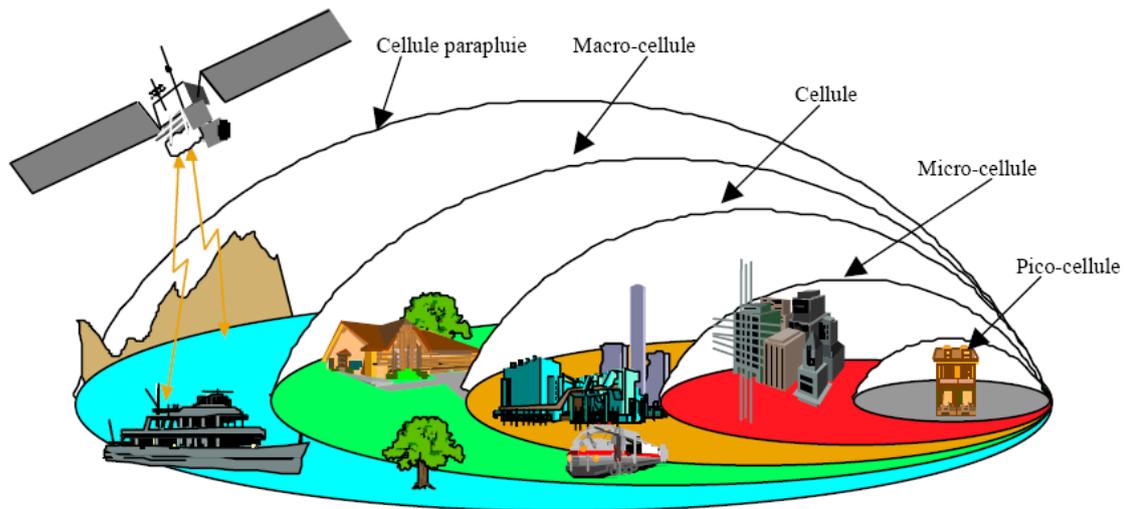


Figure 3: Différents types de cellules

II. Evolution de la 1G à la 3 G:

Plusieurs générations de réseaux mobiles ont apparues à travers le temps. On parle des première, deuxième et troisième générations de réseaux mobiles (abrégées respectivement en 1G, 2G et 3G). Ces trois générations diffèrent principalement par les techniques mises en œuvre pour accéder à la ressource radio.

L'évolution de ces techniques est guidée par la volonté d'accroître la capacité ainsi que les débits offerts par le système dans une bande de fréquences restreinte. conditionné par la capacité des ingénieurs à tirer le meilleur parti des ressources spectrales disponibles. Initialement, la capacité des réseaux mobiles se traduisait par le nombre maximal de communications téléphoniques pouvant être maintenues simultanément sous couverture d'une même cellule.

1. La première génération des réseaux mobiles:

La première génération apparue au cours des années 1980 et est caractérisée par une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde telles que :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System) aux États-Unis.
- TACS (Total Access Communication System) au Japon et au Royaume-Uni.

- NMT (Nordic Mobile Telephone) dans les pays scandinaves.

Techniquement, ces systèmes étaient basés sur un codage et une modulation analogique. Ils utilisaient une technique d'accès multiples appelée FDMA (Frequency Division Multiplex Access), associant une fréquence à un utilisateur.

Inconvénients:

- la limitation de capacité de ces systèmes de l'ordre de quelques appels voix simultanés par cellule.
- les dimensions importantes et coûts élevés des terminaux.
- l'impossibilité d'itinérance internationale (aussi appelée roaming) du à l'incompatibilité des systèmes.

2. Les réseaux mobiles de deuxième génération:

La deuxième génération (2G) est caractérisée par une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde telles que :

Le GSM (Global System for Mobile communications) en Europe.

Le PDC (Personal Digital Communications) au Japon.

L'IS-95 aux États-Unis.

Ces systèmes, donnaient accès au service voix en mobilité, mais aussi aux messages textes courts plus connus sous le nom de SMS (Short Message Service).

Ils sont basés sur des codages et des modulations de type numérique, ainsi que des techniques d'accès multiple différentes:

GSM et PDC sont par exemple basés sur une répartition en fréquences FDMA entre les cellules, combinée à une répartition en temps sur la cellule appelée TDMA (Time Division Multiple Access). D'autre part, les voies montante et descendante sont séparées en fréquence (mode FDD).

L'IS-95 utilise une répartition par codes appelée CDMA (Code Division Multiple Access).

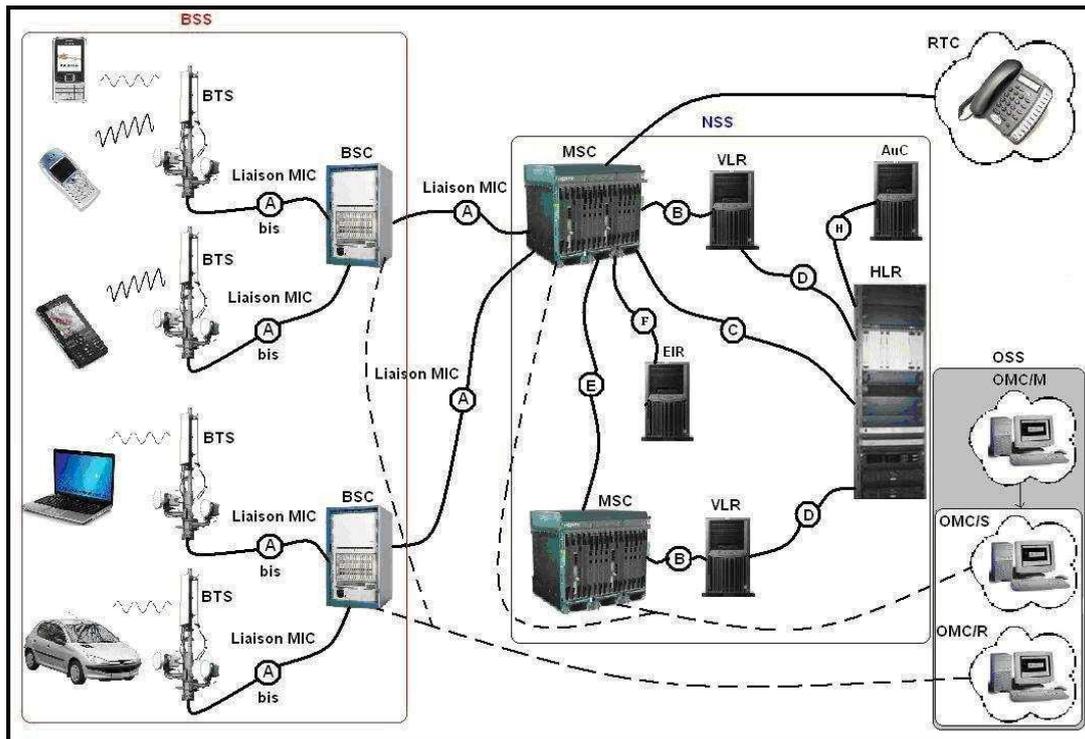


Figure 4: Architecture simplifiée réseau 2G

À ses débuts, le GSM utilisait un réseau cœur à commutation de circuit par lequel l'accès aux services de données était particulièrement lent. Afin d'accroître les débits fournis, le réseau d'accès GSM fut connecté à un réseau cœur appelé GPRS (General Packet Radio Service). Cette évolution améliora la prise en charge des services de données. En complément de ce développement, la technologie d'accès radio EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) rendit possible des débits de l'ordre de 240 Kbit/s par cellule grâce à l'amélioration des techniques d'accès au canal radio.

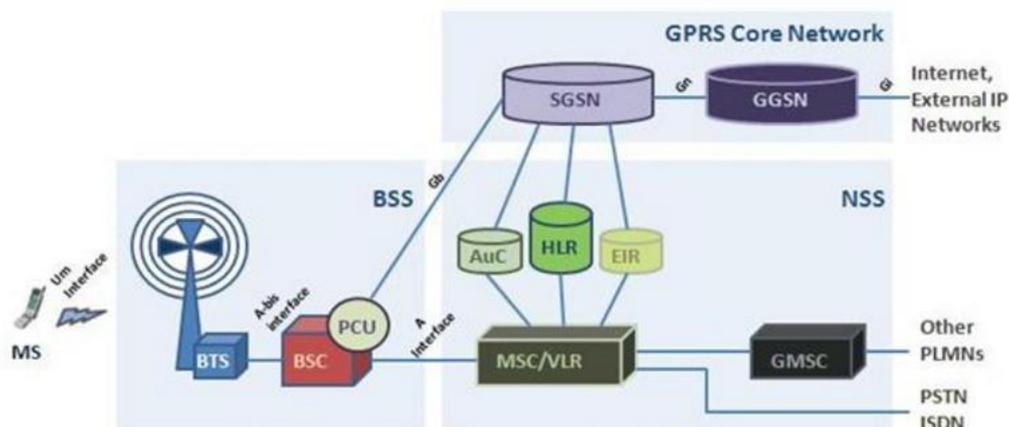


Figure 5: Architecture simplifiée du réseau 2G+

La limitations du débit fournis par les réseaux 2G fut à l'origine de la définition des technologies 3G.

3. La troisième génération des réseaux mobiles: UMTS

La troisième génération 3G représente la norme UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) apparue dans la but principal d'accroitre le débit fournit par la 2G ainsi que la création d'un système compatible mondialement et technologiquement.

Objectifs réalisés, cette technologie a permis une nette amélioration de débit qui varie de l'ordre de:

- 2 Mbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur).
- 384 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120 km/h (véhicule, transports en commun).
- 144 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500 km/h (Train à Grande Vitesse).

3.1 Architecture de l'UMTS:

L'architecture générale du réseau 3G est illustrée dans la figure [6]

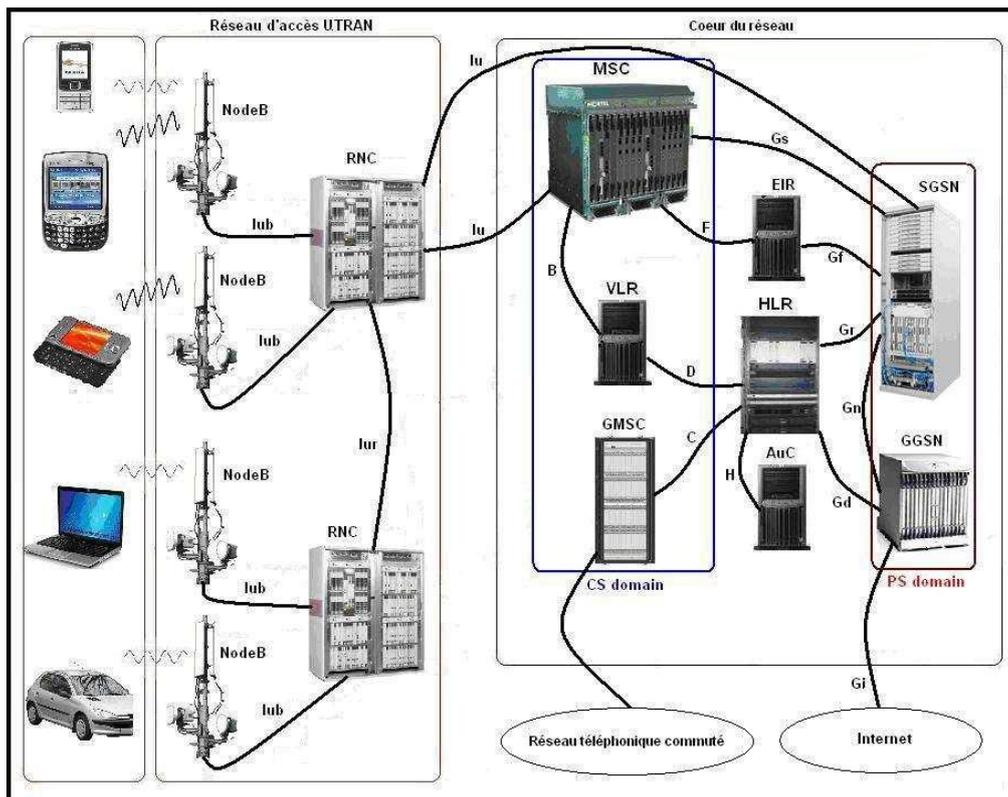


Figure 6: Architecture générale du réseau 3G

Le réseau 3G est constitué de trois blocs essentiels qui sont:

3.1a L'UE (unit équipement):

L'UE (unit équipement) composé du ME (Mobile Equipment) et du module USIM de gestion de l'identité, il permet à l'utilisateur d'avoir accès à l'infrastructure par l'intermédiaire de l'UTRAN.

3.1b Réseau d'accès Utran: Universal Terrestrial Radio Access Network

Le réseau d'accès UTRAN est une passerelle entre l'UE et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il a comme rôles :

- Sécurité : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.
- Mobilité : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.

- Gestion des ressources radio : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- Synchronisation : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments :

✓ Une ou plusieurs stations de base (appelées **NodeB**), basée sur la technologie W-CDMA. C'est l'équivalent de la BTS dans les réseaux GSM. Elle gère des cellules radio utilisant différentes bandes de fréquences (900 MHz, appelée U900 et 2100 MHz) sur différents secteurs (un secteur équivaut à une antenne physique). Elle est en contact direct avec le RNC

✓ Des contrôleurs radio **RNC** (Radio Network Controller) qui ont pour rôle, le contrôle des transmissions radio des stations de base, la gestion de la répartition de la ressource radio, le chiffrement des données avant l'envoi au téléphone mobile, ainsi qu'une partie de la localisation des terminaux mobiles des abonnés. C'est l'équivalent des BSC des réseaux 2G GSM.

✓ Des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS et qui sont:

Interface Uu: L'Uu est une interface externe (radio) qui relie l'UE à l'UTRAN et spécialement le Node B.

Interface Iub: L'IuB est une interface interne entre le RNC et le Node B.

Interface Iur: L'Iur est une interface interne qui interconnecte les RNC entre eux.

Interface Iu: L'Iu est une interface externe qui relie le RNC au cœur de réseau (CN), (Core Network en anglais), on peut distinguer deux types d'interface Iu qui sont l'IuCS supportant le trafic en mode Circuit (voix), l'IuPS celui en mode Paquet (données).[w3]

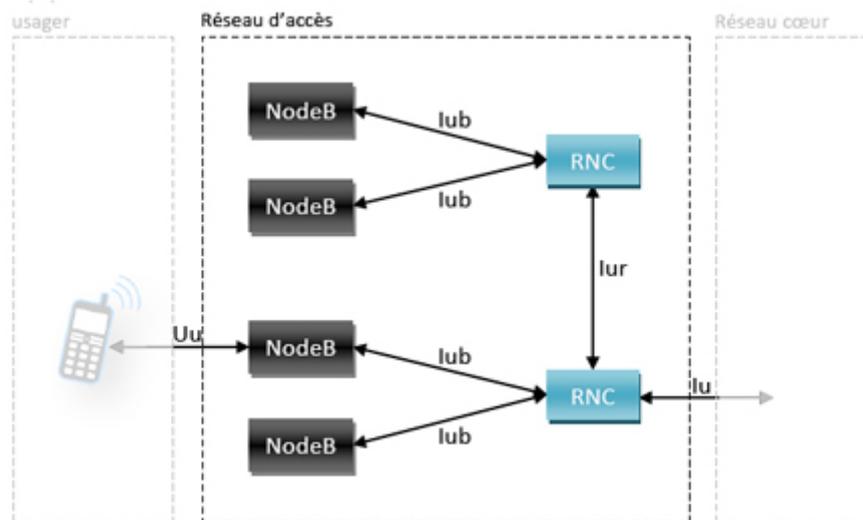


Figure 7: Architecture du réseau d'accès

3.1c Réseau cœur: Core Network (CN):

Les éléments du réseau cœur sont répartis en trois groupes comme présenté dans la figure []:

➤ **Le domaine de commutation de circuit** : Ce domaine assure la connexion à un réseau RNIS (*réseau numérique à intégration de service*) et le réseau RTC (*réseau téléphonique commuté*), il es composé des élément suivant :

Le MSC : (*Mobile Switching Center*) est un commutateur qui assure l'interface avec le réseau cœur pour un mobile accédant aux services a commutation de circuit. Le MSC gère dans un domaine de commutation de circuit, la procédure d'attachement des abonnés, leur authentification, et la mise à jour de leur position dans le réseau et la sécurisation de l'accès au système.

Le VLR (*Visitor Location Register*) constitue une base de données dans la quelle sont enregistrées des informations sur la position de l'abonné et son déplacement dans la zone de localisation reliée à un ou plusieurs MSC.

GMSC (*Gateway MSC*) est l'un des MSC du réseau qui assure l'interface avec les réseaux externes à commutation de circuits RTC ou RNIS.

➤ **Le domaine de commutation du paquet:** Ce domaine assure le transfert des paquets vers le réseau IP, il est composé des éléments suivants :

SGSN (*Serving GPRS Support Node*) : il joue le rôle d'un MSC/VLR pour le domaine de commutation de paquet, il assure principalement les procédures de routage et de transfert des données, les procédures d'attachement, de détachement, de localisation et les procédures d'authentification.

GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) : c'est une passerelle vers les réseaux externes tels qu'Internet.

➤ **Les éléments communs** entre le domaine de commutation de circuit et de la commutation de paquet:

HLR (*Home Location Register*): est une base de données qui contient toutes les informations relatives aux abonnés. Pour chaque abonné le HLR mémorise ces informations de souscription, son identité IMSI (*International Mobile Station Identity*) et son numéro d'appel MSISDN (*Mobile Station International ISDN Number*)

EIR (*Equipment Identity Register*): est une base de données contenant la liste des mobiles interdits.

AuC (*Authentication center*): il contient des paramètres utilisés pour la gestion de la sécurité de l'accès au system, il contient pour chaque abonné une clef d'identification pour lui permettre d'assurer les fonctions d'authentification et de chiffrement.

III. L'évolution du réseau 3G vers le 4G

La troisième génération de réseaux mobiles (3G): l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est apparue suite à la volonté des industriels de télécommunications de définir une norme au niveau mondial, ces entreprises (particulièrement issues du monde GSM) se sont regroupées au sein d'un consortium appelé 3GPP (3rd Generation Partnership Project) qui a donné naissance à plusieurs évolutions (release) du réseau UMTS résumée dans la figure [8]:

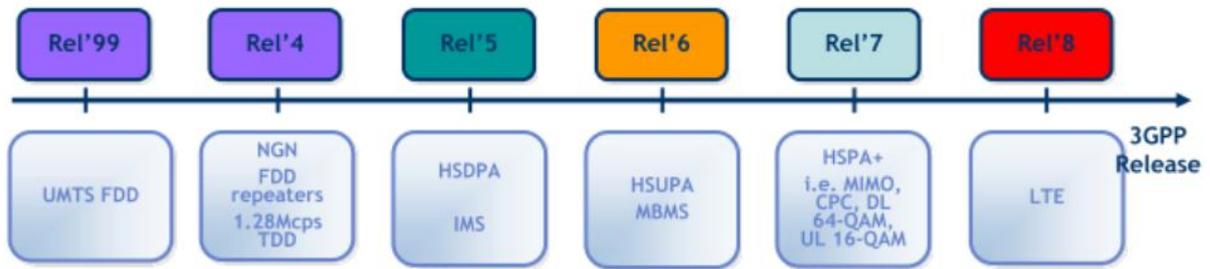


Figure 8: L'évolution de la technologie 3G

L'architecture UMTS telle que décrite dans la release 99 du 3GPP s'appuie sur une nouvelle interface radio, l'UTRAN, et une évolution des cœurs réseaux GSM et GPRS (adaptation des équipements existant ou nouveaux équipements) pour gérer les flux des domaines circuit et paquet comme présentée dans la figure[9]:

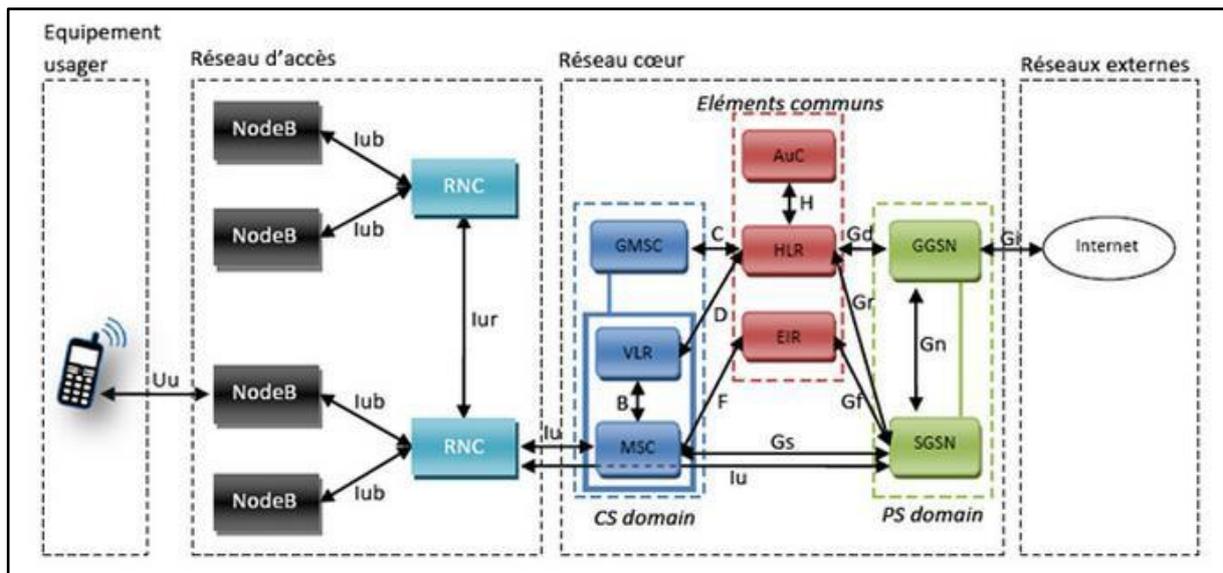


Figure 9: Architecture réseau 3G Release 99

L'UMTS Release 99 utilise la technologie W-CDMA (Wideband CDMA ou CDMA large bande). Cette est dernière basée sur une technique d'accès multiples CDMA et supporte les deux schémas de duplexage FDD et TDD. Le signal utile est étalé sur une largeur de bande de 3.84 MHz avant mise sur porteuse (d'où le nom de large bande), une porteuse occupant un canal de 5 MHz. Chaque appel est associé à un code spécifique connu de la station de base et du terminal, qui permet de le différencier des autres appels en cours sur la même porteuse. Le W-CDMA autorise la connexion simultanée à plusieurs cellules,

renforçant la qualité des communications lors du changement de cellule en mobilité. La Release 99 est limitée à un débit maximal de 384 Kbits/s dans les sens montant et descendant.

"Techniquement, et contrairement aux précédentes générations décrites ci-dessus, l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) transmet les données sur toute la largeur de sa bande de radiofréquences : chaque utilisateur peut occuper simultanément la totalité des canaux. Les communications, pour la voix comme pour les données, se voient attribuer un code unique permettant de ne pas tout mélanger."[B1]

1. Release 4:

La version R4 de la norme UMTS prévoit une évolution optionnelle du domaine circuit, sous la forme d'une restructuration fonctionnelle des MSC pour introduire une séparation des couches transport (Media Gateway) et contrôle d'appel (MSC server). En effet, la station mobile est inchangée; elle offre les mêmes services et les mêmes capacités que dans la R99. La R4 présente des avantages pour le réseau de base en termes de réduction des coûts, de flexibilité et d'évolution.[w4]

Dans la figure 10 qui suit nous présenterons l'architecture NGN du release 4. L'acronyme NGN (Next Generation Network) est un terme générique qui englobe différentes technologies visant à mettre en place un concept, celui d'un réseau convergent multiservices.

Evolutions de la Release 4 (NGN: Next Generation Network)

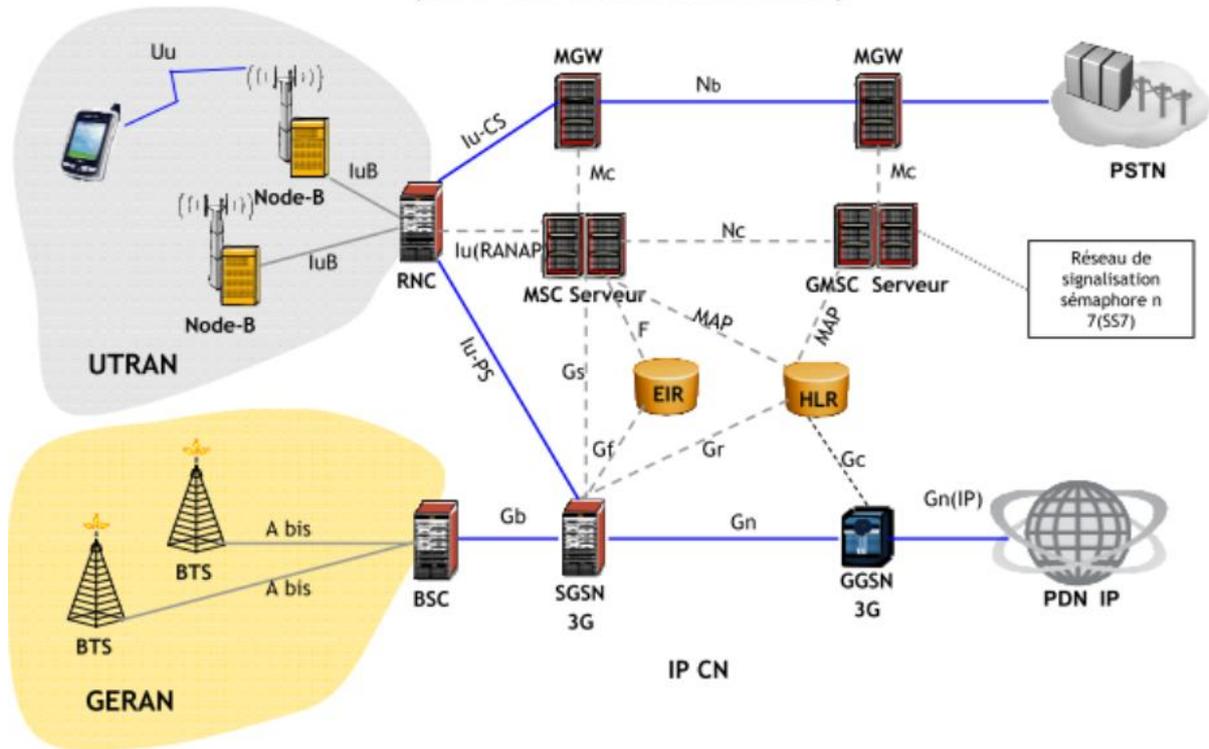


Figure 10: Architecture réseau 3G Release 4 et son interopérabilité avec GERAN

2. L' évolution HSPA (High Speed Packet Access):

Dans le but d'effacer les limites de la Release 99 en matière de débits. Les évolutions HSPA, commercialisée sous le nom de 3G+, sont introduites :

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante ;

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.

Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système. L'innovation principale du HSPA concerne le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio, où des ressources radio sont réservées à chaque UE pendant la durée de l'appel, à une commutation par paquets, où la station de base décide dynamiquement du partage des ressources entre les UE actifs. L'allocation dynamique des ressources est effectuée par la fonction d'ordonnancement ou scheduling, en fonction notamment de la qualité instantanée du canal radio de chaque UE, de ses contraintes de qualité de service, ainsi

que de l'efficacité globale du système. La commutation par paquets optimise ainsi l'usage des ressources radio pour les services de données.

La modulation et le codage sont rendus adaptatifs afin de s'adapter aux conditions radio de l'UE au moment où il est servi, les débits instantanés étant accrus via l'utilisation de modulations à plus grand nombre d'états qu'en Release 99. La modulation 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) est introduite pour la voie descendante en complément de la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) en vigueur en Release 99.

De même, la modulation QPSK est introduite pour la voie montante en complément de la modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying) utilisée en Release 99. Enfin, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ (Hybrid Automatic Response reQuest), est défini entre l'UE et la station de base, afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets. Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximaux de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite.[B1]

La release R5 et R6 introduisent un nouveau domaine, l'IP Multimédia (IM) Subsystem, s'appuyant sur les services du domaine paquet pour fournir des services de communications convergents (voix sur IP, données, multimédia...) en IP natif. Ainsi, les communications multimédias ne sont plus supportées de manière transparente mais deviennent le mode de communication cible de l'UMTS. Ce n'est que pour des raisons de compatibilité avec les réseaux GSM/GPRS et UMTS R99 et avec les terminaux non IP multimédia que le domaine circuit (MSC servers et MGW associées) est maintenu. Architecture présentée dans les figures ci dessous.

Evolutions de la Release 5 (IMS) (IMS: IP Multimedia Sub-system)

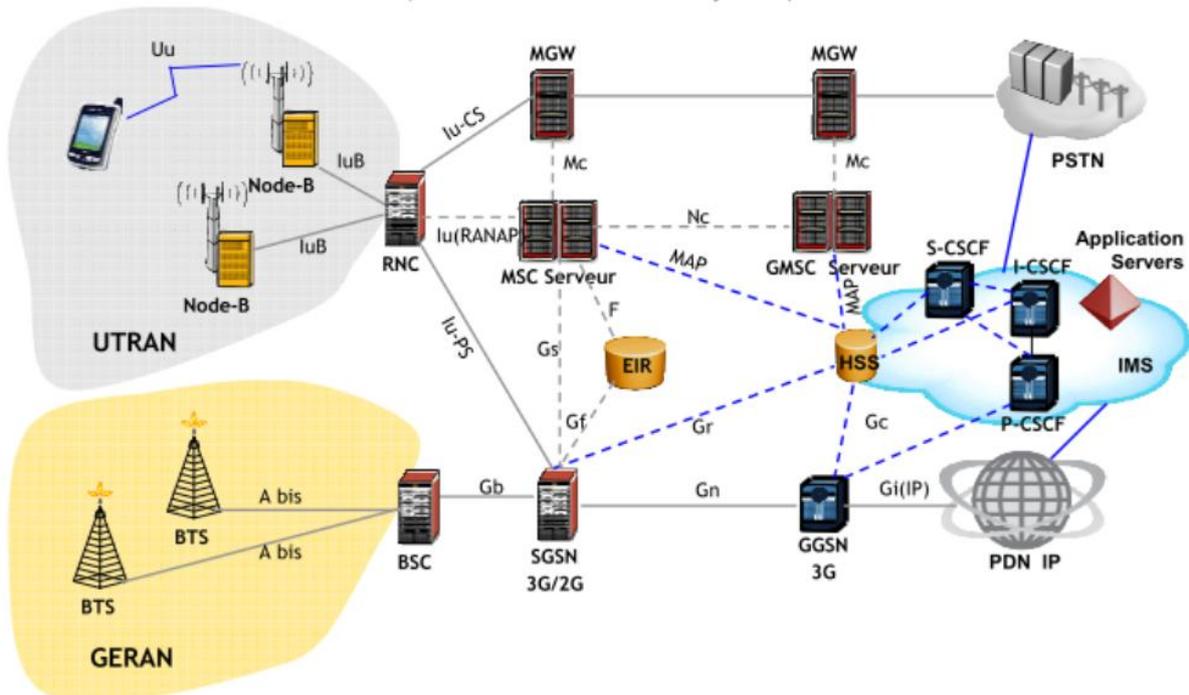


Figure 11: Architecture réseau 3G Release 5

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.

Evolutions de la Release 6

(MBMS:Multimedia Broadcast/Multicast Service)

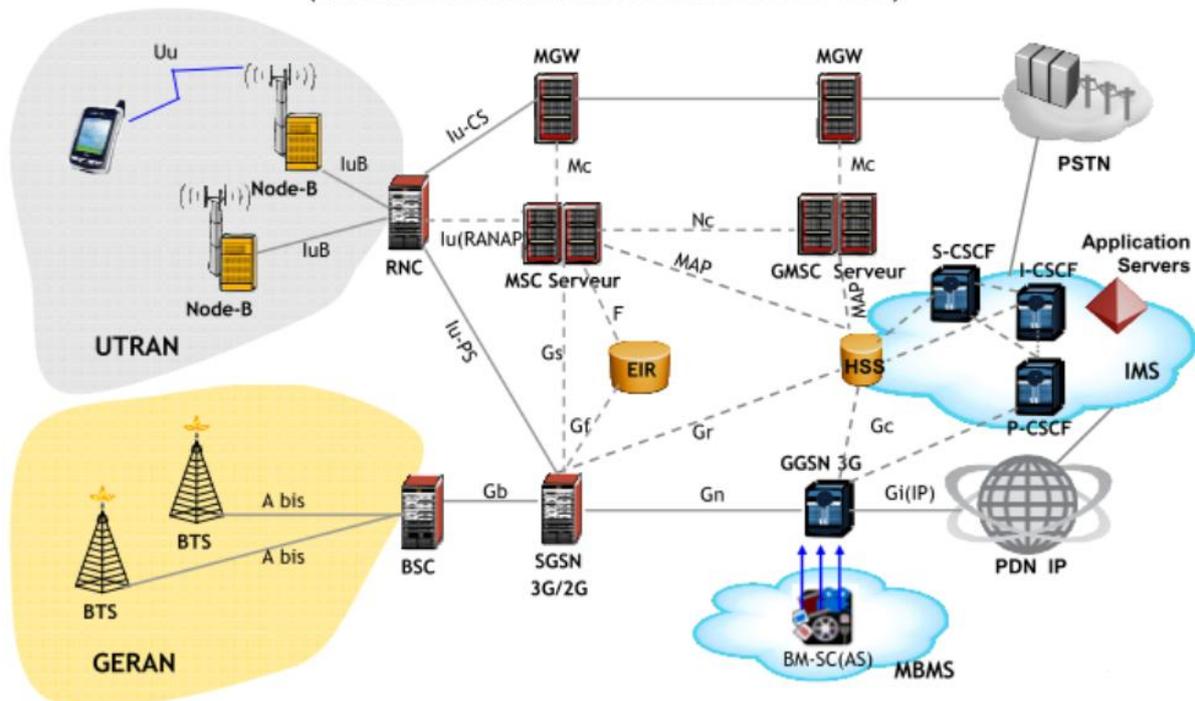


Figure 12: Architecture UMTS Release 6

3. L' évolution HSPA+ (High Speed Packet Access+) : release 7 et release 8

Avec l'augmentation de la charge des réseaux, la qualité de service fournie aux clients se dégrade, ce qui pose un véritable problème aux opérateurs de réseaux mobiles. Deux évolutions ont été développées par le 3GPP afin de répondre à ces contraintes :

La définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ;

La définition du LTE.

HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :

Les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;

La gestion des utilisateurs always-on.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008). L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles

techniques. En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DC- HSDPA (Dual Carrier – HSDPA). Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés. De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales. La fonctionnalité MIMO (Multiple Input Multiple Output) est également introduite pour améliorer les débits en voie descendante. Les utilisateurs « always-on » sont mieux pris en compte via des fonctionnalités regroupées sous le terme de CPC (Continuous Packet Connectivity). Le HSPA+ intègre enfin une option d'architecture qui réduit la latence du système via la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données. Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G. [B1]

4. La quatrième génération et son utilité:

L'explosion du trafic IP, diffusé essentiellement par des applications Internet et des services de données (tels que le streaming vidéo, la navigation web, le partage de fichier, la VOIP, etc) a mené à la congestion des réseaux mobiles existants. Par conséquent les opérateurs se sont vus obligés de migrer vers la 4G qui permet d'offrir un débit de 100Mbit/s en voie descendante et 50Mbit/s en voie montante. Soit l'équivalent des réseaux fibres optiques fixe. Ce débit théorique sera à partager entre tous les utilisateurs mobiles d'une même cellule.

Cette migration vers la technologie 4G permettra aux opérateurs de relancer leur forfait internet illimité au lieu des forfaits limités à quelques Go de transferts qui ont des coûts non rentables par rapport au coût des communications téléphoniques et des SMS. Jusqu'à présent, c'est le forfait téléphonique qui permet de rentabiliser le réseau de voix et de data. Mais avec l'explosion du trafic, c'est l'infrastructure du réseau IP qui doit être étoffée.

4.1 Objectifs de la LTE:

Les objectifs principaux motivant l'introduction de la quatrième génération des réseaux mobiles sont essentiellement la réduction des coûts des usagers et opérateurs tout en augmentant les débits pour aboutir à une bonne qualité de service. et en diminuant la latence (le temps d'aller retour réseau). Théoriquement la 4G doit réduire les temps de réponse d'un facteur de 10 par rapport aux systèmes 3G. Pour cela, du point de vue architecture, une partie importante du traitement est localisée le plus près possible du mobile, c'est-à-dire dans la station de base, afin de réduire les temps de réponse et améliorer la réactivité des protocoles aux conditions radio [B2]. Cette nouvelle génération doit aussi accepter plusieurs centaines (200) d'utilisateurs actifs simultanés sous une même cellule et suivre la mobilité de ces derniers sans interruption du service. Comme la bande passante est partagée, il est clair que les débits seront d'autant meilleurs qu'il y aura moins de trafic sur la zone et que l'antenne relais radio sera proche.

4.2 Les caractéristiques LTE

Caractéristique	Description
Débit sur l'interface radio	L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s toute en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant, et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz
Flexibilité de la bande passante	Possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes : 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz, pour les sens descendant et montant. L'intention est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.
Efficacité du spectre	Le LTE utilise une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens Descendant, et 2,5 bit/s/Hz

	pour le sens montant.
Méthode de duplexage	Le LTE utilise le Frequency Division duplexing (FDD) et le Time Division Duplexing (TDD)
Technologies d'accès	LTE utilise la technologie Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) pour le Sens descendant et Single Carrier - Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) et pour le Sens montant.
Orthogonalité du DownLink et UpLink	La liaison montante et la liaison descendante des utilisateurs sont orthogonales entre elles (pas d'interférence intracellulaire).
Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G	Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms Pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et La 2G/3G est toujours possible [B2].
Mobilité	La mobilité est assurée à des vitesses comprises entre 120et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.
Technologie d'antenne	LTE utilise la technologie d'antenne Multiple Input Multiple Output (MIMO)
Support du multicast	Notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast.

Tableau 1: Caractéristiques LTE

4.3 Allocation de spectre pour la LTE:

Chaque pays gère l'exploitation du spectre électromagnétique à l'aide d'une licence ; un certain nombre de licences sont attribuées par pays, les opérateurs intéressés par une certaine gamme de fréquence doivent acheter à l'état un droit d'exploitation pour pouvoir utiliser ces fréquences.

Nouveau réseau implique nouvelles fréquences.

Généralement, les fréquences utilisées en 4G sont:

➤ 800 MHz : la fréquence en or

La bande 800 MHz est souvent présentée comme les fréquences en or. Pourquoi ? La fréquence des 800 MHz présente l'avantage de porter plus loin, limitant en théorie le nombre de relais pour le déploiement. Elle pénètre également mieux à l'intérieur des bâtiments.

. En effet, une antenne émettant sur la fréquence basse des 800 MHz couvrira davantage de superficie qu'une antenne émettant sur la fréquence des 2600 MHz : il faudra 6 antennes émettant en 2600 MHz pour couvrir la même zone qu'une seule antenne émettant en 800 MHz. L'avantage que les opérateurs peuvent tirer du développement de l'implantation d'antennes émettant en 800 MHz est saillant : ils pourront développer plus rapidement la couverture du territoire.

Comme désavantage, elle fait mauvais ménage avec la TNT dont les fréquences 790 MHz sont très proches . La fréquence des 800 MHz est parfaitement adaptée aux zones rurales, elle pose question dans les zones fortement denses. Sa longue portée facilite leur saturation dans ce type de configurations.

➤ 2600 MHz : idéal pour les villes et les zones urbaines

La fréquence 2600 MHz présente des caractéristiques opposées au 800 MHz. Elle couvre une surface réduite et traverse moins facilement les murs. Ses caractéristiques font qu'elle est plus adaptée pour une utilisation en ville où elle est plus à même d'encaisser une utilisation intensive du réseau.

Mais pour parvenir à encaisser le choc, il faut avoir une largeur de bande importante. C'est pour cela que tous les opérateurs ont pris plus de blocs de fréquences en 2600 MHz qu'en 800 MHz. Et de cela peut découler de meilleures performances si les cellules ne sont pas saturées.

➤ 1800 MHz : le meilleur des deux mondes

Cette fameuse fréquence déjà utilisée par Tunisie Telecom a permis à l'opérateur d'accélérer significativement le déploiement de son réseau 4G, puisqu'elle était déjà utilisée pour son réseau 2G qu'elle a largement eu le temps de déployer. Ainsi quelle a permis à l'iPhone 5 d'être compatible avec au moins un réseau 4G en Tunisie.

En ce qui concerne les caractéristiques techniques, le 1800 MHz présente des caractéristiques à mi-chemin entre le 800 MHz et le 2600 MHz : cela pénètre mieux que le 2600 MHz mais porte moins loin que le 800 MHz. [w5]

Les bandes de fréquences attribuées aux 3 opérateurs mobiles en Tunisie (Tunisie Telecom, Orange et Ooredoo) pour la 4G sont : 800 MHz, 2100MHz et 1800 MHz qui est actuellement utilisée pour son réseau 2G et, en particulier, pour son service Edge (data). A noter que la bande des 900 Mhz, actuellement utilisée en 2G et 3G (avec une meilleure pénétration à l'intérieur des bâtiments), n'est pas concernée par la 4G, ainsi que la bande 2600MHz qui n'a pas été commercialisée. D'après l'ANF (Agence Nationale des Fréquences), voici les deux scénarios de sous-bandes de fréquences proposées pour la 4G:

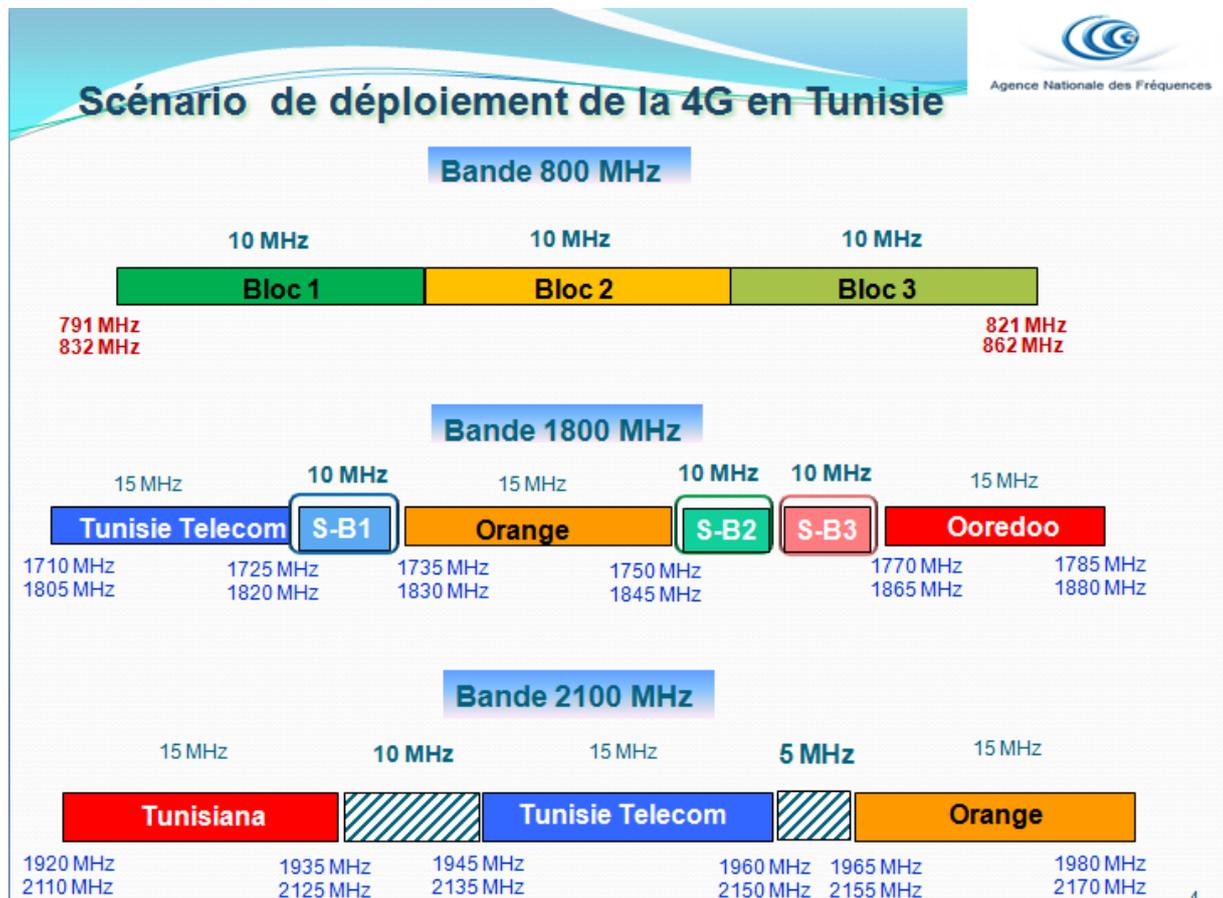


Figure 13: Scénario de déploiement de la 4G en Tunisie

Scénario 2: Sous-bandes de fréquences proposées pour la 4G

Sous-bandes de la bande 800 MHz	
Licence A	[791 - 801] / [832 - 842] MHz
Licence B	[801 - 811] / [842 - 852] MHz
Licence C	[811 - 821] / [852 - 862] MHz

Sous-bandes de la bande 1800 MHz	
Sous-bande 1	[1725 - 1735] / [1820 - 1830] MHz
Sous-bande 2	[1750 - 1760] / [1845 - 1855] MHz
Sous-bande 3	[1760 - 1770] / [1855 - 1865] MHz

Sous-bandes de la bande 2100 MHz	
Sous-bande 1	[1935 - 1940] / [2125 - 2130] MHz
Sous-bande 2	[1940 - 1945] / [2130 - 2135] MHz
Sous-bande 3	[1960 - 1965] / [2150 - 2155] MHz

Figure 14: Scénario de sous bande de fréquences proposées pour la 4G

4.4 Architecture du réseau 4G/LTE:

Comme tous les réseaux pour mobiles, celui de la 4G LTE se compose de trois parties comme le montre la figure:

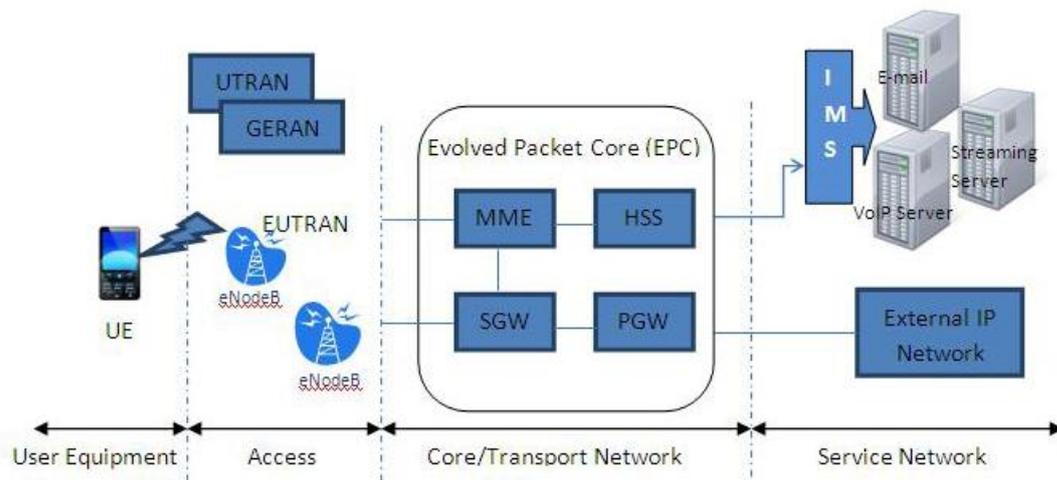


Figure 15: Architecture du réseau 4G [w6]

- **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.
- **L'accès radio eUTRAN** (evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).

Il ne contient que des **eNodeB** qui assurent l'échange radio avec l'E-UTRAN. Les fonctions de contrôle du contrôleur BSC en 2G ou RNC en 3G ont été intégrées dans l'eNodeB, ce qui leur permet notamment de communiquer directement entre stations de base par le biais de l'interface X2 comme le montre la figure. Le tri entre voix et données est donc désormais réalisé dans l'eNodeB et plus dans le contrôleur. Les communications vocales sont renvoyées vers le MSC (Mobile Switching Centre) des réseaux 2G et 3G. Alors que pour le reste du trafic, les stations de base communiquent directement en IP avec l'EPC à travers l'interface S1.

L'interface S1 : c'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires : Cette dernière consiste en **S1-U** (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW et **S1-C** (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

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

L'interface X2: C'est une interface qui permet aux eNodeB d'échanger des informations de signalisation.

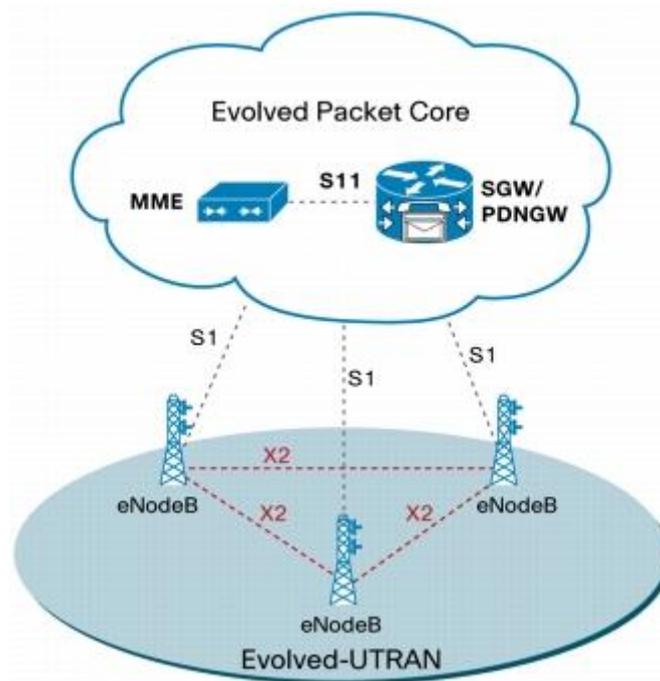


Figure 16: Architecture E-UTRAN

- **Le cœur de réseau l'EPC** (Evolved Packet Core) tout IP:

L'EPC utilise des technologies « full [IP](#) », il n'est donc « qu'un gros tuyau IP ». C'est un réseau « plat », dans lequel tous les équipements IP communiquent directement entre eux sans avoir besoin d'effectuer des allers et retours avec les équipements de niveau supérieur. D'où un gain très sensible de temps de traversée du réseau (latence), ce qui explique le confort de l'affichage des flux temps réel sur les terminaux.

L'EPC comporte quatre blocs fonctionnels:

Entité MME (Mobility Management Entity) Les fonctions de l'entité MME incluent:

- Signalisation EMM et ESM avec l'UE. Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME

- Authentification. Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS

- Joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (incluant paging). C'est l'entité MME qui est responsable du paging lorsque l'UE est dans l'état IDLE et que des paquets à destination de l'UE sont reçus et mis en mémoire par le Serving GW.

- Gestion de la liste de Tracking Area. L'UE est informé des zones de localisation prises en charge par le MME, appelées Tracking Area. L'UE met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une Tracking Area qui n'est pas prise en charge par son MME.

- Sélection du Serving GW et du PDN GW. C'est au MME de sélectionner le Serving GW et le PDN GW qui serviront à mettre en œuvre le Default Bearer au moment du rattachement de l'UE au réseau. X2 Core Network eNodeB eNodeB S1 S1.

- Sélection de MME lors du handover avec changement de MME. Lorsque l'utilisateur est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge par un MME à une autre zone qui est sous le contrôle d'un autre MME, alors il est nécessaire que le handover implique l'ancien et le nouveau MME.

- Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G. Si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.

- Roaming avec interaction avec le HSS nominal. Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau, le MME s'interface au HSS nominal afin de mettre à jour la localisation du mobile et obtenir le profil de l'utilisateur.

- Fonctions de gestion du bearer incluant l'établissement de dedicated bearer. C'est au MME d'établir pour le compte de l'utilisateur les default bearer et dedicated bearer nécessaires pour la prise en charge de ses communications.

- Interception légale du trafic de signalisation. L'entité MME reçoit toute la signalisation émise par l'UE et peut l'archiver à des fins de traçabilité.

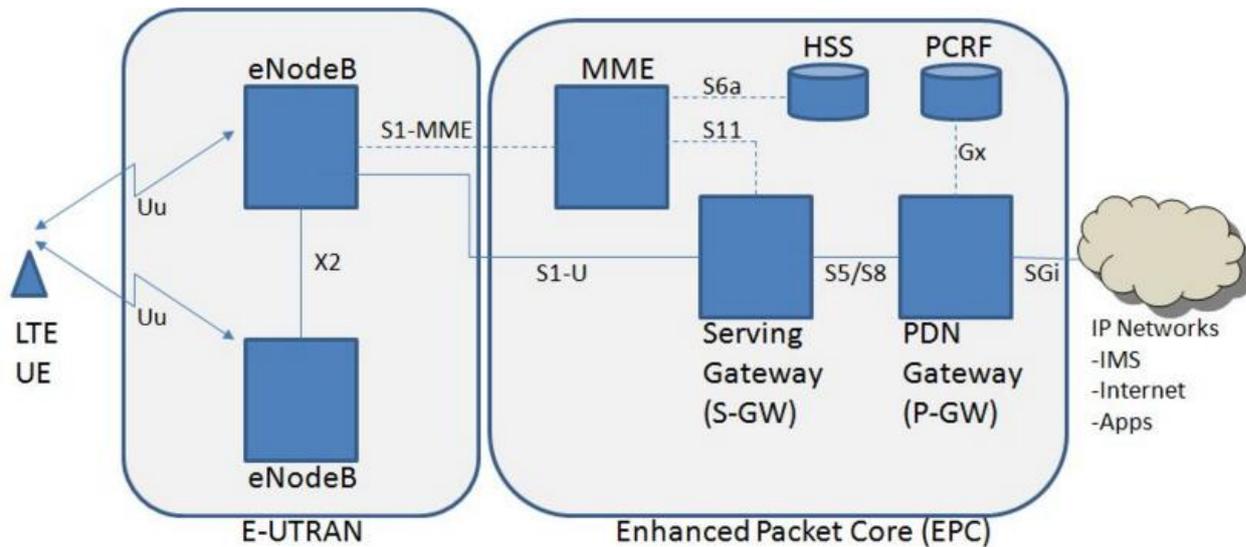


Figure 17: Architecture EPC [w7]

Entité Serving GW (Serving Gateway) Les fonctions de l'entité Serving GW incluent :

- Point d'ancrage pour le handover inter-eNodeB. Lors d'un handover inter-eNode, le trafic de l'utilisateur qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le Serving GW doit désormais être relayé du nouvel eNodeB au Serving GW.
- Point d'ancrage pour le handover LTE et les réseaux 2G/3G. Il relaie les paquets entre les systèmes 2G/3G et le PDN-GW. Lors d'une mobilité entre LTE et Les réseaux 2G/3G paquet, le SGSN du réseau 2G/3G s'interface avec le Serving GW pour la continuité du service de données.
- Mise en mémoire des paquets entrants lorsque l'UE destinataire est dans l'état ECM-IDLE et initialisation de la procédure de demande de service initiée par le réseau.
- Interception légale; Le Serving GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- Routage des paquets et relai des paquets. Le Serving GW route les paquets sortant au PDN GW approprié et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.

- Comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs. Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements.

Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway) Les fonctions de l'entité PDN GW incluent:

- Interface vers les réseaux externes (Internet et intranet). Le PDN GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6.

- Allocation de l'adresse IP de l'UE. Le PDN GW assigne à l'UE son adresse IP dès l'attachement de l'UE lorsque le réseau établit un default bearer permanent à l'UE. Le PDN GW peut allouer une adresse IPv4 ou IPv6.

- Interception légale. Le PDN GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.

- Marquage des paquets dans les sens montant et descendant, e.g., positionnant le DiffServ Code Point sur la base du QCI (QoS Class Identifier) du bearer EPS associé. Cela permet d'associer des priorités aux flux de données au sens DiffServ.

- Taxation des flux de service montants et descendants (e.g. sur la base des règles de taxation fournies par le PCRF) ou sur la base de l'inspection de paquets définie par des politiques locales).

Entité HSS (Home Subscriber Server) Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé Home Subscriber Server (HSS). Le HSS est un HLR évolué et contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS. A la différence de la 2G et de la 3G où l'interface vers le HLR est supportée par le protocole MAP (protocole du monde SS7), l'interface S6 s'appuie sur le protocole DIAMETER (protocole du monde IP). Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS appartenant au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE, IMS).

Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function) L'entité PCRF réalise deux fonctions : • Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un default bearer ou un dedicated bearer est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'utilisateur fait transiter sur son default bearer des flux WAP et des flux de streaming, il sera possible au PDN-GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP sur la base du volume alors que le flux de streaming sera taxé sur la base de la durée.

- Elle permet de demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des dedicated bearers sur la base de QoS souhaitée par l'utilisateur. Par exemple, Si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS, un message SIP sera envoyé au P-CSCF qui dialoguera avec le PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session. Le PCRF dialogue alors avec le PDN-GW pour créer le dedicated bearer correspondant. [w8]

4.5 Technologies employées dans le réseau 4G:

4.5a 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. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)(4QAM), 16-QAM et 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

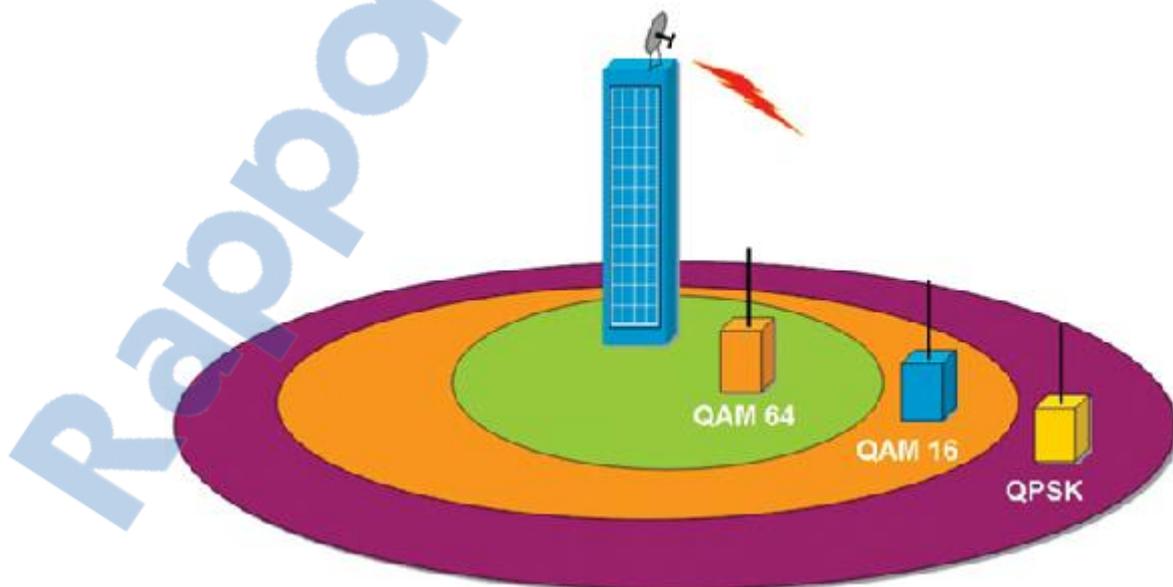


Figure 18: Modulation adaptative [w9]

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). [w10]

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. Le signal produit consiste en deux trains d'impulsions PAM en quadrature de phases.

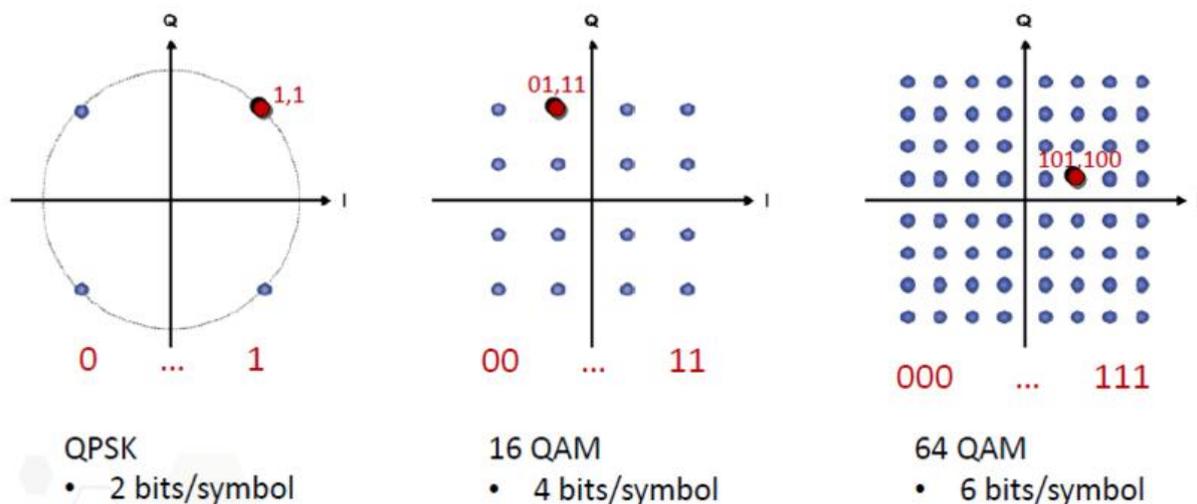


Figure 19: Modulation QAM [w11]

4.5b Techniques d'accès:

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

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.

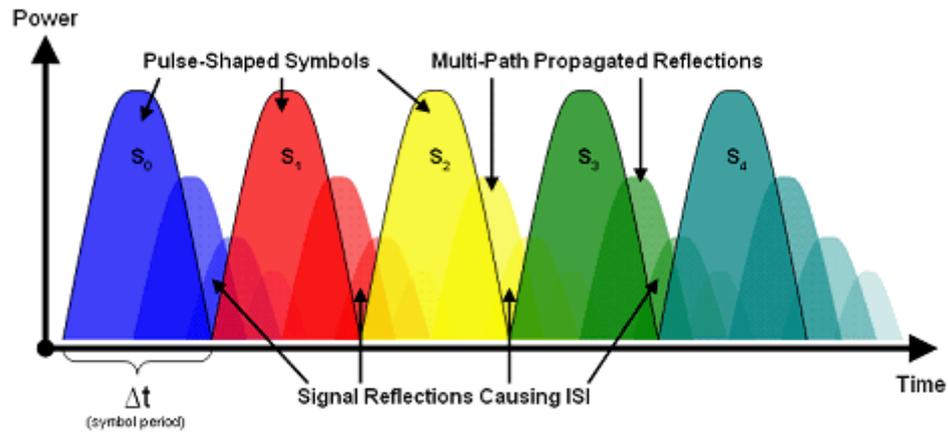


Figure 20: Modulation OFDM [w12]

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). 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.

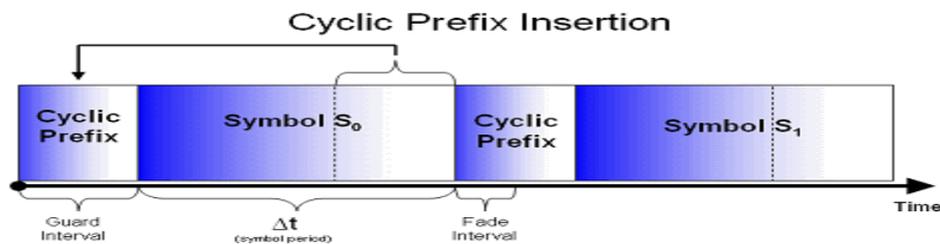


Figure 21: Préfixe Cyclique [w13]

4.5.b.1 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access):

Toujours côté radio, la 4G introduit, dans le sens descendant une nouvelle modulation, l'OFDMA appelée également 'multi-carrier' (multi-opérateurs), déjà notamment utilisée en Wi-Fi, en Wimax et en xDSL. Elle offre une meilleure efficacité spectrale, un faible temps de latence et résiste mieux aux interférences

C'est une technique hybride de l'OFDM, TDMA et FDMA. Elle permet d'augmenter le débit vue à la diversité fréquentielle et la robustesse multi trajet.

Cette technique de multiplexage d'accès consiste la répartition du signal sur des porteuses orthogonales pour transmettre le signal indépendamment et à des fréquences différentes.

L'OFDMA consiste à introduire trois types de sous-porteuse :

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

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

4.5.b.2 SC-FDMA (Single Carrier- Frequency Division Multiple Access):

Le SC-FDMA offre des performances et une complexité globale similaire à l'OFDMA mais utilise une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse.

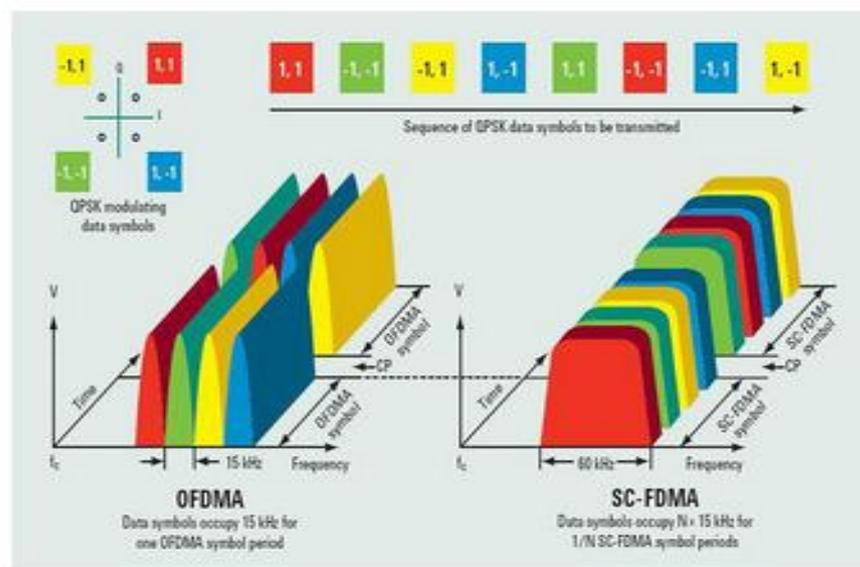


Figure 22: La différence entre OFDMA et SC-FDMA [w13]

4.5c Structure de la trame LTE:

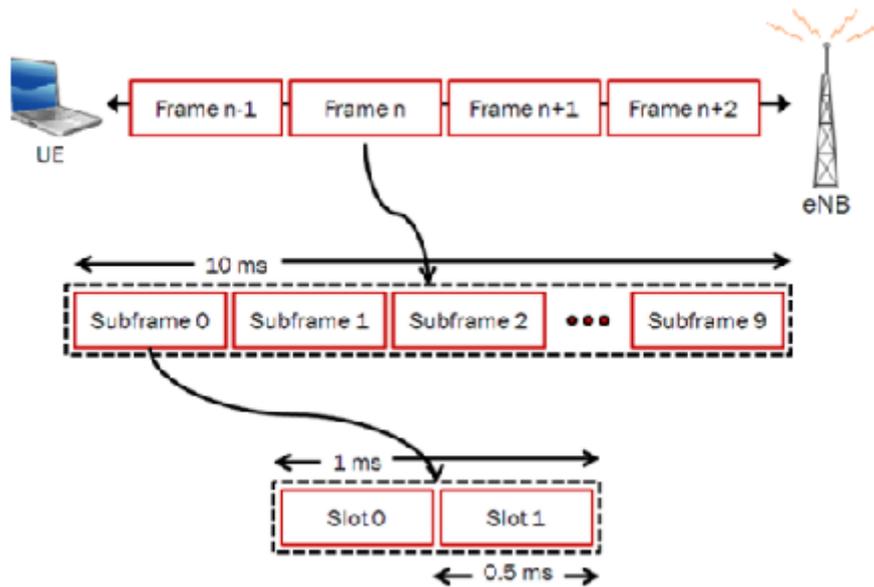


Figure 23: Structure de la trame LTE

Les trames LTE sont de 10 ms. Ils sont divisés en 10 sous- trames, chaque sous-trame de longueur 1,0 ms. Chaque sous-cadre est divisée en deux slots, chacun de 0,5 ms.

Un duplexage est nécessaire afin d'attribuer les slots d'émissions et de réception

Il existe deux principaux modes de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE :

- ✓ le duplexage en fréquence ou Frequency Division Duplex (FDD); les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde.

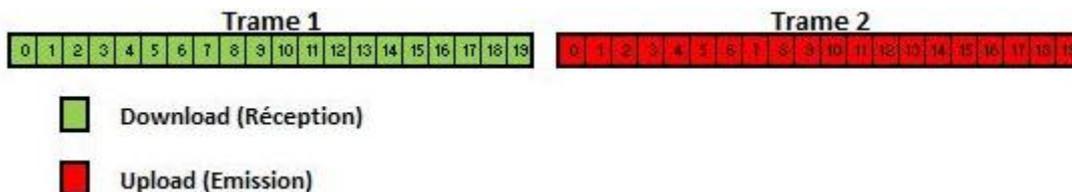


Figure 24: Duplexage FDD [w14]

- ✓ le duplexage en temps ou *Time Division Duplex* (TDD): les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage s'effectuant dans le domaine temporel, comme illustré sur la figure suivante. Certains intervalles de temps de transmission sont réservés à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire aux changements de direction de transmission, notamment pour laisser aux équipements le temps de

basculer d'émission à réception. En LTE, l'intervalle de temps élémentaire pouvant être dédié à l'un des sens de transmission est appelé la *sous-trame*

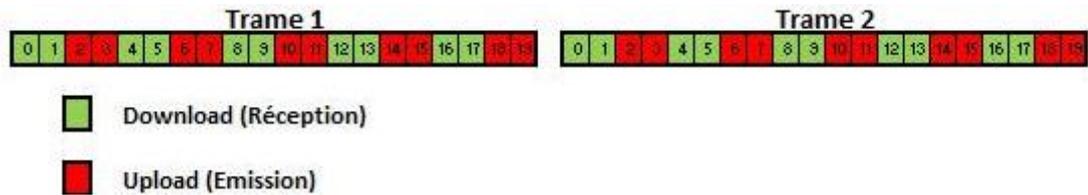


Figure 25: Duplexage TDD [w15]

Les trames LTE sont de 10 ms. Ils sont divisés en 10 sous- trames, chaque sous-trame de longueur 1,0 ms. Chaque sous-cadre est divisée en deux slots, chacun de 0,5 ms. Un slot est composé de 6 ou 7 symboles OFDM, selon que le préfixe cyclique normal ou étendu est employé sachant que le préfixe cyclique.

4.5d Blocks de ressources

Les ressources radio, en voie montante et descendante, se présentent sous la forme d'une grille temps-fréquence : dans le domaine temporel, le temps est divisé en trames radio consécutives de 10ms. Chaque trame radio est répartie en dix sous-trames de 1ms chacune. Une sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval) qui est la durée minimale à allouer à un utilisateur. Dans le domaine fréquentiel, la plus petite unité de ressource fréquentielle pouvant être allouée est appelée PRB (Physical Resource Block) qui correspond à 12 porteuses, soit 180KHz. Un nœud dans le réseau peut utiliser un certain nombre de blocs de ressources [B3].

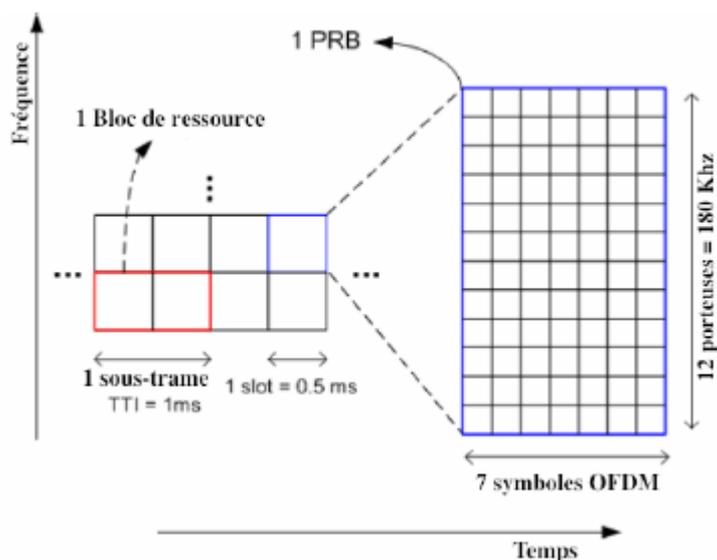


Figure 26: Grille de ressources temps fréquence

Le nombre total de PRB par largeur de bande du canal ou (CC Component Carrier) dépend de la largeur de cette dernière et le tableau ci-dessous résume ces données:

Bande passante (MHz)	Nombre de PRBs
1.4	6
3.0	15
5.0	30
10	50
15	75
20	100

Tableau 2: Nombre de PRB suivant les différentes bandes passantes

La plupart des réseaux sans fil sont utilisés dans des milieux ouverts provoquant ainsi la réflexion du signal sur de nombreux obstacles (immeubles, montagne ...).

L'ensemble de ces réflexions provoque une multiplication des canaux de transmission qu'on appelle également diversité spatiale.

Cette diversité spatiale entraîne des interférences et donc des dégradations au niveau du signal, et, une baisse de la portée de celui-ci. La technologie MIMO permet de régler ce problème.

4.5e Technique MIMO :

C'est une technique qui a pour but l'augmentation du débit et des portées du réseau mobile. Elle consiste à avoir plusieurs antennes cotés émetteur et de même coté récepteur. Si un tel système comporte une seule antenne à l'émission et plusieurs à la réception on l'appelle SIMO et si c'est le cas contraire c'est-à-dire plusieurs à l'émission et une à la réception c'est un système MISO. Et pour le cas d'une antenne à l'émission et à la réception on l'appelle SISO.

Une structure comme celle du système MIMO permet d'apporter la diversité, que ce soit spatiale c'est à dire d'antenne, ou fréquentielle est c'est l'envoi du même signal sur des fréquences différentes et la diversité temporelle. Et par conséquent l'amélioration du rapport signal sur bruit d'où le taux d'erreur binaires.

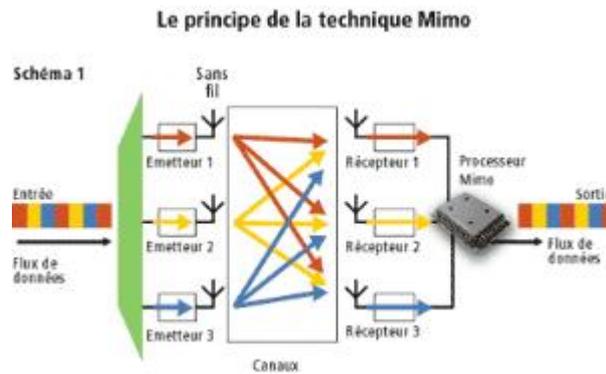


Figure 27: Principe de la technique MIMO [w16]

Dans ce cas, plusieurs antennes peuvent émettre en parallèle sur la même fréquence en jouant sur les multiples chemins suivis par les signaux pour les récupérer à un instant légèrement différents.

Le flux est divisé en différents flux de même fréquence qui sont envoyés via 3 émetteurs à 3 récepteurs. L'algorithme permet ensuite d'identifier les différents flux en vue de les restituer en un seul. Cet algorithme utilise la réflexion des signaux sur les murs, le sol et autres obstacles.

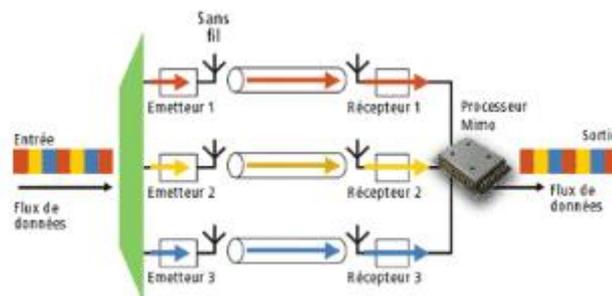


Figure 28: Le principe de la technologie MIMO [w16]

Alors que ces réflexions pourraient être considérées comme mauvaises, la technologie MIMO profite de ces différents canaux pour améliorer la rapidité de transmission des données.

4.6 Services associés au LTE

Le LTE se distingue des technologies précédentes par :

Une grande capacité cellulaire, qui permet à un grand nombre d'UE à utiliser simultanément des services à très haut débit ; ainsi qu'elle fournit un confort accru d'utilisation des services en ligne : les pages web et les courriers électroniques se chargent

rapidement grâce au très haut débit, tandis que la latence réduite garantit une réponse quasi-instantanée aux requêtes. Le très haut débit permet également l'introduction de nouveaux services mobiles tels que la vidéo haute définition en 3D, sur des écrans larges de type tablettes. D'autant plus que cette capacité accrue permet de développer des services qui jusque-là auraient pu être à l'origine d'une saturation du réseau dans le cas d'un usage simultané par un grand nombre d'abonnés : on peut citer, par exemple, l'accès continu à des contenus en ligne, comme des web radio, ou des vidéothèques ou discothèques numériques, les terminaux recevant le média en temps réel au lieu de le lire sur leur mémoire locale.

Une faible latence qui ouvre la porte à de nouveaux services mobiles difficiles à mettre en œuvre jusque-là. On peut notamment citer les jeux vidéo en réseau, qui devraient ainsi se développer sur terminal mobile. La faible latence permet aussi d'accompagner sur les réseaux mobiles des évolutions de l'Internet fixe, comme le développement des services de type cloud computing ou SaaS (Software as a Service), où l'utilisateur fait appel à des capacités de calcul et un logiciel mis en œuvre sur un serveur distant, les ressources de calcul du terminal ne servant qu'à l'accès au réseau et à assurer l'interface utilisateur. La faible latence est essentielle pour ces services afin d'assurer à l'abonné une perception du service similaire à celle qu'il aurait avec un logiciel installé directement sur le terminal.

4.7 Le contrôle de la qualité de service:

Le contrôle de la qualité de service est essentiel pour l'opérateur afin de garantir une expérience satisfaisante à l'utilisateur. La technologie LTE offre des mécanismes dits de qualité de service différenciée afin de faciliter la prise en compte des contraintes de services différents. Les services mobiles peuvent être distingués selon deux critères principaux, souvent intimement liés.

Le service est-il temps-réel ou non temps-réel ?

Le service tolère-t-il des erreurs de transmission ?

Ces caractéristiques de service impliquent une prise en charge différenciée de la part du réseau. On comprend aisément que le traitement d'un appel voix n'imposera pas les mêmes contraintes que le téléchargement d'un fichier. D'une manière générale, les services temps-réel (par exemple, un appel voix ou un appel de streaming vidéo) requièrent des délais de transmission courts mais peuvent tolérer des erreurs de transmission. En revanche, les

services non temps-réel (par exemple, un téléchargement de courrier électronique ou de fichier) revêtent des contraintes de délais relâchées mais ne tolèrent pas d'erreurs de transmission. Le LTE a ainsi été conçu pour distinguer les services nécessitant un débit garanti ou GBR (Guaranteed Bit Rate), des services ne requérant pas de débit garanti (non-GBR). [B1]

IV. 4G Advanced: Evolution vers LTE Rel-10:

Le travail en 3GPP ne s'est pas arrêté au niveau du release 8 mais il a donné naissance à la release 9, 10 et voir même la release 11 comme montré dans la figure ci-dessous:

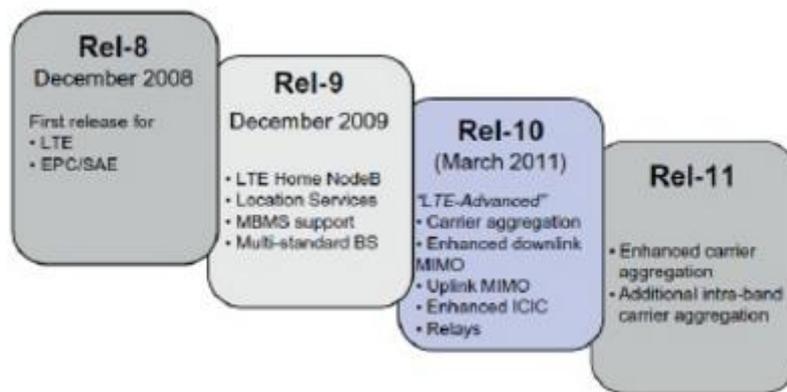


Figure 29: Evolution vers LTE Rel-10

En effet, LTE Advanced (LTE Rel-10) a pu améliorer le débit et la qualité de service du réseau pour aboutir à un débit de **1Gbps** pour le **downlink** et **500Mbps** pour l' **uplink** et cela par l'introduction d'innovations technique qui sont essentiellement:

- **L'agrégation des porteuses:** Actuellement LTE rel8/9 supporte une largeur de bande qui s'étend jusqu'à 20MHz, ceci malheureusement, même avec l'amélioration réalisée au niveau de l'efficacité spectrale du système ne permet pas d'atteindre le débit requis. Donc, la seule solution est d'introduire une extension sur la largeur de bande du canal jusqu'à 100MHz, dans le concept d'agrégation de porteuses (Carrier Aggregation CA); Ce concept est créé pour répondre principalement à deux besoins:
 - ➔ Garder la compatibilité du réseau avec les terminaux mobiles de LTE en construisant la bande 100MHz de LTE Advanced avec un ensemble

élémentaire de largeur adéquate au canal en LTE rel-8, ces bandes sont appelées Component Carrier CC comme présenté dans la figure ci-dessous:



Figure 30: Largeur de Bande du canal LTE Rel-8

- ➔ L'absence de bande de 100MHz contigüe pour la plupart des operateurs a mené à la formation d'une bande de 100MHz à travers l'agrégation de plusieurs CCs(Component Carrier) non contigües est réalisable surtout lorsque les terminaux mobiles en LTE-Advanced peuvent supporter plusieurs chaines d'émission/réception RF; Cette figure présente un cas d'agrégation de porteuses de 5 CCs adjacentes contigües et montre l'interet de ce concept dans le processus de migration vers LTE-Avanced, pouvant se passer de façon transparente en tenant la compatibilité des terminaux LTE exploitant une seule CC alors que les terminaux LTE-Advanced bénéficient de se qu'on appelle une transmission multi-CC;

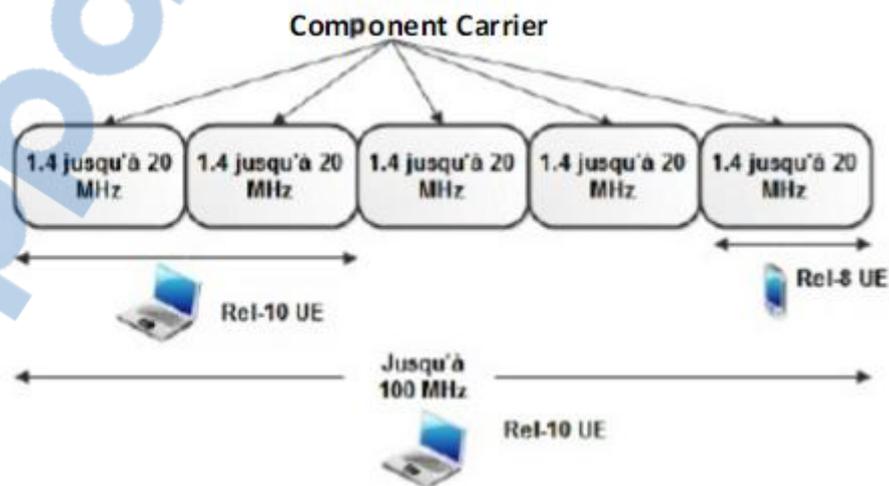


Figure 31: Agrégation de porteuses à composantes contigües

- Le MIMO amélioré:
- Le nœud relais (RN): Installation de relais permettant de recevoir, démoduler,

décoder, appliquer une correction d'erreur etc et retransmettre de nouveau le signal de façon à améliorer la couverture et la qualité. Contrairement au nœud amplificateur qui ne font qu'amplifier le bruit et dégrader la qualité lorsqu'ils sont utilisés dans les bordures des cellules.[B3]

V. Cinquième génération: 5G

L'évolution des générations mobiles avaient pour ambition d'améliorer la vitesse afin de supporter l'usage croissant de l'Internet mobile. C'est en partie le cas pour la 3G et ça l'est encore plus pour la 4G, quand celle-ci est disponible, puisqu'elle permet des débits pouvant atteindre les 300 Mbit/s, selon les opérateurs et les fréquences utilisées.

Avec de telles performances, on peut légitimement se demander l'intérêt de développer, dès maintenant, un nouveau standard. C'est que l'enjeu de la 5G n'est pas de répondre aux problèmes d'aujourd'hui, ceux-là ne nécessitent que des efforts financiers et logistiques de la part des opérateurs pour améliorer leur couverture. Non, c'est pour les utilisations de demain qu'est pensée la 5G : l'ensemble des usages qui subiront de plein fouet les limitations de nos infrastructures.

La 5G est à des années de devenir un standard, et pour l'instant, l'industrie elle-même peine à la définir. Et pour cause, la 5G, c'est d'abord beaucoup d'idées et une promesse : répondre aux besoins exponentiels en matière de télécommunication.

En 2020, tout sera connecté ?



Pour comprendre l'empressement généralisé autour du futur standard, il faut imaginer l'espace de quelques instants, l'état de la technologie en 2030. Dans quinze ans, des centaines de milliards d'objets connectés, des voitures autonomes, la réalité augmentée et virtuelle, des vidéos toujours mieux définies seront utilisés quotidiennement par des milliards de personnes.

Le futur standard est spécifiquement conçu pour cet accroissement démesuré, avec en tête l'idée de créer un réseau à toute épreuve, qui ne craindrait ni la surcharge ni les évolutions et pouvant s'adapter à de nouveaux usages toujours plus exigeants.

Les institutions et entreprises s'accordent à dire que la 5G ne sera pas une technologie, mais bien un ensemble qui aura atteint un niveau de maturité suffisant pour répondre aux attentes commerciales du futur standard.

QU'EST-CE QUI CHANGERA ?

Dans un premier temps, la 5G souhaite apporter **des débits de l'ordre du gigabit** par seconde, mais sa priorité n'est pas la vitesse brute : elle veut surtout **réduire le temps de latence** dans la transmission de données. À l'heure actuelle, le temps de réaction des réseaux mobiles peut atteindre la demi-seconde, voir plus quand les réseaux sont surchargés. Une demi-seconde, ça paraît peu, mais c'est beaucoup trop quand il est question, par exemple, de voitures autonomes.



Pour répondre à ce futur usage, les industriels et les institutions s'accordent donc sur le fait que le standard devra avoir **un temps de réponse de moins d'une milliseconde**. Autrement, on imagine facilement les répercussions que pourrait avoir une latence supérieure dans un trafic chargé ou sur une autoroute.

Le futur standard est placé sous le signe de la convergence. Il n'y aura vraisemblablement pas une seule 5G, mais différentes technologies adaptées aux différents usages de demain et capables de communiquer entre elles. Les réseaux 4G ont encore un large potentiel d'amélioration : ils seront optimisés et serviront de fondation au futur standard.

Mais comment résoudre dès lors la surcharge des réseaux due à la forte concentration d'utilisateurs en milieu urbain ? La réponse se trouve sûrement du côté des Small Cells. Il s'agit de petites antennes qui pourront être intégrées au mobilier urbain (lampadaires, bancs, poubelles). Celles-ci permettront de répartir efficacement les utilisateurs sur plus d'antennes à haut débit selon leur position, au lieu de les entasser sur une seule et même antenne-relais.

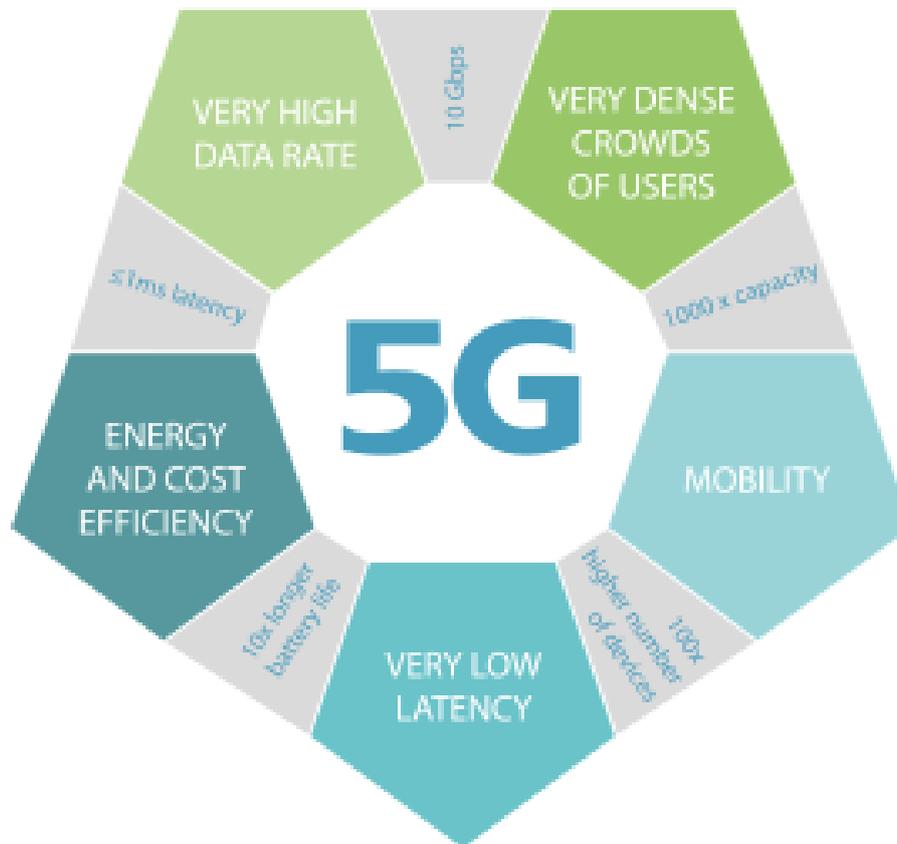
Une autre technologie est également présupposée au sein du futur standard de télécommunications : le **MIMO**. Cette technique déjà présente au sein du réseau 4G actuel, pourrait être utilisée à une échelle beaucoup plus large dans le prochain standard. Le MIMO offrirait des débits bien plus élevés tout en réalisant des économies d'énergie. L'adoption de cette technologie suppose un changement complet de paradigme : on passerait de grosses antennes qui envoient un signal dans toutes les directions, à des centaines de petites antennes qui concentreraient le signal vers chaque appareil connecté.

Dans la ville intelligente, ce sont des millions de capteurs qui seront connectés, sans compter les automobiles qui devront communiquer entre elles et avec les infrastructures urbaines. L'architecture du réseau devra donc sûrement s'affranchir du modèle de l'antenne relais, qui ne semble plus adaptée aux futurs usages.

PAS SI VITE, MAIS PLUS LONGTEMPS

Enfin, si notre consommation de médias toujours croissante (streaming en 4K, vidéos à 360°, démocratisation de la réalité virtuelle et augmentée) impose d'améliorer la vitesse des réseaux, la cinquième génération du standard de télécommunication devra aussi bien gérer le **haut débit** que le bas débit. En effet, un des critères dans l'élaboration de la 5G est la

consommation d'énergie. Le prochain standard devrait permettre aux objets connectés de fonctionner dix fois plus longtemps sur une charge.



Les capteurs autonomes pourraient eux tenir plusieurs années sans être rechargés. Tout dépendra bien sûr de la fréquence à laquelle ces capteurs se connecteront aux antennes, mais si nous prenons par exemple le cas de capteurs capables de détecter les feux de forêts, à moins d'être déclenchés, ceux-ci pourraient fonctionner en stase pendant plusieurs années.

LA DERNIÈRE GÉNÉRATION ?

Entre l'amélioration de la vitesse, la fin des latences et la réduction de la consommation énergétique, le futur standard ne manque certes pas d'ambition. Mais comme les précédentes générations de réseaux, la 5G devra surtout passer l'étape cruciale de la compétition entre les industriels qui développent les technologies dans l'espoir qu'elles deviendront le futur standard.

Mais si la collaboration internationale entre les différents pays et institutions impliquées dans l'élaboration de la norme 5G porte ses fruits, alors la prochaine génération de réseau mobile pourrait être assez flexible pour s'adapter à toutes les évolutions, sans forcément passer par la création de futurs standards.[w17]

Conclusion:

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté l'ensemble de concepts nécessaires pour la compréhension du reste du projet ainsi que l'architecture et les différents éléments des réseaux 3G et 4G, leurs fonctionnalités et leurs caractéristiques, d'autant plus que nous avons défini les nouvelles techniques appliquées à la 4G. Une bonne connaissance de l'architecture et ces caractéristiques permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, de leur permettre de fournir en même temps des services de bonne qualité. Dans le chapitre suivant nous allons présenter une étude de planification et de dimensionnement du réseau 4G.

Chapitre III

Dimensionnement du réseau d'accès

4G

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). Il faut en conséquence déployer un nombre plus ou moins important de relais radio (selon la géographie du terrain) afin d'assurer une couverture de service continue ou quasi continue pour l'utilisateur. [w18]

En effet, tout cela sera traité dans ce chapitre durant lequel on va introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement du réseau 4G sur le plan couverture tout en précisant les différents modèles de propagation à utiliser pour la planification.

I. 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 :

- 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.

II. 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 [32]:

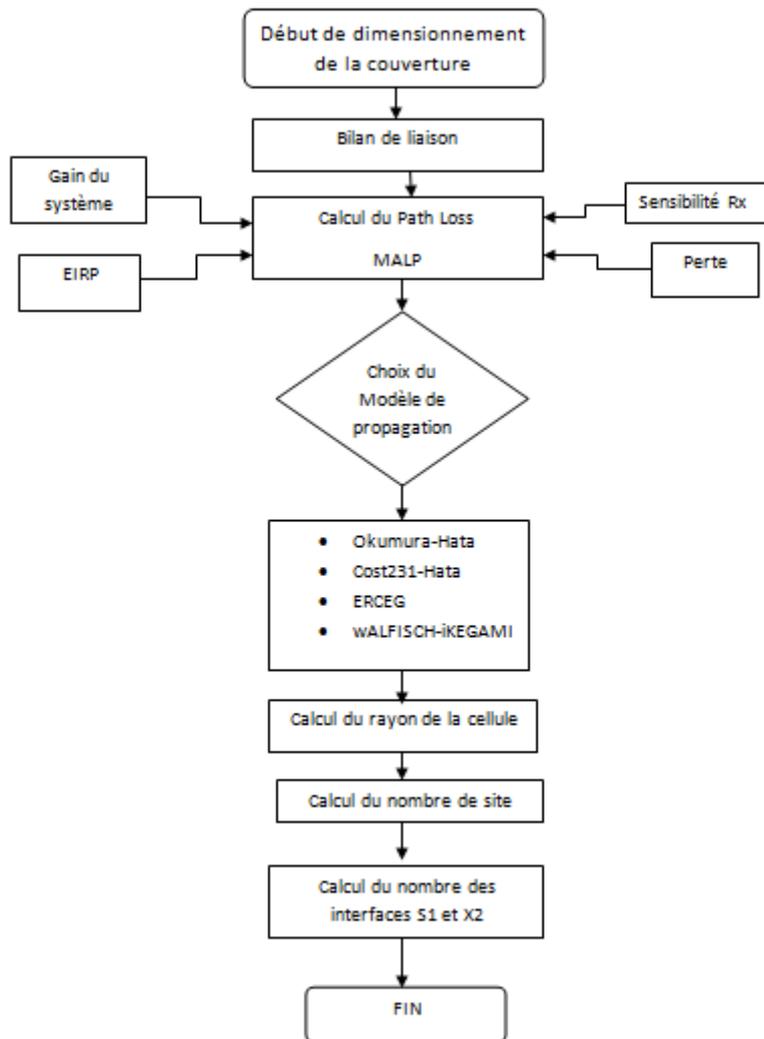


Figure 32: Calcul de Dimensionnement de couverture

Initialement nous devons déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable PathLoss MAPL) en passant par le bilan de liaison (RLB).

1. Bilan de liaison:

Le bilan de liaison permet de calculer les pertes de propagation maximale admissible notée MAPL (Maximum Allowable Power Losses) pour un mobile situé au bord de la cellule qui peut l'atteindre tout en gardant le niveau de sensibilité de la station de base. 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. Ce bilan est nécessaire pour savoir si deux nœuds peuvent communiquer entre eux. Il dépend en particulier du type

de l'eNodeB, de l'environnement radio et du modèle de propagation entre l'émetteur et le récepteur.

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

$$\mathbf{PathLoss = T_xPower + T_xGains - T_xLosses - RequiredSINR + R_xGain - R_xLosses - R_xNoise}$$

Avec :

- PathLoss : perte de trajet totale rencontré par le signal provenant de l'émetteur au récepteur (dB)
- TxPower : La puissance transmise par l'antenne de l'émetteur (dBm)
- TxGains : Gain d'antenne d'émission (dBi)
- TxLosses : les pertes de l'émetteur (dB)
- RequiredSINR : Minimum de SINR requis (dB)
- RxGains : Gain d'antenne de réception (dB)
- RxLosses : Les pertes du récepteur (dB)
- RxNoise : Bruit du récepteur (dB)

Dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue devient donc la sensibilité du récepteur. La différence entre la puissance de l'émetteur et la sensibilité de récepteur donne l'affaiblissement maximum qu'on peut tolérer, il est calculé de la manière suivante :

$$\mathbf{MAPL = Pire - IM + RXg - K + SHG - RX}$$

Avec :

- MAPL (Maximum AllowablePathLoss): 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

2. Paramètres du bilan de liaison

➤ 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 [w19].

➤ 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 [B4].

Un concept est lié à celui de gain est la surface effective d'une antenne, qui en rapport avec la taille et la forme de celle-ci. La relation entre gain et la surface effective de l'antenne est donnée par:

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

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 $A = \lambda^2/4\pi$ [B].

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.

➤ Les pertes :

Comprend la perte du câble et la perte du corps à la fois à l'eNodeB et UE. Perte du câble est de perte entre l'antenne de l'équipement et de l'amplificateur à faible bruit qui dépend de la longueur du câble, du type de câble et de bande de fréquence. Elle varie de 1 à 6 dB pour eNodeB et 0 dB pour UE. Perte du corps se produit lorsque l'UE se tient près de la tête de l'utilisateur et à la planification pratique, il est considéré comme 0 dB.

➤ 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 [B4] :

$$PIRE = P + G - L_r$$

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

Paramètres	UE	eNodeB
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).
$G_{Tx} = \sum_{i \in UE/eNodeB} G_i$	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).
$L_{Tx} = \sum_{i \in UE/eNodeB} L_i$	L_{body} : Pertes du corps humain; dépend de l'équipement de l'utilisateur (clé USB, tablette, Téléphone). L_{other} : autres pertes liés 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 3: Paramètres pour le calcul de PIRE

➤ 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 [B3] :

$$S = 10 \log_{10}(K.T.B_{Rx}) + SINR_{requis} + NF + IM - G_{Rx,d}$$

Avec :

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

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 B_{RX}, 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.

➤ **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 relié 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 [B3].

➤ **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...).

➤ **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 [B3].

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

Ces tableaux englobent les paramètres, les formules nécessaires au calcul d'un bilan de liaison pour les liens montant et descendant, ainsi que les différents seuils et large prise en compte et qui sont proposés par la norme.

➤ **Formules de calcul pour la liaison Montante:**

Paramètres	Unité	Formule	Valeur
Emetteur –UE			
Puissance d'émission	dBm	a	18-23 dBm
Gain d'antenne émetteur	dBi	b	-5 → 10 dBi
Perte corps humain	dB	c	0 → 5 dB
PIRE (Puissance isotrope rayonnée équivalente)	dBm	$d = a + b - c$	
Récepteur – eNodeB			
eNodeB noise figure	dB	e	2 dB
Bruit thermique	dB	f	-118.4 dBm
Bruit récepteur	dBm	$g = e + f$	
SINR	dB	h	-7 dB
Sensibilité du récepteur	dBm	$i = g + h$	
Marge d'interférence	dB	j	1 → 10 dB
Pertes de câble	dB	k	1 → 6 dB
Gain d'antenne récepteur	dBi	l	15 → 21 dBi
Marge de fading rapide	dB	m	0 dB
Gain du soft handover	dB	n	0 dB
Path Loss Maximal	dB	$o = d - j + l - k + n - i$	

Tableau 4: Bilan de liaison Montant [w19]

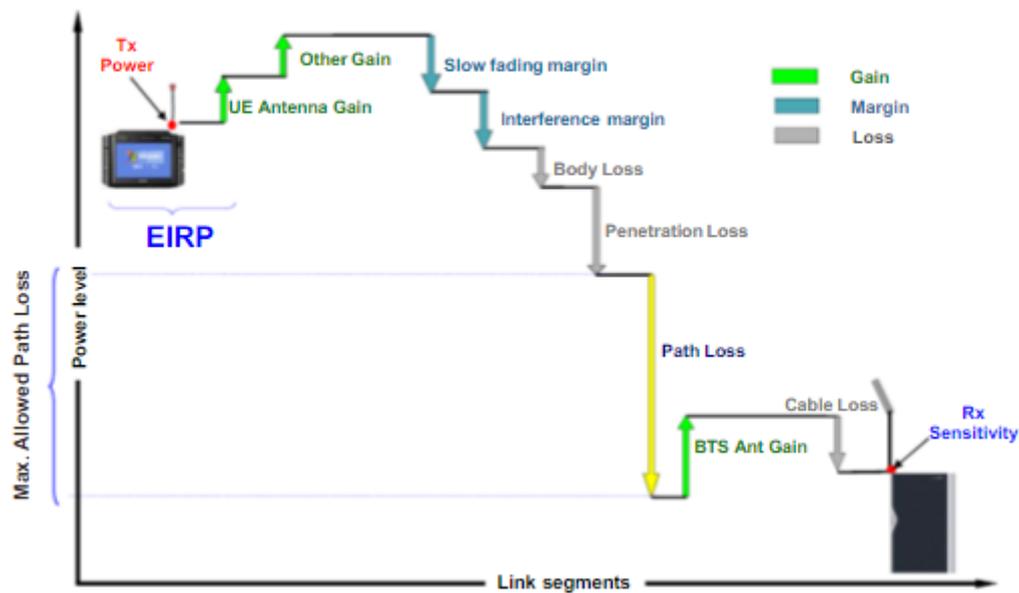


Figure 33: Modèle de bilan de liaison uplink [w20]

➤ **Formules de calcul pour la liaison Descendante:**

Paramètres	Unité	Formule	Valeur
Emetteur –eNodeB			
Puissance d'émission	dBm	A	43 → 46 dBm
Gain d'antenne émetteur	dBi	B	15 → 18 dBi
Pertes de câble	dB	C	1 → 6 dB
PIRE (Puissance isotrope rayonnée équivalente)	dBm	$d = a + b - c$	
Récepteur – UE			
UE noise figure	dB	E	6 → 11 dB
Bruit thermique	dB	F	-104.5 dBm
Bruit récepteur	dBm	$g = e + f$	
SINR	dB	H	-9 dB
Sensibilité du récepteur	dBm	$i = g + h$	

Marge d'interférence	dB	J	3 → 8 dB
Control channel overhead	dB	K	0.4 → 1 dB
Gain d'antenne récepteur	dBi	L	-5 → 10 dBi
Perte corps humain	dB	M	3 → 5 dB
Path Loss Maximal	dB	$o = d - j + l - k + m - i$	

Tableau 5: Bilan de Liaison Descendant [w19]

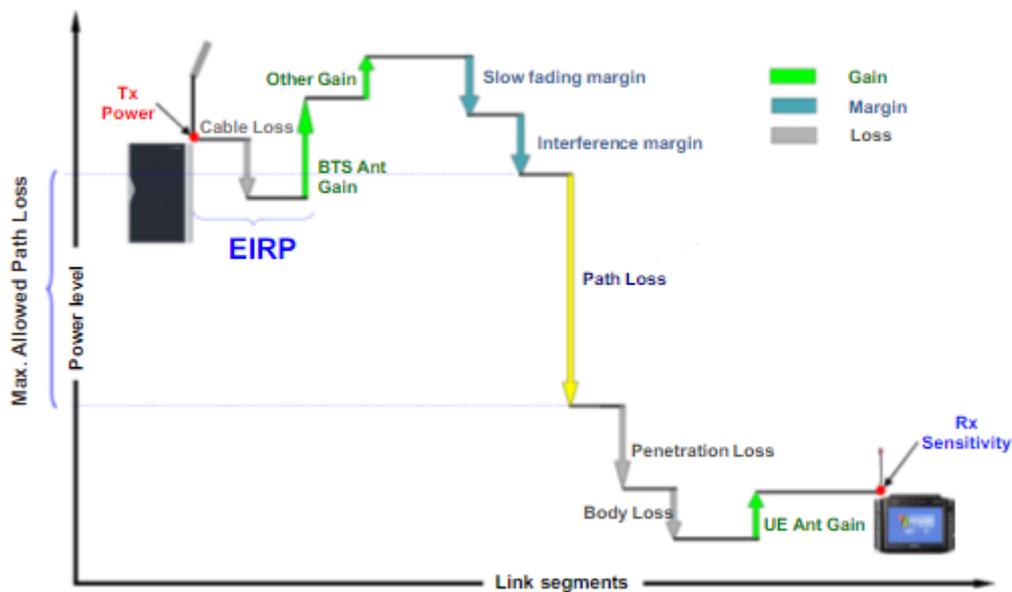


Figure 34: Modèle de bilan de liaison downlink [w20]

4. Modèles de propagation RF:

Les méthodes de prédiction de couverture aujourd'hui utilisées mélangent avantageusement les approches empiriques et déterministes.

Les méthodes empiriques utilisent des résultats expérimentaux pour estimer la couverture radio. Elles nécessitent de grandes campagnes de mesure, et ne tiennent que très peu compte de la réalité géographique de terrain. Au contraire, les méthodes déterministes intègrent les effets de relief (au niveau macro), sans tenir compte des propriétés locales.

Les méthodes déterministes procèdent soit par profil (comme pour les méthodes empiriques), et dans ce cas négligent l'effet des chemins latéraux et les effets liés à

l'environnement 'micro' (immeubles, forêts,...) ; soit par des approches semblables au lancer de rayon mais avec dans ce cas un coût de calcul assez prohibitif.

Notons que ces prédictions nécessitent plusieurs types d'information : relief et type de terrain...

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.

Les méthodes utilisées intègrent en général les 2 approches.- Les méthodes empiriques intègrent en général la prise en compte des effets de masque et de diffraction sur le profil entre émetteur et récepteur, puis pondèrent ces prédictions par des coefficients déterminées par les formules empiriques des différents modèles de propagation (Okumura-Hata ou Erceig Greenstein ou Cost231-Hata ou Walfisch-Ikegami).

Le modèle de propagation est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre émetteur et récepteur, qui dépend des facteurs suivant:

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

a. 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:

$$L_{FS} = 10 \text{ Log } [(4\pi dF / c)]^2 = 20 \text{ Log } [(4\pi dF / c)]$$

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

b. Le modèle Okumura-Hata:

C'est le modèle le plus utilisé au niveau des outils de planification cellulaire, il basé sur des mesures effectués dans les environnements de Tokyo par Okumura. Ce modèle est appliqué pour des cellules de taille relativement grandes (de rayon supérieur a 1 Km). Les conditions d'applications du modèle sont les suivant:

F: désigne la fréquence en MHz € [150,1000]

hb: désigne l'hauteur de la station de base en mètre € [30,200]

hm: désigne l'hauteur du terminal mobile en mètre € [1,10]

L'affaiblissement selon ce modèle en tenant compte des degrés d'urbanisation est pércisé dans ce tableau:

Urbain	$L_{ur} (dB) = A + B \log_{10}(R) - E$ Avec: $A(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b)$ $B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)$ - Pour les villes de taille moyenne ou petite : $E(dB) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)$
Urbain dense	$L_{ur} (dB) = A + B \log_{10}(R) - E$ Avec: $A(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b)$ $B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)$ $E(dB) = 8.29 \log_{10}(1.54 h_m)^2 - 1.1$: Pour les grandes villes si $f \leq 300 \text{ MHz}$ $E(dB) = 3.2 \log_{10}(11.75 h_m)^2 - 4.97$: Pour les grandes villes si $f > 300 \text{ MHz}$

Sous urbain	$L_{su}(dB) = A + B \log_{10}(R) - 2(\log_{10}(f/28))^2 - 5.4$
Rural	$L_{ru} = A + B \log_{10}(R) - 4.78 \log_{10}(f)^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 35.94$: Zone rurale ouverte
	$L_{ru} = A + B \log_{10}(R) - 4.78 \log_{10}(f)^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 40.94$: Zone rurale ouverte

Tableau 6: Modèle OKUMURA-HATA

c. Le modèle cost231-Hata:

Ce modèle vient modifier le modèle Okumura-Hata qui opère uniquement pour une plage de fréquences inférieures à 1000MHz pour pouvoir opérer sur la bande 1500-2000MHz dans les zones urbaines, puis l'ajuster, en ajoutant le terme correctifs pour tous les autres environnements (sous urbain et rural). L'affaiblissement l_u (dB) est précisé dans le tableau suivant:[w21]

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

Tableau 7: Modèle COST231-HATA

d. 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, l'expression du path loss peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaires comme suit :

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd}$$

avec:

$L_0 =$ Perte en espace libre	$L_0 = 32, 4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f)$
-------------------------------	---

	<p>d : distance du récepteur en Km</p> <p>f : fréquence utilisé en MHz</p>
<p>L_{rst} = Perte par diffraction du toit vers la rue</p>	<p>$L_{rst} = -16,9 - 19 \log_{10}(w) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(h-hm) + L_{ori}$</p> <p>h = la hauteur des bâtiments hm = la hauteur du mobile w : la largeur de la rue en mètre</p> <p>Lori : facteur de correction prenant en compte de l'orientation de la rue</p> <p>Lori = $-10 + 0,354\varnothing$ pour $0 \leq \varnothing < 35$ degré Lori = $2,5 + 0,075(\varnothing - 35)$ pour $35 \leq \varnothing < 55$ degré Lori = $4 - 0,11(\varnothing - 55)$ pour $55 \leq \varnothing < 90$ degré</p> <p>Avec : \varnothing : angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue</p>
<p>L_{msd} = Perte par diffraction multi-masque</p>	<p>$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10}(d) + K_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b)$</p> <p>Avec :</p> <p>b: séparation entre les bâtiments en mètre $K_a = 54$ $K_d = 18$ $K_f = -4 + 0,7(f / (925 - 1))$, pour les cités moyennes et centres sous urbains, avec densité d'arbre modéré $K_f = -4b + 0,7(f / (925 - 1))$, pour les centres métropolitains $L_{bsh} = -18 * \log(1 + (hb - h))$ si $hb > h$ Sinon $L_{bsh} = 0$</p> <p>Avec : hb = la hauteur de la station de base h = hauteur des bâtiments</p>

Tableau 8: Modèle Walfish-Ikegami

e. Le 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 8).

L'affaiblissement L exprimé en dB est donnée par [B3] :

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

Avec :

d0 :100 mètres

d : distance en mètres

$$\gamma = a - (b \cdot h_b) + c/h_b$$

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, dont les valeurs sont données dans le tableau :

Type du terrain	Description	A	b	c
A	Montagneux avec une lourde densité d'arbres	4,6	4	3,6
B	Vallonné avec une densité modérée d'arbres	0,0075	0,0065	0,005
C	Plat avec faible densité d'arbres	12,6	17,1	20

Tableau 9: Paramétrage des terrains pour le Modèle Erceig Greenstein [B3]

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.

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

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

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

Avec :

h_m : est la hauteur de l'antenne entre 2 et 10m.

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
ErceigGreenstein	500 – 2000	2 – 10	10 – 80	----
Walfisch-Ikegami	800 – 2000	1 – 3	10 – 80	0,1 – 8

Tableau 10: Comparaison entre les Modèles de Propagation

5. 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:

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

$$MAPL - (69.55 + 26.16 \text{Log}(F) - 13.82 \text{Log}(h_b) - a(h_m)) = (44.9 - 6.55 \text{Log}(h_b)) \text{Log}(R_{Cell})$$

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

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

$$R_{Cell} = 10^{([MAPL - (46.33 + 33.9 \text{Log}(F) - 13.82 \text{Log}(hb) - a(hm))] / (44.9 - 6.55 \text{Log}(hb)))} [Km]$$

Une fois le rayon de la cellule R_{cell} est déterminé, on peut calculer S_{cell} la superficie de couverture de la cellule. Cette dernière, dépend bien du nombre de secteurs par site (omnidirectionnel, bi-sectoriel ou tri-sectoriel).

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 11: Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [B3]

Avec l'empreinte du site S_{cell} , et sachant la superficie totale de la zone de déploiement (noté $S_{déploiement}$), on peut enfin aboutir au nombre de sites demandés pour la couverture, N_{site} qui est la plus grande valeur entre le nombre de sites demandés pour la liaison montante N_{siteUL} et le nombre de sites demandés pour la liaison descendante N_{siteDL} pour s'assurer que les deux liaisons soient équilibrées.

$$N_{siteUL} = E \left(\frac{S_{déploiement}}{S_{cellUL}} \right) + 1$$

$$N_{siteDL} = E \left(\frac{S_{déploiement}}{S_{cellDL}} \right) + 1$$

$$N_{site} = \text{Max}(N_{siteUL}, N_{siteDL})$$

6. Dimensionnement des interfaces S1 et X2:

Après avoir calculé nombre de sites (eNodeB) nécessaires à la couverture de la zone à étudier, on va procéder au calcul des interfaces X2.

a. Interface X2

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

$$N_{X2} = N_{site} * 2$$

b. 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 :

$$N_{site} = N_{S1U} = N_{S1C}$$

Conclusion:

L'étape de dimensionnement d'un réseau est l'étape cruciale pour la mise en place du réseau dans le but de l'optimisation du déploiement.

en effet, dans ce chapitre, nous avons défini le principe de planification radio, particulièrement la phase de dimensionnement de l'eNodeB en se basant sur les différents modèles de propagation ainsi que le dimensionnement des interfaces X2 et S1. Nous avons défini tout le calcul nécessaire qui nous sera utile pour la conception et au développement de notre application.

Chapitre IV

SPECIFICATION DES BESOINS ET CONCEPTION

Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'application ainsi que ses entrées et sorties tout en mentionnant ses besoins fonctionnels et non fonctionnels. D'autant plus que nous allons faire une étude conceptuelle de notre application en se basant sur le standard industriel de modélisation UML (Unified Modeling Language) avec ses différents diagrammes comportementaux (cas d'utilisation), structurels ou statiques (diagramme de classe) et diagramme d'interaction ou dynamique (diagramme de séquences).

I. Spécification des besoins:

Cette application doit nous permettre de dimensionner la couverture radio d'une zone bien définie avec des différents modèles de propagation telle qu'Okumura-Hata, Cost213-Hata, Erceig-Greenstein et le modèle Walfisch-Ikegami. Elle se base sur un ensemble de paramètres d'entrée qui sont propres à l'opérateur, équipementier et les besoins clientèles.

1. Paramètres d'entrée

- la fréquence utilisée et les caractéristiques des antennes à l'émission et à la réception, tel que son gain et sa puissance.
- Les paramètres du modèle de propagation.
- Les paramètres du bilan de liaison, tel que les différentes pertes dues à la propagation des ondes à l'espace libre.

- Caractéristiques de la sous zone choisie : superficie, type d'environnement (sa densité de la population, nature de la zone, etc).

Après l'introduction de ces paramètres, l'application doit afficher les résultats suivants à l'utilisateur :

2. Paramètres de sortie

- MAPL en UL et DL.
- Rayon de couverture.
- Nombre d'eNodeB orienté couverture en UL et DL.
- Nombre des interfaces radio S1 et X2.
- Nombre d'eNodeB final à déployer pour la zone à étudier.
- Rayon final.

3. Identification des acteurs:

Cette application admet un seul acteur qui est l'administrateur de l'application (le responsable de planification).

4. Besoins fonctionnels:

L'application doit offrir un GUI (Graphical User Interface) bien structuré, pour simplifier le maximum possible la saisie des données relatives à la phase de pré-planification

Calcul de dimensionnement du réseau suivant les algorithmes et les équations établis dans le chapitre3

Pour dimensionner le réseau 4G, le responsable de planification doit :

- Calculer la perte de trajet totale (Path loss) de liaison.
- Choisir un modèle de propagation
- Calculer le rayon de la cellule de couverture
- Calculer le nombre d'eNodeB nécessaire pour la couverture de la zone à étudier
- Calculer le nombre d'interface S1 et X2.

Notre outil doit être capable d'enregistrer toutes les valeurs calculées par le responsable de planification.

Analyse et affichage des résultats nécessaires.

Le responsable de planification doit:

- Analyser les différents résultats fournis par chaque modèle de planification.
- Recommander à l'opérateur le modèle qu'il doit utiliser pour la planification d'une zone bien déterminée.

5. Besoins non fonctionnels:

Les besoins non fonctionnels sont des exigences qui ne concernent pas le comportement du système, mais plutôt identifient des contraintes internes et externes du système. Les besoins non fonctionnels de notre application se résument dans les points suivants:

- ❖ L'ergonomie: l'application offre une interface conviviale et facile à utiliser sans nécessiter des connaissances poussées.
- ❖ Sécurité: L'accès à cette application est par un identifiant et un mot de passe.
- ❖ Fiabilité: Accès rapide et direct
- ❖ Le code doit être clair pour permettre des futures améliorations.
- ❖ Garantir l'intégrité et la cohérence des données à chaque insertion.

6. Besoins architecturaux:

Pour mettre en place notre application on a besoin d'une architecture simple tiers car tous les services fournis par l'application résident sur la même machine.

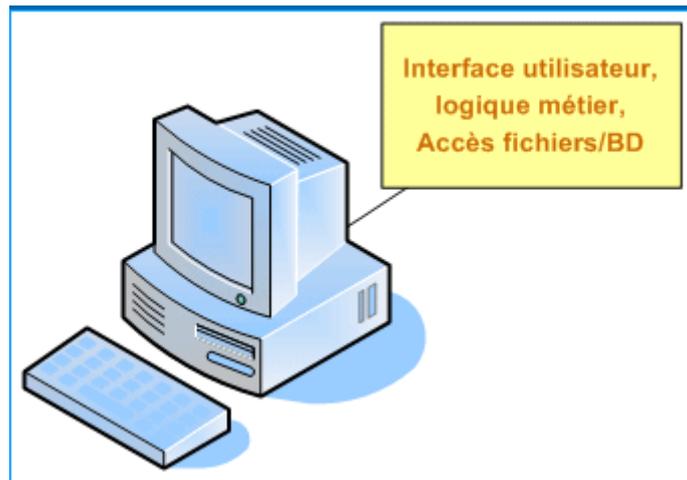


Figure 35: Architecture simple tiers

II. Les diagrammes des cas d'utilisations:

Les diagrammes de cas d'utilisation sont des [diagrammes UML](#) utilisés pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système [logiciel](#). [w22].

Ainsi, ils ont pour fonction de représenter les acteurs, les cas d'utilisation et les relations entre eux.

Dans ce qui suit nous allons présenter les principaux diagrammes de cas d'utilisation:

1. Diagrammes de cas d'utilisations global:

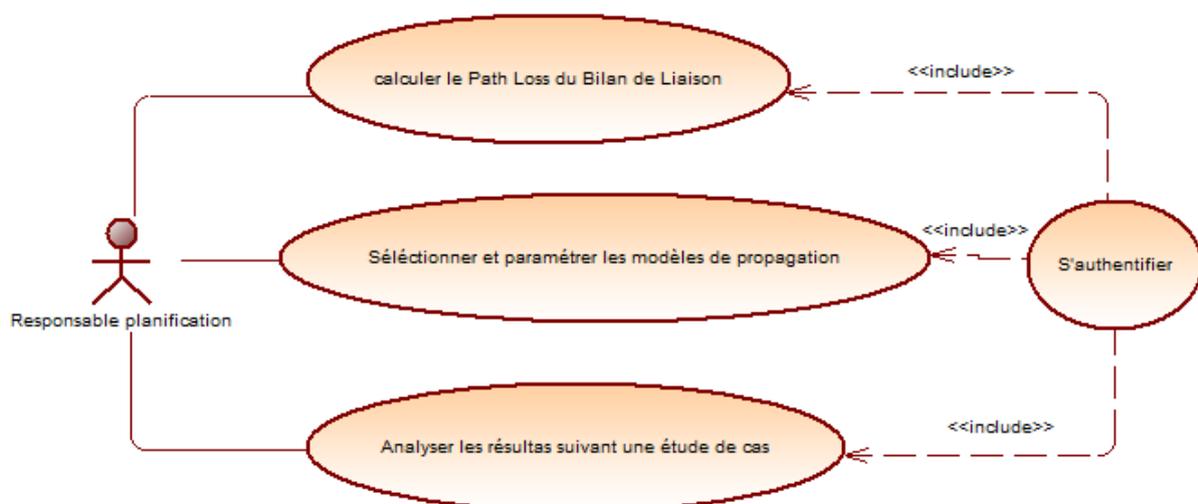


Figure 36: Diagramme de cas d'utilisation global

Description du scénario:

Identificateur:

Cas d'utilisation global

Acteur concerné: Le responsable planification.

Scénario nominal:

1. Le responsable planification demande l'accès à l'application.
2. Le système demande d'entrer le nom utilisateur et le mot de passe.
3. L'acteur saisie son nom utilisateur et son mot de passe.
4. Le système vérifie les données saisies.
5. Le système ouvre l'interface : calculer Path Loss du bilan de liaison à l'acteur.

Scénario alternatif:

1. Le nom utilisateur et mot de passe erronés
2. Le système affiche le message "vérifier votre nom utilisateur et mot de passe"
3. Le scénario nominal reprend au point 2.

2. Diagrammes de cas d'utilisations calcul du Path Loss:

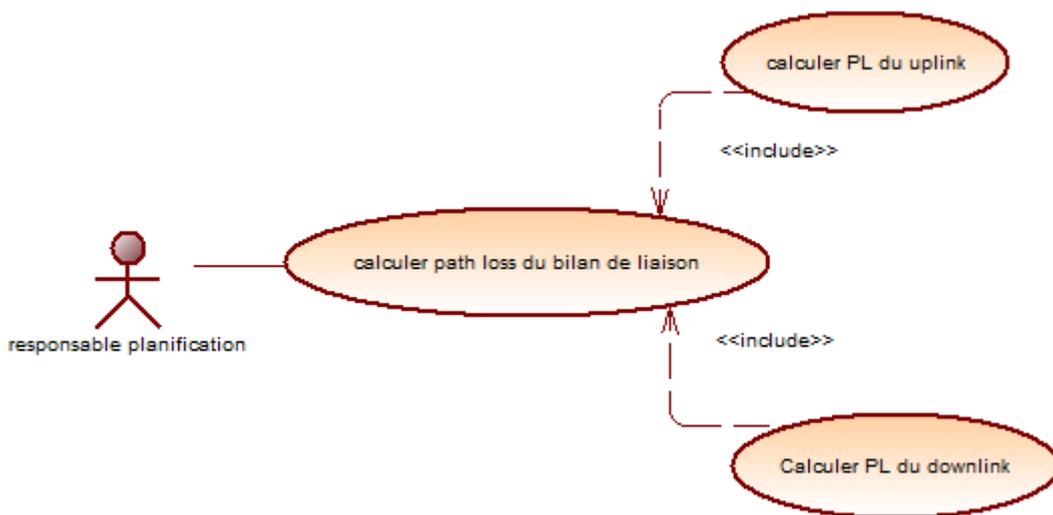


Figure 37: Diagramme de cas d'utilisation Calcul Path Loss

Description du scénario:

Identificateur:

Cas d'utilisation: Calcul Path Loss

Acteur concerné: Le responsable planification.

Pré-condition: L'acteur s'authentifie

Scénario nominal:

1. Le système dirige l'acteur vers l'interface calcul Path Loss.
2. Le système demande d'entrer les valeurs des paramètres nécessaire au calcul du Path Loss du bilan de liaison.
3. L'acteur saisie les paramètres et appuie sur le bouton calculer.
4. Le système vérifie les données saisies.
5. Le système affiche la valeur du Path Loss du uplink et du downlink.

Scénario alternatif:

1. L'acteur saisi des valeurs non conforme aux intervalles normalisés par l'UIT.
2. Le système affiche le message d'erreur.
3. Le scénario nominal reprend au point 2.

3. Diagrammes de cas d'utilisations choix et paramétrage de modèle de propagation:

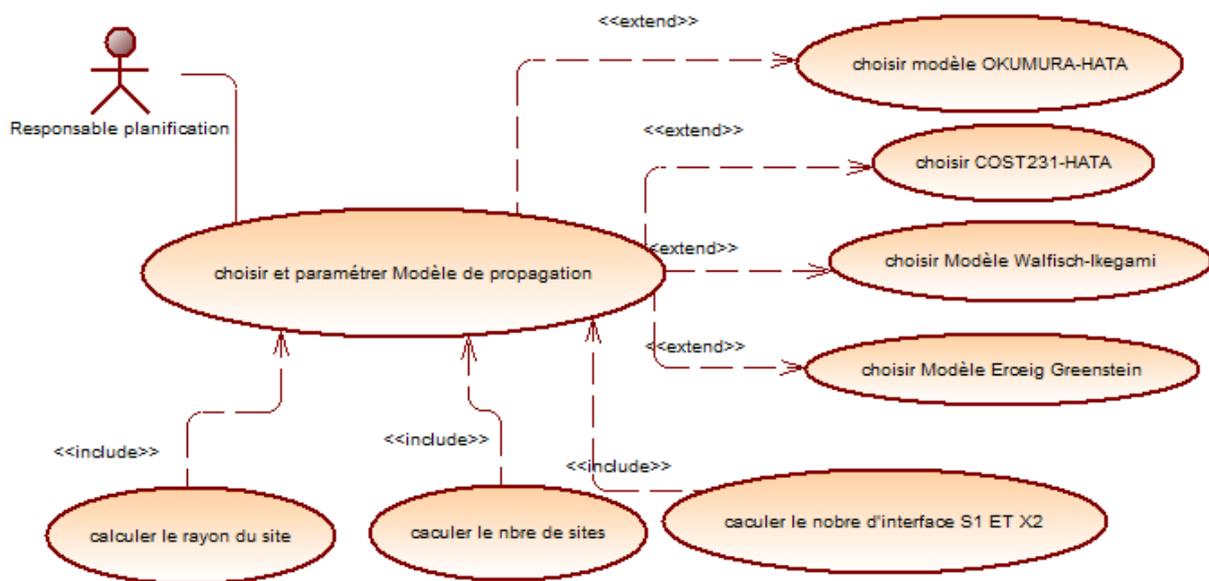


Figure 38: Diagramme de cas d'utilisation Choix et Paramétrage des Modèles de Propagation

Description du scénario:

Identificateur:

Cas d'utilisation: choix et paramétrage des modèles de propagation.

Acteur concerné: Le responsable planification.

Pré-condition:

L'acteur s'authentifie et introduit les valeurs des paramètres de calcul du Path Loss et appuie sur calculer.

Le système affiche les valeurs du Path Loss UL et DL

L'acteur appuie sur suivant pour passer à l'interface de choix de modèles de propagation.

Scénario nominal:

1. Le système dirige l'acteur vers l'interface de choix de modèle de propagation.
2. L'acteur sélectionne un des modèle de l'interface (Okumura-Hata ou Cost213-Hata ou Erceig-Greenstein ou Walfisch-Ikegami).
3. Le système dirige l'acteur vers l'interface du modèle sélectionné et demande d'entrer les valeurs des paramètres nécessaire (région, superficie, fréquence..).
4. L'acteur saisie les paramètres propre à chaque modèle et appuie sur le bouton calculer.
5. Le système vérifie les données saisie et affiche les valeurs calculées.
6. L'acteur clique sur le bouton "Retour" pour sélectionner le modèle suivant.
7. Le système enregistre les valeurs calculées de chaque modèle.

Scénario alternatif:

1. L'acteur saisi des valeurs **non conforme** aux paramètres du modèle utilisé.
2. Le système affiche le message d'erreur.
3. Le scénario nominal reprend à l'étape 4.

III. Diagramme de classe:

- **Classe authentication:** C'est la première interface de l'application responsable de la gestion d'accès.
- **Classe Bilan de liaison:** C'est une interface qui gère le calcul du bilan de liaison suivant les paramètres et les équations mathématiques détaillés au chapitre 3.
- **Classe modèle:** C'est l'interface qui permet à l'utilisateur de sélectionner son choix de modèle. En fait, elle affiche les quatre modèles de propagation, le choix d'un modèle nous mène vers la classe de ce dernier.
- **Classe Walfisch-Ikegami:** C'est une interface qui contient tous les paramètres nécessaire au calcul du rayon de la cellule, des nombres d'eNodeB ainsi que le nombre d'interfaces X2 et S1 mais elle se base essentiellement sur les équations mathématique développées par ce modèle.

- **Classe Okuruma-Hata:** Une interface contenant paramètres, équations et conditions propre au modèle Okuruma-Hata.
- **Classe Cost231-Hata:** Une interface contenant paramètres, équations et conditions propre au modèle Cost231-Hata
- **Classe Erceig Greenstein:** Une interface contenant paramètres, équations et conditions propre au modèle Erceig Greenstein.
- **Classe Etude de cas:** c'est l'interface de synthèse et d'analyse de toutes les interfaces précédentes, elle nous permet de déduire le meilleur modèle de propagation pour optimiser la couverture de la zone à étudier en terme de couverture ainsi que du cout en choisissant le modèle qui déploie le minimum de nombre d'eNodeB.

Toutes ces classes sont regroupées dans le diagramme de classe suivant:

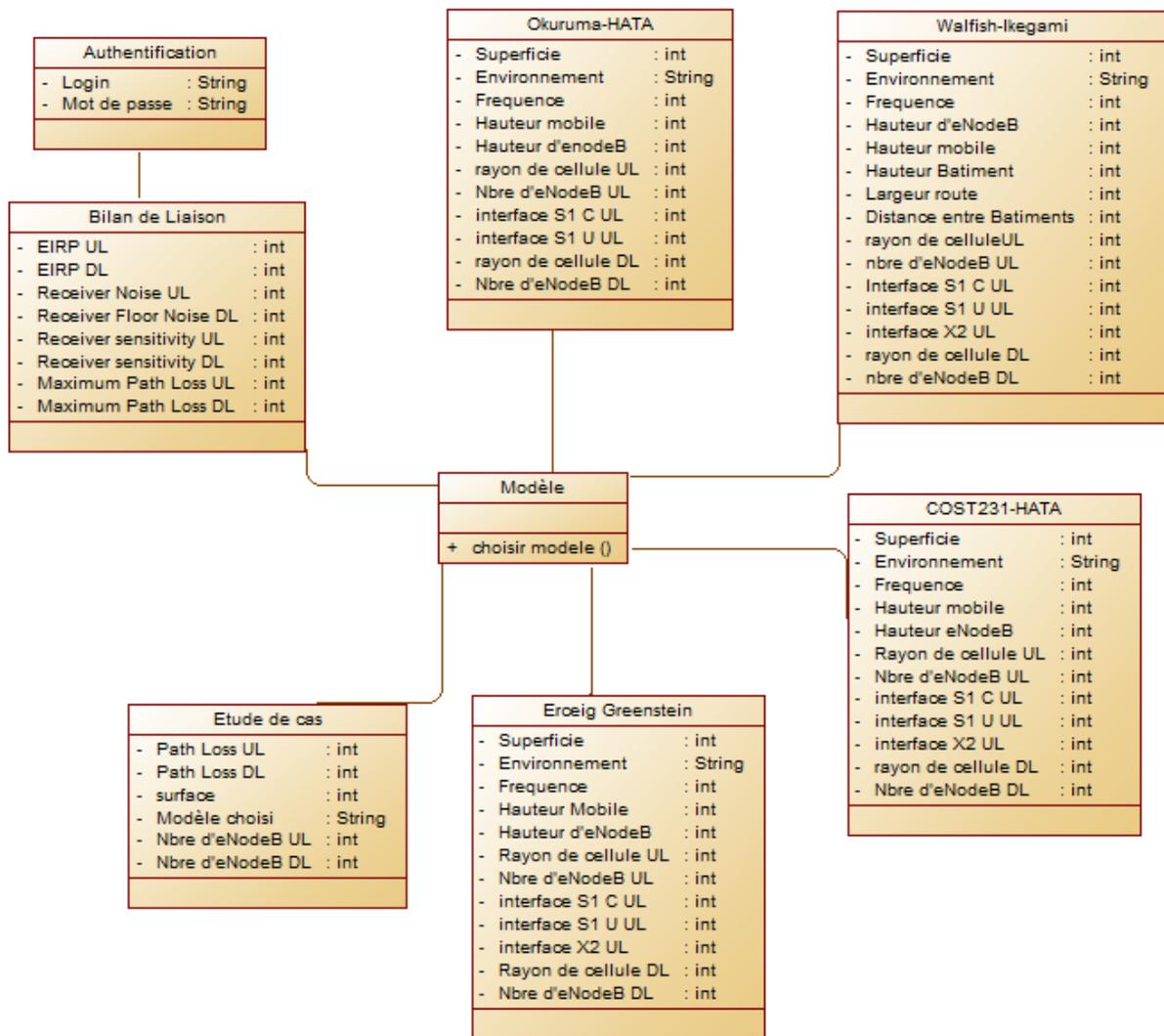


Figure 39: Diagramme de classe

IV. Diagramme de séquence:

Le diagramme de séquence est un diagramme d'interaction entre les objets, qui met l'accent sur le classement des messages par ordre chronologique durant l'exécution du système. Il est utilisé pour représenter certains aspects dynamiques d'un système: dans le contexte d'une opération, d'un système, d'un sous-système, d'un cas d'utilisation (un scénario d'un cas d'utilisation) selon un point de vue temporel.

1. Diagramme de séquence Calcul Bilan de Liaison:

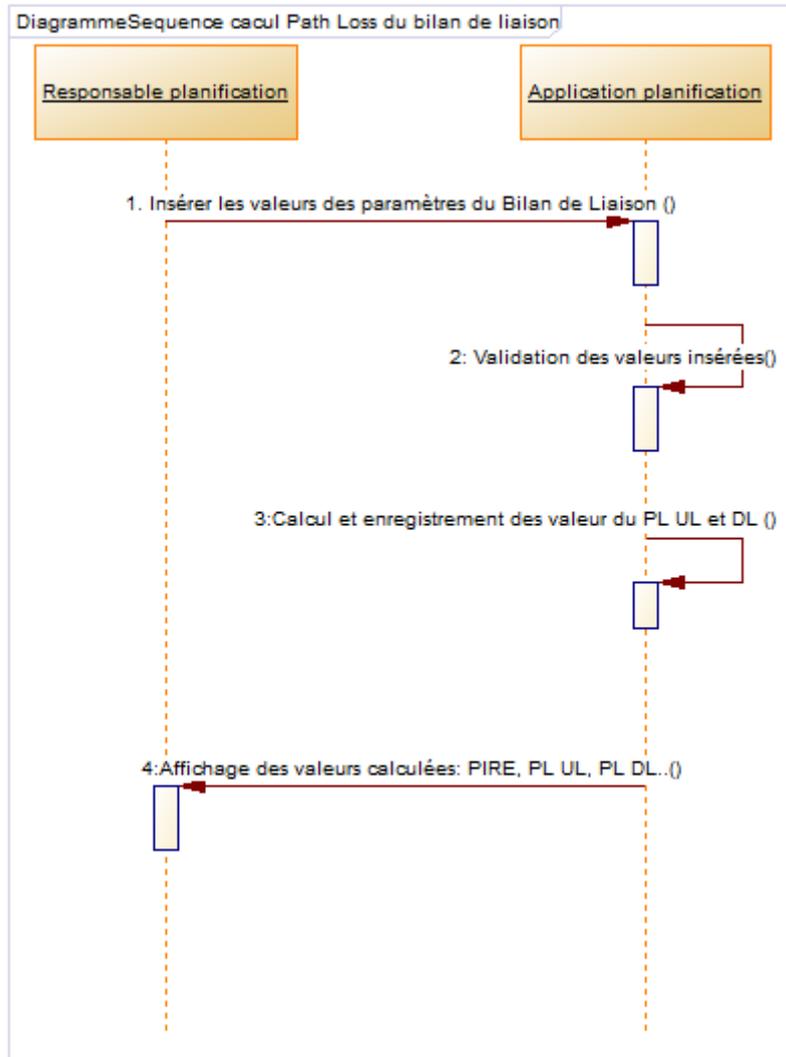


Figure 40: Diagramme de séquence Calcul du Path Loss

2. Diagramme de séquence paramétrage du modèle de propagation COST231-Hata

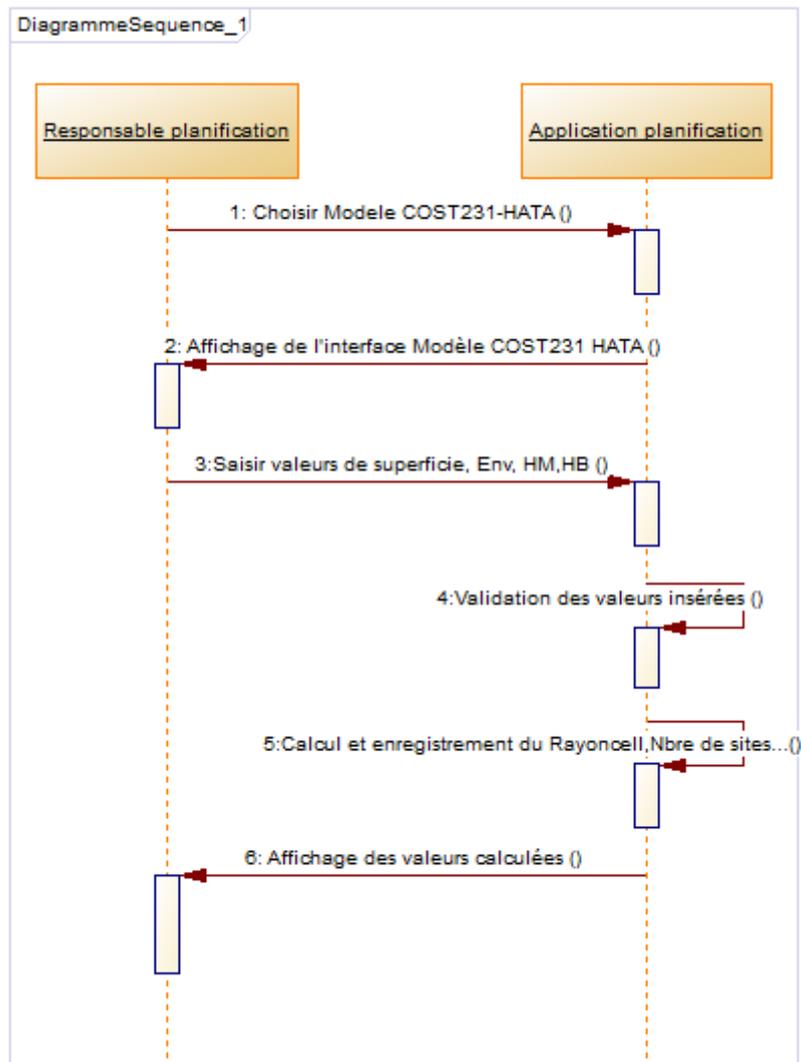


Figure 41: Diagramme de séquence paramétrage du modèle de propagation COST231-HATA

3. Diagramme de séquence Etude de cas:

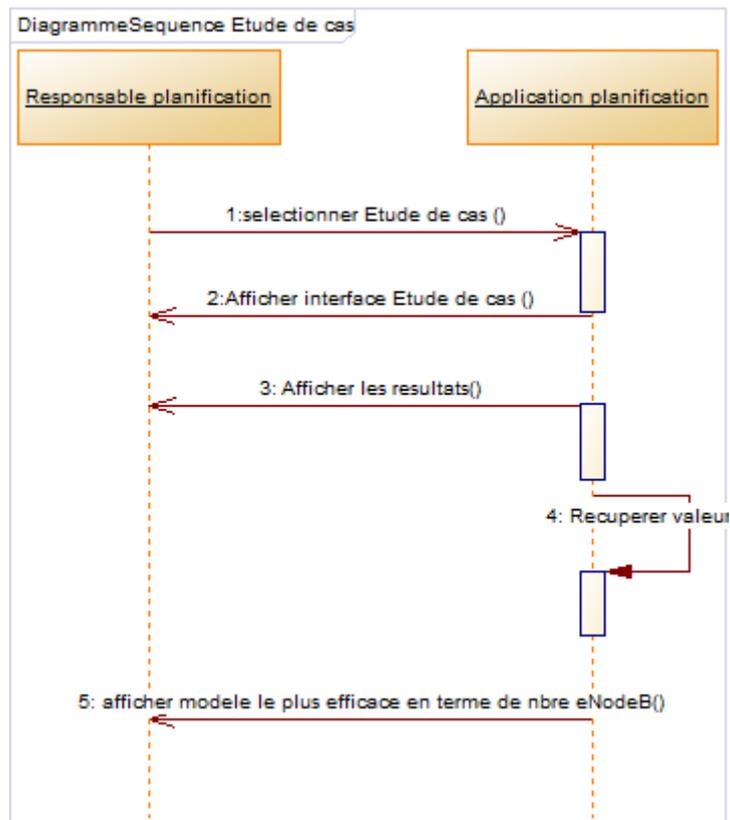


Figure 42: Diagramme de séquence Etude de cas

Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons précisé les besoins fonctionnels et non fonctionnels de notre système. Par la suite nous avons modélisé notre application à l'aide du langage de modélisation UML chose qui nous facilitera l'étape final de la réalisation.

Chapitre V

REALISATION

Introduction:

La spécification des besoins et la conception réalisées au chapitre précédant nous a permis de voir comment nous allons commencer la réalisation de notre application qui sera décrite dans ce chapitre, ainsi que l'environnement de travail choisit. Et pour finir nous allons montrer les différentes interfaces et fonctionnalités de notre applications par des captures écran du système.

I. Environnement de travail:

1. Environnement matériel:

- Fabricant: ACER ASPIRE E15.
- Processeur: Intel(R) Core (TM) i3-4005U CPU@ 1.70 GHz
- Mémoire RAM: 6 Go.
- Disque dure: 500 Go
- Système d'exploitation: Windows 7 édition intégrale.

2. Environnement Logiciel:

Dans cette partie nous allons citer les différents logiciels utilisés pour la conception et la réalisation de l'application.

a. PowerAMC:

C'est un logiciel de modélisation. Il permet de modéliser les traitements informatiques et leurs bases de données associées. Il permet de réaliser tous les types de modèles informatiques. A noter qu'il reste un des seuls qui permet de travailler avec la méthode MERISE.

b. Visual studio 2010 Professionnel:

C'est une suite de logiciels de développement pour Windows conçue par Microsoft. La dernière version s'appelle Visual Studio 2015.

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications web ASP.NET, des services web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# utilisent tous le même environnement de développement intégré (IDE), qui leur permet de partager des outils et facilite la création de solutions faisant appel à plusieurs langages. Par ailleurs, ces langages permettent de mieux tirer parti des fonctionnalités du framework .NET, qui fournit un accès à des technologies clés simplifiant le développement d'applications web ASP et de services web XML grâce à Visual Web Developer.

c. Le framework .NET:

Le **.NET Framework** est un cadre logiciel (framework) pouvant être utilisé par un système d'exploitation Microsoft Windows et Microsoft Windows Mobile.

Le framework .NET s'appuie sur la norme *Common Language Infrastructure (CLI)* qui est indépendante du langage de programmation utilisé. Ainsi tous les langages compatibles respectant la norme CLI ont accès à toutes les bibliothèques installées (installables) dans l'environnement d'exécution. Le framework .NET est un sous ensemble de la technologie Microsoft .NET.

Il a pour but de faciliter la tâche des développeurs en proposant une approche unifiée à la conception d'applications Windows ou Web, tout en introduisant des facilités pour le développement, le déploiement et la maintenance d'applications. Il a besoin d'être installé sur la machine de l'utilisateur final, rendant les applications créées sous cet environnement impropres à un usage portable.

II. Description du fonctionnement de l'application et de ses interfaces:

1. Authentification:

Comme toute application l'utilisateur doit s'authentifier avec un login et un mot de passe afin d'avoir l'autorisation à accéder aux ressources systèmes ainsi qu'à l'exécution.



Figure 43: Interface Authentification

Après l'authentification, interface qui apparaît juste après est l'interface bilan de liaison.

2. Bilan de liaison:

Comme nous remarquons dans la figure 44, pour calculer le bilan de liaison de chaque lien montant ou descendant on doit remplir les champs des puissances transmises par l'émetteur, les gains, les pertes et les SINR.

Notre application est programmée de façon qu'elle n'accepte que les valeurs normalisées par l'UIT sinon elle affiche un box d'information nous indiquant que la valeur de ce paramètre doit être incluse dans cet intervalle comme montré dans la figure ci-dessous:

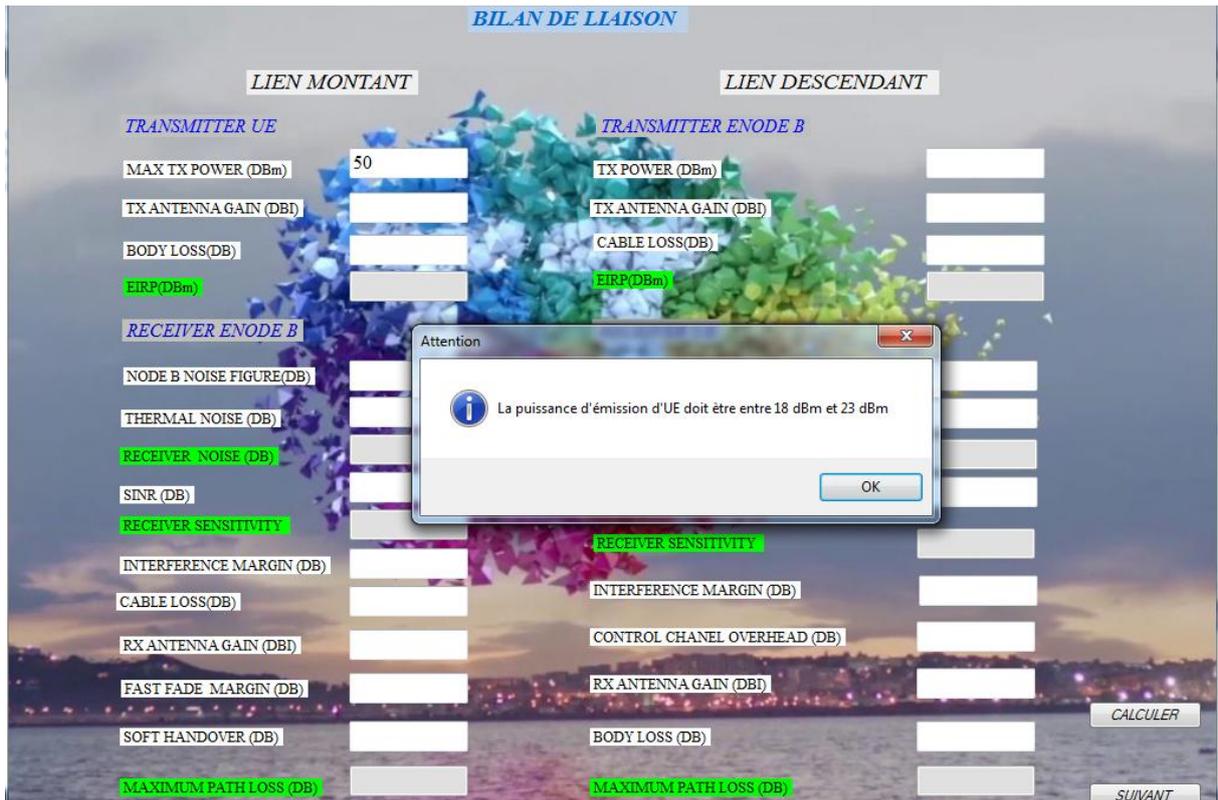


Figure 44: Interface Bilan de Liaison introduction des valeurs

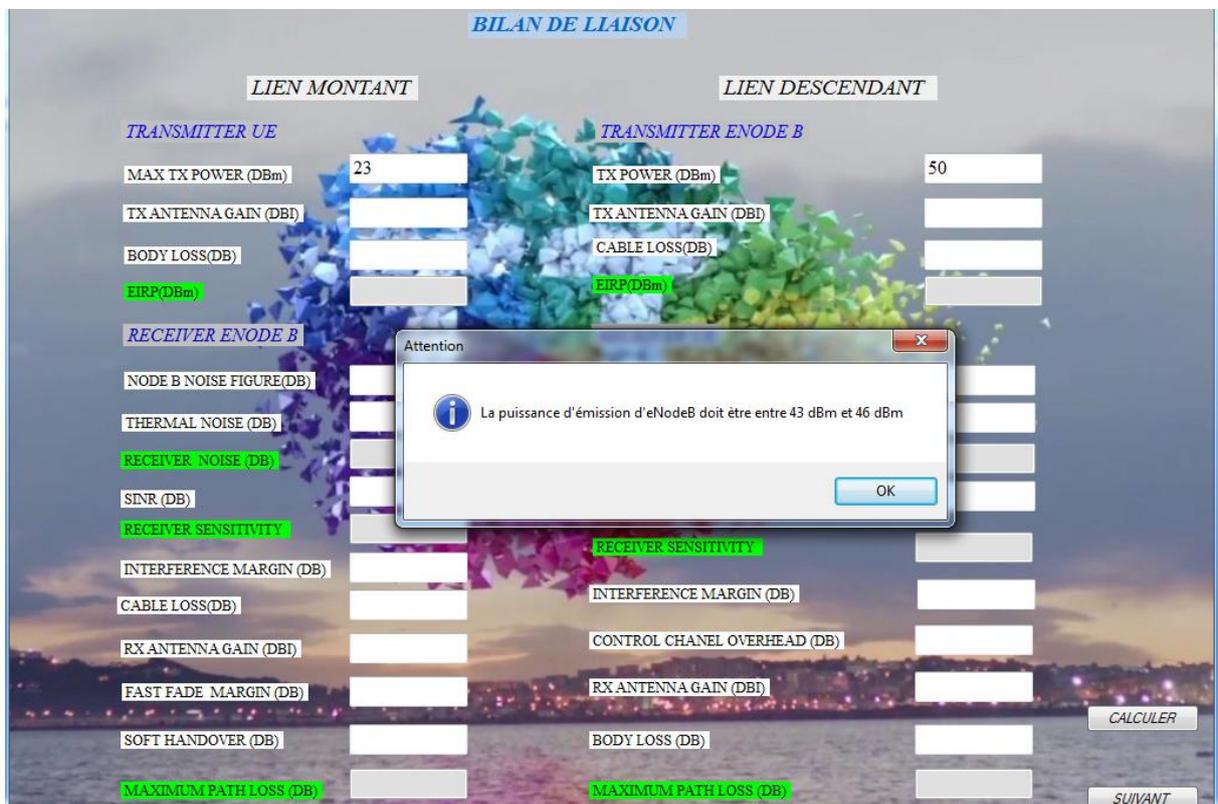


Figure 45: Interface Bilan de Liaison avec box d'information

Après avoir paramétré les entrées qui sont les champs en blanc suivant les normes de l'UIT, on appuie sur le bouton calculer comme montré dans la figure 46:

BILAN DE LIAISON

LIEN MONTANT		LIEN DESCENDANT	
TRANSMITTER UE		TRANSMITTER ENODE B	
MAX TX POWER (DBm)	23	TX POWER (DBm)	43
TX ANTENNA GAIN (DBI)	-5	TX ANTENNA GAIN (DBI)	18
BODY LOSS(DB)	0	CABLE LOSS(DB)	3
EIRP(DBm)		EIRP(DBm)	
RECEIVER ENODE B		RECEIVER UE	
NODE B NOISE FIGURE(DB)	2	UE NOISE FIGURE(DB)	11
THERMAL NOISE (DB)	-118.4	THERMAL NOISE (DB)	-104.5
RECEIVER NOISE (DB)		RECEIVER FLOOR NOISE (DB)	
SINR (DB)	-7	SINR (DB)	-9
RECEIVER SENSITIVITY		RECEIVER SENSITIVITY	
INTERFERENCE MARGIN (DB)	10	INTERFERENCE MARGIN (DB)	8
CABLE LOSS(DB)	0	CONTROL CHANEL OVERHEAD (DB)	1
RX ANTENNA GAIN (DBI)	15	RX ANTENNA GAIN (DBI)	-5
FAST FADE MARGIN (DB)	0	BODY LOSS (DB)	0
SOFT HANDOVER (DB)	0	MAXIMUM PATH LOSS (DB)	
MAXIMUM PATH LOSS (DB)		MAXIMUM PATH LOSS (DB)	

Figure 46: Interface Bilan de Liaison paramétrée

Après avoir appuyé sur le bouton calculer, on reste sur la même interface et les champs de sortie de calculs qui sont en vert sont remplis avec les valeurs calculées, comme montré dans la figure 47:



Figure 47: Calcul de Bilan de Liaison

Ce qui nous intéresse vraiment c'est le Maximum Path Loss (MAPL) qui nous sera utile pour le dimensionnement. La valeur du MAPL du lien montant est quasiment égale à la valeur du lien descendant, on constate qu'on a une liaison équilibrée qui favorise un fonctionnement symétrique du système en tout point de couverture (conforme à l'aspect théorique).

Ces valeurs du MAPL doivent être respectées indépendamment des milieux de propagation.

3. Zone d'étude:

Nous avons choisi une zone de couverture avec Google Map (figure 48) et nous estimons que c'est un terrain de 140 Km² et que c'est une zone urbaine de faible densité dans laquelle on devrait planifier le déploiement d'antennes tri-sectoriel.

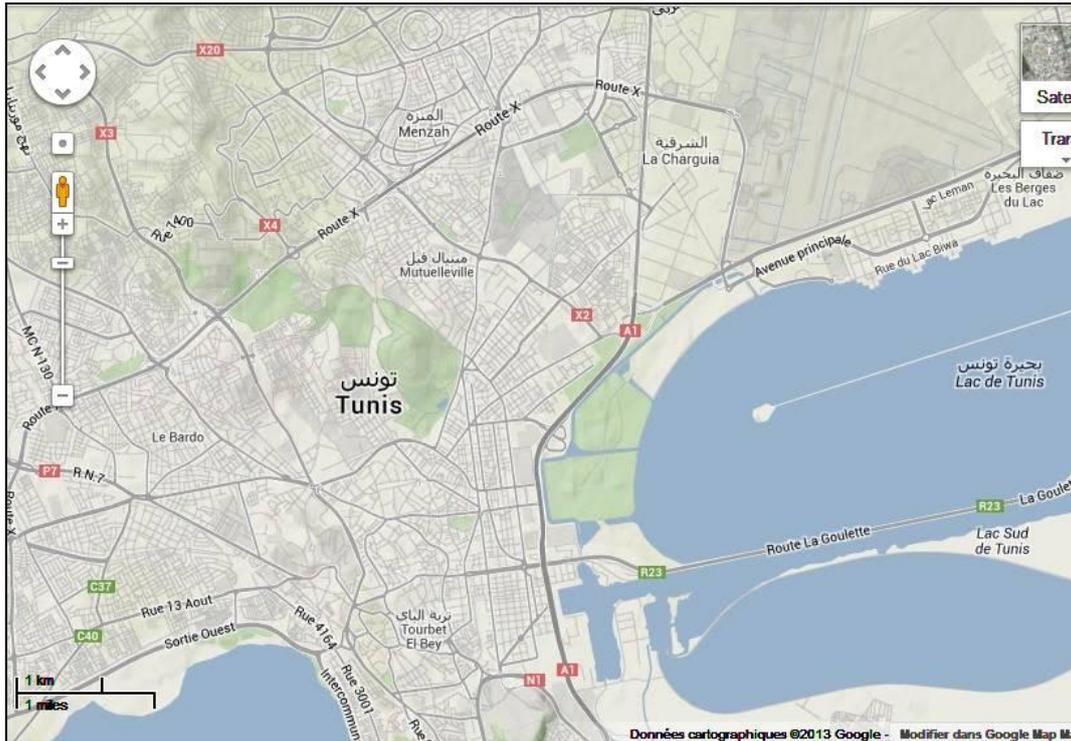


Figure 48: Zone de couverture choisie avec Google Map

4. Choix de Modèle de propagation:

Cette interface nous permet de choisir un modèle propagation selon lequel on va dimensionner la zone à étudier, nous devons sélectionner un des quatre modèles mentionnés dans l'interface. Les entées de chaque modèle qui sont: la fréquence, la superficie, l'environnement, l'hauteur du mobile et l'hauteur de l'EnodeB doit être paramétrées avec quasiment les mêmes valeurs. Pour donner comme sorties le rayon de cellule, le nombre d'EnodeB et d'interfaces X2 et S1.

Dans la figure 49 ci-dessous on montre l'interface de choix de modèle de propagation dans laquelle on sélectionné le modèle OKUMURA-HATA:



Figure 49: Interface choix de Modèle de propagation(OKUMURA-HATA sélectionné)

Après avoir choisi le modèle OKUMURA-HATA on clique sur le bouton suivant pour passer à l'interface de dimensionnement avec le Modèle OKUMURA-HATA précisée dans la figure 50:

OKUMURA HATA

MODELE OKUMURA HATA

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KM²)

ENVIRONNEMENT

HAUTEUR DU MOBILE (m)

FREQUENCE (MHZ)

HAUTEUR DU ENODE B (m)

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PATH LOSS (db)

RAYON DU CELLULE (km)

NOMBRE D' ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

LIEN DESCENDANT

PATH LOSS (db)

RAYON DU CELLULE (km)

NOMBRE D' ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2



Figure 50: Interface de dimensionnement du Modèle OKUMURA-HATA

Les entrées paramétrées chose faite et montrée dans la figure 51 ci-dessous

OKUMURA HATA

MODELE OKUMURA HATA

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KM²)

ENVIRONNEMENT

HAUTEUR DU MOBILE (m)

FREQUENCE (MHZ)

HAUTEUR DU ENODE B (m)

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PATH LOSS (db)

RAYON DU CELLULE (km)

NOMBRE D' ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

LIEN DESCENDANT

PATH LOSS (db)

RAYON DU CELLULE (km)

NOMBRE D' ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2



Figure 51: Interface du Modèle OKUMURA-HATA paramétrée

En cliquant sur le bouton calculer, on obtient les sorties précisant le MAPL , le rayon de cellule, nombre d'EnodeB, nombre d'interface X2 ,S1-C et S1-U pour les deux liens montant et descendant comme précisé dans la figure 52:

OKUMURA HATA

MODELE OKUMURA HATA

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KM²)

ENVIRONNEMENT

HAUTEUR DU MOBILE (m)

FREQUENCE (MHZ)

HAUTEUR DU ENODE B (m)

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PATH LOSS (db)

RAYON DU CELLULE (km)

NOMBRE D' ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

LIEN DESCENDANT

PATH LOSS (db)

RAYON DU CELLULE (km)

NOMBRE D' ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2



Figure 52: Dimensionnement avec Modèle OKUMURA-HATA

Calcul avec modèle UKUMUR-HATA terminé on clique sur le bouton RETOUR pour revenir à l'interface de choix de modèle de propagation pour choisir le modèle suivant qui est COST231-HATA comme précisé dans la figure 53:

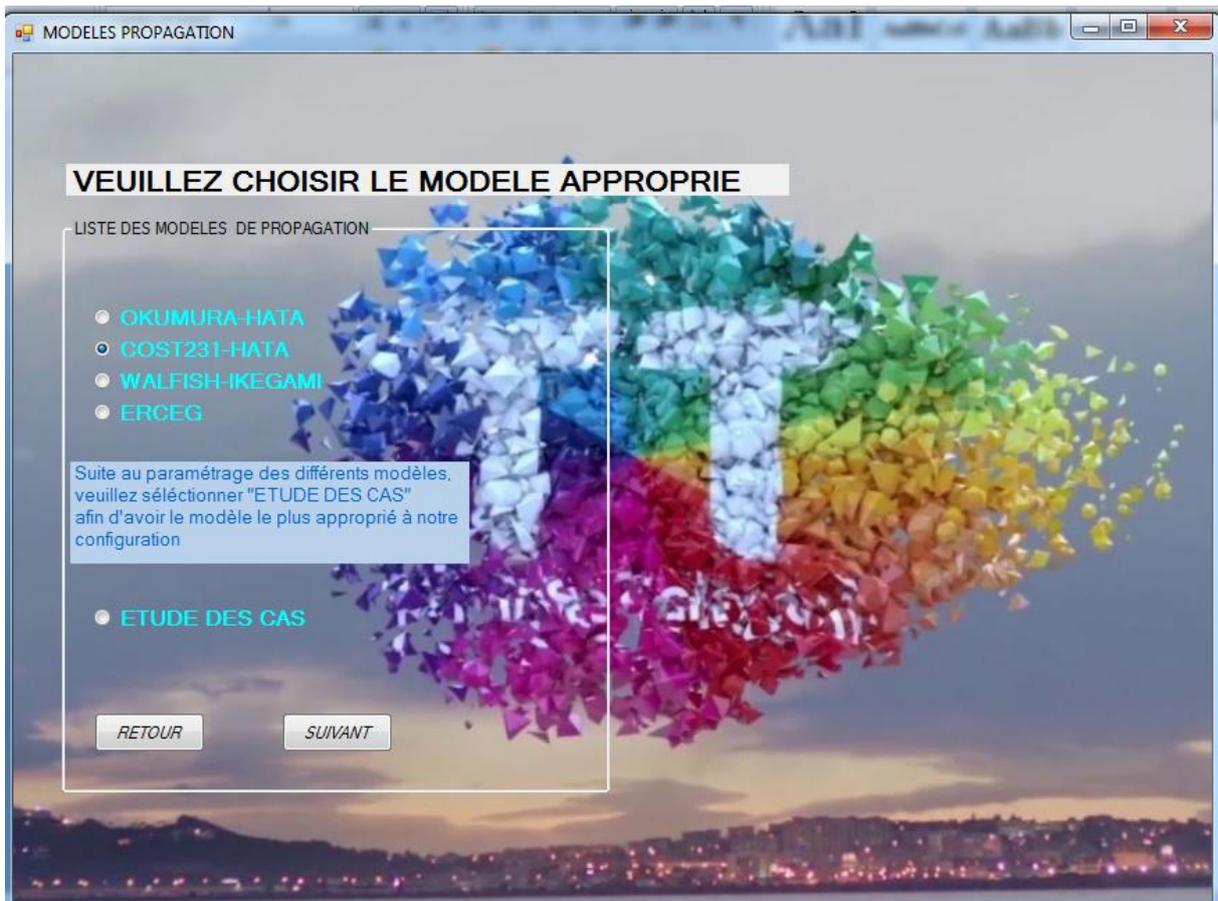


Figure 53: Choix du Modèle de propagation COST231-HATA

En cliquant sur le bouton SUIVANT, on passe à l'interface de dimensionnement avec le Modèle COST231-HATA figure 54:

COST231HATA

MODELE COST231 HATA

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KMP)

ENVIRONNEMENT

HAUTEUR D ENODE B (m)

FREQUENCE (MHZ)

HAUTEUR DU MOBILE (m)

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PATH LOSS (DB)

RAYON DE CELLULE (KM)

NOMBRE D ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2



LIEN DESCENDANT

PATH LOSS (DB)

RAYON DU CELLULE (KM)

NOMBRE D ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

RETOUR
CALCULER

Figure 54: Interface de dimensionnement du Modèle de propagation COST231-HATA

Paramétrage des entrées figure 55:

COST231HATA

MODELE COST231 HATA

VEULLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KMP²)

ENVIRONNEMENT

HAUTEUR D ENODE B (m)

FREQUENCE (MHZ)

HAUTEUR DU MOBILE (m)

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PATH LOSS (DB)

RAYON DE CELLULE (KM)

NOMBRE D ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

LIEN DESCENDANT

PATH LOSS (DB)

RAYON DU CELLULE (KM)

NOMBRE D ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

RETOUR

CALCULER



Figure 55: Paramétrage du Modèle de propagation COST231-HATA

Entrées paramétrées, on appuie sur le bouton **CALCULER** pour obtenir les sorties calculées comme montré dans la figure 56:

COST231HATA

MODELE COST231 HATA

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES

SUPERFICIE (KM²)

ENVIRONNEMENT

HAUTEUR D ENODE B (m)

FREQUENCE (MHZ)

HAUTEUR DU MOBILE (m)

LES SORTIES

LIEN MONTANT

PATH LOSS (DB)

RAYON DE CELLULE (KM)

NOMBRE D ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

LIEN DESCENDANT

PATH LOSS (DB)

RAYON DU CELLULE (KM)

NOMBRE D ENODE B

INTERFACES S1-C

INTERFACES S1-U

INTERFACES X2

Figure 56: Dimensionnement avec Modèle de propagation COST231-HATA

En résumé, avec ce modèle nous pourrons déployer 9 EnodeB, 18 interfaces X2, 9 interfaces S1-U et 9 interfaces S1-c

On clique sur le bouton RETOUR pour revenir à l'interface de choix de modèle de propagation pour choisir le modèle suivant qui est WALFISH IKEGAMI représenté dans la figure 57:



Figure 57: Choix du Modèle WALFISH-IKEGAMI

La figure 58 représente l'interface du Modèle WALFISH-IKEGAMI paramétrée.

WALFISH IKEGAMI

MODELE WALFISH IKEGAMI

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES		LES SORTIES	
SUPERFICIE (KM²)	140	LIEN MONTANT	
VISIBILITE E/R	visibilité indirecte (N ▼)	PARAMETRE LORI	
ENVIRONNEMENT	urbaines ▼	PARAMETRE KF	
FREQUENCE (MHZ)	1500	PATH LOSS (DB)	
HAUTEUR D'ENODE B (m)	50	RAYON DE CELLULE (KM)	
HAUTEUR DU MOBILE (m)	1.5	NOMBRE D'ENODE B	
HAUTEUR DES BATIMENTS (m)	25	INTERFACES S1-C	
LARGEUR DE LA ROUTE (m)	20	INTERFACES S1-U	
DISTANCE ENTRE BATIMENTS	10	INTERFACES X2	
ORIENTATION DU ROUTE (°)	90	LIEN DESCENDANT	
		PARAMETRE LORI	
		PARAMETRE KF	
		PATH LOSS (DB)	
		RAYON DU CELLULE (KM)	
		NOMBRE D'ENODE B	
		INTERFACES S1-C	
		INTERFACES S1-U	
		INTERFACES X2	



Figure 58: Paramétrage de l'interface du Modèle WALFISH-IKEGAMI

Après avoir paramétré les champs d'entrée, on clique sur le bouton CALCULER pour avoir les sorties comme précisé dans la figure 59.

WALFISH IKEGAMI

MODELE WALFISH IKEGAMI

VEUILLER A INTRODUIRE LES PARAMETRES SUIVANTS

LES ENTREES		LES SORTIES	
SUPERFICIE (KM²)	140	LIEN MONTANT	
VISIBILITE E/R	visibilité indirecte (N)	PARAMETRE LORI	-61,26
ENVIRONNEMENT	urbaines	PARAMETRE KF	0,93243243243243
FREQUENCE (MHZ)	1500	PATH LOSS (DB)	146,4
HAUTEUR D'ENODE B (m)	50	RAYON DE CELLULE (KM)	1,8
HAUTEUR DU MOBILE (m)	1.5	NOMBRE D'ENODE B	10
HAUTEUR DES BATIMENTS (m)	25	INTERFACES S1-C	10
LARGEUR DE LA ROUTE (m)	20	INTERFACES S1-U	10
DISTANCE ENTRE BATIMENTS	10	INTERFACES X2	20
ORIENTATION DU ROUTE (°)	90		
		LIEN DESCENDANT	
		PARAMETRE LORI	-61,26
		PARAMETRE KF	0,93243243243243
		PATH LOSS (DB)	146,5
		RAYON DU CELLULE (KM)	,81
		NOMBRE D'ENODE B	9
		INTERFACES S1-C	9
		INTERFACES S1-U	9
		INTERFACES X2	18

RETOUR CALCULER

Figure 59: Dimensionnement avec Modèle WALFISH-IKEGAMI

Suite au dimensionnement avec le modèle WALFISH-IKEGAMI on va cliquer sur le bouton RETOUR pour revenir à l'interface de choix et cocher la case ETUDE DE CAS pour avoir un récapitulatif sur les dimensionnement précédents voir figure 60

5. Etude de cas:

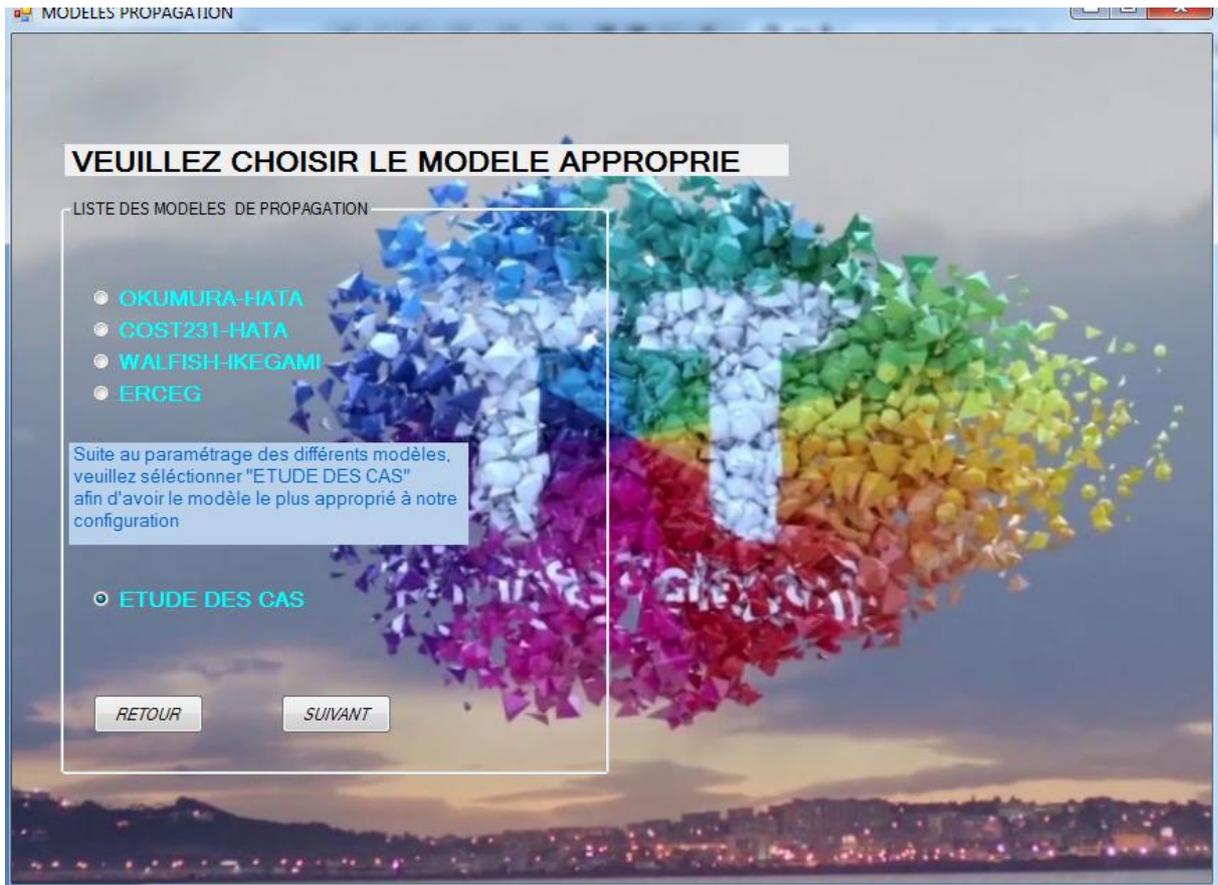


Figure 60: Sélection de l'interface étude de cas

Après avoir sélectionné ETUDE DE CAS on clique sur le bouton SUIVANT pour ouvrir l'interface ETUDE DE CAS.

Cette dernière contient un résumé de tous les calculs effectués avec les différents modèles de propagation comme montré dans la figure 61 ci-dessous:



Figure 61: Interface ETUDE DE CAS

Le fait d'appuyer sur le bouton AFFICHER, tous les champs seront remplis et on obtiendra la configuration optimale pour la zone à étudier (voir figure 62).



Figure 62: Interface ETUDE DE CAS Configuration optimale

6. Analyse des résultats:

On remarque que la configuration optimale des nombres d'EnodeB à déployer est celle du modèle OKUMURA-HATA puisqu'il ne nécessite que 6 EnodeBs un nombre minimal de site par rapport aux autres modèles. En effet, avec les mêmes paramètres fournis par l'opérateur et qui sont: une superficie de 140Km², une fréquence de 1500MHz, hauteur de Mobile 1.5m, hauteur EnodeB entre 30 et 50m et l'environnement, UKUMURA-HATA est le modèle le plus adéquat car avec la même valeur du PATH LOSS, il permet de maximiser le rayon de couverture et minimiser le nombre d'EnodeB.

Toutefois avec ces mêmes paramètres Tunisie Telecom a déployé 8 NodeB pour le réseau 3G++, c'est pour cela qu'on les a utilisés pour voir le plus qu'apporte notre travail pour la société.

En résumé, on remarque que le dimensionnement du réseau 4G avec le modèle UKUMURA-HATA donne des résultats meilleur que celle obtenue pour le réseau 3G++ puisqu'il permet à l'opérateur d'économiser le cout d'installation en lui épargnant l'installation de 2 EnodeB supplémentaire

Conclusion:

Avec les captures écrans présentées dans ce chapitre, nous avons pu décrire les technologies utilisés pour le développement de cet outil ainsi que son fonctionnement en détails, pour finir avec l'analyse des résultats obtenus.

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce projet est d'optimiser la couverture du réseau d'accès 4G et cela par le biais de développement d'une application qui a été réalisé pour simplifier les calculs compliqués nécessaire au dimensionnement de la couverture et qui sont le calcul du bilan de liaison qui nous permettra de déduire le nombre d'nodeB 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 commencer par faire une étude approfondie des différents réseaux mobile existant, ainsi que leur évolutions dans le temps, et plus précisément la technologie des réseaux 4G, ces objectifs, ces caractéristiques, son architecture et ses spécifications techniques.

Ensuite, nous avons expliqué le processus de planification et citer les différentes règles spécifiques aux modèles de propagation nécessaires pour la planification orientée couverture.

Une étude conceptuelle de l'outil de planification composée de diagrammes d'activité, de diagramme de classe et de diagrammes de séquence nous a mené à simplifier la réalisation de l'application.

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 basée sur Google earth pour les zones d'étude afin de géo-localiser les sites.

Bibliographie

- [B1] Yannick Bouguen et Éric Har douin , "LTE et les réseaux 4G", © Groupe Eyrolles, 2012
- [B2] Pierre Beaufils, "Réseaux 4G technologies et services", hermes science, novembre 2008
- [B3] LASSOUED ali, Rapport PFE, Outil de planification et de dimensionnement dans l'E-UTRAN LTE-Advanced, Sup'Com, 2012
- [B4] Xavier Lagrange et al. , « Réseaux GSM », Hermes, Paris, 1995, 1996, 1997, 1999,2000
- [B5] JAMMAZI eya, Rapport de PFE, Optimisation du réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom, ENIG, 2013

Webographie

[w1]. https://publications.polymtl.ca/1389/1/2014_EuniceAdjarathLemamou.pdf (consulté Mars 2016)

[w2] <http://www.tunisiatelecom.tn> (Mars 2016)

[w3] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php (Mars 2016)

[w4] <http://www.institut-numerique.org/chapitre-ii-evolution-du-core-network-vers-ngnims-5163ee911c386> (Mars 2016)

[w5] <http://www.igen.fr/0-apple/4g-lte-explications-sur-les-bandes-de-frequences-109169> (Mars 2016)

[w6] <https://www.csiac.org/journal-article/4g-lte-security-for-mobile-network-operators/> (Mars 2016)

[w7] <http://www.rcrwireless.com/20140509/wireless/lte-network-diagram> (consulté le 09/04/2016)

[w8] http://www.efort.com/r_tutoriels/LTE_SAE_EFORT.pdf (Avril 2016)

[w9] <http://news.yeogie.com/entry/11438> (consulté le 09/04/2016)

[w10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Adaptative_modulation_and_coding (consulté Avril 2016)

[w11] <http://www.amigosway.com/lte-throughput-calculation/> (consulté le 09/04/2016)

[w12] <http://www.ni.com/white-paper/3740/en/> (consulté Avril 2016)

[w13] <http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm> (consulté le 09/04/2016)

[w14] <https://wapiti.telecom-lille.fr/commun/ens/peda/options/st/rio/pub/exposes/exposesrio2009/ANICOTTE-BRUNO/ltephy.html> (consulté le 09/04/2016)

[w15] <https://wapiti.telecom-lille.fr/commun/ens/peda/options/st/rio/pub/exposes/exposesrio2009/ANICOTTE-BRUNO/ltephy.html> (consulté Avril 2016)

[w16] <http://www.memoireonline.com/10/12/6350/Memoire-de-fin-de-cycle-portant-sur-letude-du-WiMAX-comme-technologie-daces-haut-debit-.html> (consulté Avril 2016)

[w17] <http://www.numerama.com/tech/147723-5g-tout-savoir-sur-le-reseau-mobile-du-futur.html> du 15 mars 2016 (consulté Avril 2016)

[w18] : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/telecommunications-les-transmissions-radio/6-principes-de-base-d-un-systeme-de-telephonie-mobile/> (consulté Avril 2016)

[w19] <http://documents.mx/documents/doc6-lte-workshop-tun-session5-performance-evaluation.html>
(consulté Avril 2016)

[w20] <https://fr.scribd.com/doc/223051009/Huawei-LTE-Radio-Network-Planning-Introduction>
(consulté Avril 2016)

[w21] <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1110/1110.1519.pdf> (consulté Avril 2016)

[w22] https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_des_cas_d%27utilisation