

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

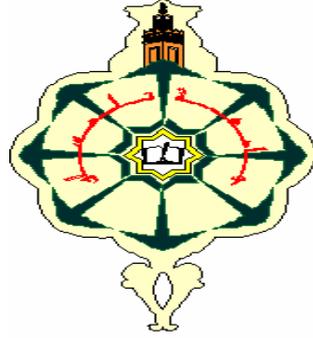
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN

- جامعة ابي بكر بلقايد - تلمسان -

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS



MEMOIRE

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

En : Télécommunication

Spécialité : Réseaux de Télécommunications (RT)

THEME

Etude et Planification d'un réseau 4G LTE

Réalisé par :

- **LARBI CHERIF Hacene**
- **MEDJAHED Ilyas**

Soutenu en juillet 2021 devant le Jury :

Mr. BAHRI. S.M	M.C	à l'Université de Tlemcen	Président
Mr. MERZOUGUI. R	Professeur	à l'Université de Tlemcen	Examineur
Mr. DJEMAI. A	M.C	à l'Université de Tlemcen	Encadreur

2020/2021

Dédicace

Je dédie ce projet de fin d'études

A Ma chère mère

Elle a œuvré pour ma réussite, par son amour inestimable, son soutien, ses conseils avisés et tous ses sacrifices consentis durant mes études et qu'elle a toujours aimé me voir réussir.

Que Allah la garde et la protège.

A mes frères, mes oncles et mes tantes ainsi à toute ma famille

Aux ingénieurs de MOBILIS

HAMZA-CHERIF Nassim

Et

BENATEK Fethi

Et

A mes proches amis

A toute la promotion master 2 RT2021.

Hassene LARBI CHERIF...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui me sont chers, quoi que je fasse ou dise-je ne saurai vous remercier, je remercie Allah de m'avoir donné des parents comme vous, Que Allah vous protège et vous bénisse.

À mon frère (yasser) pour leur encouragement.

À mes sœurs (meriem , wafaa , douaa) pour leur soutien moral et leur encouragement.

A mes amis (Yassine , Oussama , Mohamed , djawed , heythem) pour leur soutien.

À toutes les personnes qui m'ont encouragé, merci d'être toujours là pour moi.

Qu'Allah vous bénisse tous.

Remerciment

Je remercie Allah, le Tout Puissant, qui nous a donnés la volonté et le courage pour réaliser ce travail.

On tient à remercier nos chers parents qui nous ont soutenus.

On remercie aussi notre encadreur Mr. DJEMAI Abderrezak pour la confiance qu'il nous a témoignée, pour son aide précieux et les conseils formateurs qu'il nous a prodigués afin d'améliorer notre mémoire.

C'est pour nous un devoir et encore un plaisir de remercier les membres du jury Mr.S.M.Bahri et Mr. R. MERZOUGUI pour avoir accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Je tiens à remercier également les enseignants de master RT.

Je remercie toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin nous ont aidés à réaliser ce modeste travail.

Table des matières

Résumé : I
Liste des figures : II
Liste des tableaux IV
Liste des Abréviations : V
Introduction générale 1

chapitre I : Généralité sur les réseaux cellulaire

I. Introduction : 4
II. Définition d'un réseau cellulaire : 4
 II.1 Radio téléphonie cellulaire : 4
III. Evolution des Réseaux Mobiles : 5
 III.1 La première génération (1G) des réseaux cellulaires : 6
 III.2 La deuxième génération (2G) des réseaux mobiles: 6
 III.2.1 Le réseau GSM 7
 III.2.2 Le réseau GPRS 7
 III.2.3 Le réseau EDGE : 8
 III.3 La troisième génération (3G) des réseaux mobiles : 9
 III.3.1 CDMA 2000 : 9
 III.3.2 UMTS : 10
 III.4 La quatrième génération (4G) des réseaux sans fil : 11
 III.4.1 Le réseau LTE : 11
IV. Conclusion : 12

Chapitre II : Etude détaillé sur la 4G LTE

I. Introduction : 14
II. Buts de la 4G LTE : 14
III. Architecture : 14
 III.1 Réseau d'accès E-UTRAN : 15
 III.1.1 eNodeB : 16
 III.2 Le cœur de réseau EPC : 16
IV. INTERFACE ET PROTOCOLES : 19
 IV.1 Architecture générale : 19
 IV.2 Les interfaces du réseau E-UTRAN : 20

Table des matières

IV.2.1	L'interface S1 :	21
IV.2.2	L'interface S1 Flexiblity :	22
IV.2.3	L'interface X2 :	23
IV.3	Les protocoles de l'interface radio :	24
IV.3.1	Canaux logiques :	24
IV.3.2	Canaux de transport :	25
IV.3.3	Canaux Physique :	27
IV.4	Couche PHY :	28
V.	Caractéristique de la 4G :	29
V.1	Les fréquences utilisées :	29
V.2	Débits théoriques et débits réels :	30
V.3	Débits et fréquences du réseau LTE :	31
V.4	Latence :	32
V.4.1	Latence du plan de contrôle :	33
V.4.2	Latence du plan usager :	33
V.5	Codage et sécurité :	34
V.6	Multiplexage:	34
V.6.1	Structure d'une trame LTE :	34
V.7	Les techniques d'accès :	36
V.7.1	La technique OFDMA :	36
V.7.2	La technique SC-FDMA :	37
V.8	Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA :	37
V.9	Système MIMO :	38
V.10	La qualité de service (QoS):	38
V.10.1	Définition :	38
V.10.2	But de la QoS:	39
V.10.3	Paramètres de la QoS:	39
VI.	Conclusion :	41

Chapitre III : Planification d'un réseau 4G LTE

I.	Introduction :	43
II.	DEFINITION D'UNE PLANIFICATION RADIO :	43
III.	Processus de planification	44
III.1	Pré-Planification :	44

Table des matières

<i>III.2 Planification</i>	44
<i>III.3 Vérification</i> :.....	45
<i>III.4 Optimisation</i> :.....	45
<i>IV. Modèle de propagation</i> :.....	45
<i>V. Pré-Planification</i> :.....	48
<i>V.1 Bandes de fréquences</i> :.....	48
<i>V.2 Nombre d'eNodeB requis</i> :.....	50
<i>VI. Planification avec ATOLL</i> :.....	50
<i>VI.1 Les étapes de configuration à suivre</i> :.....	51
<i>VI.2 Planification de la Wilaya d'ORAN</i> :.....	51
<i>VI.2.1 Création d'un nouveau projet</i> :.....	51
<i>VI.2.2 Choisir le système de coordonnées</i> :.....	53
<i>VI.2.3 Importer la carte</i> :.....	53
<i>VI.2.4 Les données d'entrée</i> :.....	55
<i>VI.2.5 Importé les sites</i> :.....	55
<i>VI.2.6 Zone géographique à planifier</i> :.....	57
<i>VI.2.7 Résultat de la planification</i> :.....	58
<i>VII. Drive Test</i> :.....	63
<i>VIII. Conclusion</i> :.....	63
<i>Conclusion Générale</i> :.....	62

Résumé :

LTE est une nouvelle technologie hertzienne qui dispose d'un ensemble de techniques sans fil permettant de connecter des utilisateurs distants à des réseaux IP via des liaisons radio.

Son rôle est de fournir une meilleure qualité de service (QoS) et une croissance réelle du débit que les réseaux terrestres.

Dans ce projet , nous allons étudier le réseau LTE et le planifier en utilisant un logiciel de calcul qui simplifie la tâche et la rend plus simple.

Mots clés: LTE, 4G, planification, débit, réseau cellulaire.

Abstrat :

LTE is a new wireless technology that has a set of wireless techniques for connecting remoteusers to IP networks via radio links.

Its role is to provide better quality of service (QoS) and real growth in speed than terrestrial networks.

In this article, wewillstudy the LTE network and plan it using calculation software that simplifies the task and makes it simpler.

Keywords: LTE, 4G, scheduling, speed, cellular network.

المخلص :

LTE هي تقنية لاسلكية جديدة يحتوي على مجموعة من التقنيات اللاسلكية لربط المستخدمين عن بعد لشبكات IP عبر وصلات لاسلكية.

يتمثل دورها في تقديم جودة خدمة أفضل (QoS) ونمو حقيقي في السرعة مقارنة بالشبكات الأرضية.

في هذه المقالة ، سوف ندرس شبكة LTE ونخطط لها باستخدام برنامج حساب يبسط المهمة ويجعلها أكثر بساطة.

الكلمات الرئيسية: LTE، 4G ، جدول ، سرعة ، شبكة خلوية.

Liste des figures :

<i>Figure I. 1: le concept cellulaire</i>	5
<i>Figure I.2: Evolution des réseaux cellulaires</i>	5
<i>Figure I.3: Architecture du réseaux GSM</i>	7
<i>Figure I.4: Architecture de réseaux GPRS</i>	8
<i>Figure I.5: Architecture de réseaux EDGE</i>	9
<i>Figure I.6 : Architecture CDMA2000</i>	10
<i>Figure I.7: Architecture de réseaux UMTS</i>	11
<i>Figure II.1: Architecture de réseaux LTE</i>	15
<i>Figure II.2: E-UTRAN</i>	15
<i>Figure II. 3: l'infrastructure du EPC</i>	17
<i>Figure II.4: Interface E-UTRAN</i>	21
<i>Figure II.5 : La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex</i>	23
<i>Figure II.6: Le modèle de la couche PHY du Downlink Shared Channel</i>	29
<i>Figure II.7: le plan usager et le plan de contrôle</i>	33
<i>Figure II.8: Structure de la trame LTE</i>	35
<i>Figure II.9: Le duplexage FDD</i>	35
<i>Figure II.10: Le duplexage TDD</i>	36
<i>Figure II.11: La différence OFDMA et SC-FDMA</i>	37
<i>Figure II.12: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO</i>	38
<i>Figure III.1: Processus de planification</i>	44
<i>Figure III.2 : L'interface de démarrage d'ATOLL</i>	52
<i>Figure III.3 : Création du projet</i>	52
<i>Figure III.4: Choisir le système de coordonnées</i>	53
<i>Figure III.5:Importer la carte</i>	54
<i>Figure III.6: carte numérique de la wilaya d'Oran</i>	54
<i>Figure III.7: input data for atoll</i>	55

Liste des figures

<i>Figure III.8: liste des sites pour la wilaya d'ORAN</i>	56
<i>Figure III.9: Les sites répartie sur la carte de la wilaya</i>	56
<i>Figure III.10:Les sites répartie sur la carte de la wilaya - Google Earth</i>	57
<i>Figure III.11: la zone géographique a planifier</i>	58
<i>Figure III.12: couverture par niveau de signal</i>	59
<i>Figure III.13: histogramme de couverture par niveau de signal</i>	59
<i>Figure III.14: couverture par cellule</i>	60
<i>Figure III.15: zone de chevauchement</i>	60
<i>Figure III.16: histogramme de couverture des zones de chevauchement</i>	61
<i>Figure III.17: Distribution des Abonnés</i>	62
<i>Figure III.18: l'état de l'abonné</i>	62
<i>Figure III.19: Drive Test</i>	63

Liste des tableaux

Table II. 1: Canaux logiques fournis par la couche MAC25

Table II.2: Canaux de transport fournis par la couche physique.26

Table II.3: Canaux physiques pour la voie montante.27

Table II.4: Canaux physiques pour la voie descendante.28

Table II.5: La latence pour chaque multiplexage.....33

Table III.1 :Les bandes de fréquence FDD49

Table III.2 : Les bandes de fréquences TDD49

Table III.3 : Nombres de sites nécessaires dans quelques communes de Tlemcen.....50

Liste des Abréviations :

#

1G : première génération

2G : deuxième génération;

3G: troisième génération

4G: quatrième génération

5G : cinquième génération

A

AUC: Authentication Center

AMPS: Advenced Mobile Phone System

B

BTS : Base Transceiver Station

BSS : Base Station Sub-System

BSC : Base Station Controller

C

CRC: Cyclic Rendancy Check

CDMA: Code Division Multiple Access

Listedes abréviations

CoMP : Coordinated Multipoint

CN : Core Network

E

EIR:

EDGE : Enhanced Data Rates For GSM Evolution

EPS : Evolved Packet System

EPC : Evolved Packet Core

E-UTRAN : Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

EnodeB : Evolved NodeB

F

FDD : Frequency Division Duplexing

G

GSM : Global System for Mobile

GPRS : Generation Packet Radio Service

GGSN : Gateway GPRS Support Node

H

H + : Symbolise le HSPA+

Listedes abréviations

HS : Hight Speed

HSS: High Speed Steel

HSDPA : Hight Speed Dowlink Packet Access

HSUPA : Hight Speed Uplink Packet Access

HSPA : Hight Speed Packet Access

I

IS: Internet Standard

IP : Internet Protocol

IMS : IP Multimedia Sub-system

IUT : International Telecommunications Union

L

LTE : Long Term Evolution

LOS : Line-Of-Sight

M

MIMO : Multiple Input Multiple Output

MAPL : Maximum Allowable PathLoss

MMS : Multemidia Message Service

Listedes abréviations

MS : Mobile Station

MAC : Medium Access Control

MME : Mobility Management Entity

N

NR : New Radio

NSS: New Star Soccer

NRB : nombre de blocs de ressources

O

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

OMC : Operations and Maintenance Center

OSS : Operation Sub-system

OSI: Open System Interconnection

P

PCEF: Policy And Charging Enforcement

PCRF: Policy Charging And Rules Function

PHY: Physical Layer

PMLN : Public Land Mobile Network Function

PDP : Packet Data Protocol

PDCP : Packet Data Compression Protocol

PDN-GW : Packet Data Network Gateway

PS : Packet Switching

PGW : Packet Switch-Gateway

Q

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QPSK : Quadrature Phase Shift Key

R

RRC : Radio Ressource Control

RLC : Radio Link Control

RN : Relay Node

RNC : Radio Network Sub-system

RTCP: Réseau Téléphonique Commute Public

S

S1-C : Interface entre EnodeB et MME (S1 control plan)

Listedes abréviations

S1-U : Interface entre ENodeB et SGW (S1 User plan)

SC-FDMA : Single Carrier- Frequency Division Multi-Access

S-GW : Serving Gateway

SMS: Short Message Service

SGSN : Serving GPRS Support Node

T

TACS: Total Access Communication System

TDD : Time Division Duplexing

TTI : Transmission Time Interval

TDMA : Time Division Multi-Access

U

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

UP : Uplink

UL: Underwriters Laboratories

UE : User Equipment

UDP: User Data Protocol

V

VLR:Visitor Location Register

VoIP : Voice over IP

W

W-CDMA : Wide Coding Division Multiple Access

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Acces

X

X2 : interfaces entre les eNodeBs

Introduction Générale

Introduction générale

Le succès des technologies sans fil et des communications mobiles a déterminé l'existence d'une variété de standards qui permettent aux utilisateurs d'avoir accès à l'internet. Chaque technologie cherche à atteindre un certain type de clients avec des besoins spécifiques.

L'avantage d'avoir une telle diversité est que l'utilisateur a plusieurs choix du point de vue d'accès Internet, de la bande passante et de la couverture. Dans ces conditions, l'expansion des services qui reposent sur tous ces réseaux pose des problèmes d'interconnexion et de gestion de la mobilité en général.

Les réseaux de la quatrième génération (4G) représentent l'évolution des communications sans fil et sont basés sur l'infrastructure existante, sur l'interconnexion des réseaux déjà déployés . Ce pas évolutif semble assez naturel dans les conditions où les opérateurs ont investi beaucoup dans les réseaux de la troisième génération.

Les nouvelles architectures de réseaux sont broadband(large bande) et seamless(sans interruption). Elles doivent intégrer des technologies d'accès sans fil large bande et de mécanismes de roaming construits sur des technologies individuelles d'accès. Toutes les connexions de l'utilisateur avec ce réseau doivent se passer sans interruption, sans dégradation de service quand l'utilisateur change d'un réseau à un autre.

Les évolutions se poursuivent , tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, systèmes intelligents ,etc) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais émerger des solutions concurrentes sous tous les angles : le monde des télécommunications classiques avec HSDPA, le monde des réseaux sans fil avec WiMAX, ou encore le monde de la diffusion TV terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S).

La génération de réseaux sans fil dite quatrième génération (4G) est un tournant dans l'amélioration des solutions existantes. L'objectif, cette fois, sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ce réseaux.

Des premières solutions sont déjà disponibles auprès de la plupart des opérateurs de télécommunications, mais la plupart d'entre elles sont des solutions spécifiques à un type d'interconnexion et à un opérateur.

Dans ce contexte ont planifié LTE pour avoir un meilleur emplacement et une meilleur qualité de service

Dans ce mémoire on va présenter :

- ✓ Les différentes normes (génération) de téléphonie mobile, on commencera tout d'abord par l'ancienne génération très connue et très répandue dans la 2G (GSM), ensuite on passera à la 2.5 G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM , ce réseau est une extension du réseau GSM
- ✓ Les réseau 3G
- ✓ L'étude de la 4G
- ✓ La planification du réseau 4G
- ✓ Présentation des méthodes de planification, et les différentes qualités de service, et enfin présentant un bilan de liaison entre deux liens à la ville d'Oran
- ✓ On terminera par une conclusion générale .

*Chapitre 1 : Généralité sur les réseaux
cellulaires*

I. Introduction :

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations (1G, 2G, 3G, 4G) ont connu une évolution remarquable. En apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateurs pouvant être supportés.

II. Définition d'un réseau cellulaire :

Par définition, un réseau cellulaire est un système qui doit répondre aux contraintes de la mobilité dans le réseau, par l'étendue du réseau et par ondes radio qui lui sont allouées.

Un système de réseau cellulaire couvre l'ensemble d'infrastructures spécialement aux équipements d'acheminement de communication vers les mobiles et les ondes radio, dans le cas d'un réseau cellulaire de lien entre le terminal de l'abonné et l'opérateur. [1]

II.1 Radio téléphonie cellulaire :

Un système de radiotéléphonie mobile autrefois analogique et maintenant numérique assurant la totalité des services proposés par le réseau fixe, plus celui de la mobilité: possibilité de maintenir une communication en cours de déplacement et la possibilité d'appeler et d'être appelé lorsque l'on se trouve à l'étranger .

Le concept cellulaire permet également d'atteindre une capacité importante limitée au moyen d'un grand nombre des stations radio couvrant une zone géographique connue sous le nom de "cellule".

Ce concept consiste à diviser un territoire en cellules où chaque territoire est couvert par une station radio ou une base du réseau. Et donc la réutilisation de la même fréquence que celles des cellules différentes, c'est-à-dire adjacentes ou se croisant de sorte que l'interférence sur le signal utile reçu par le terminal mobile pour la station de base [1].

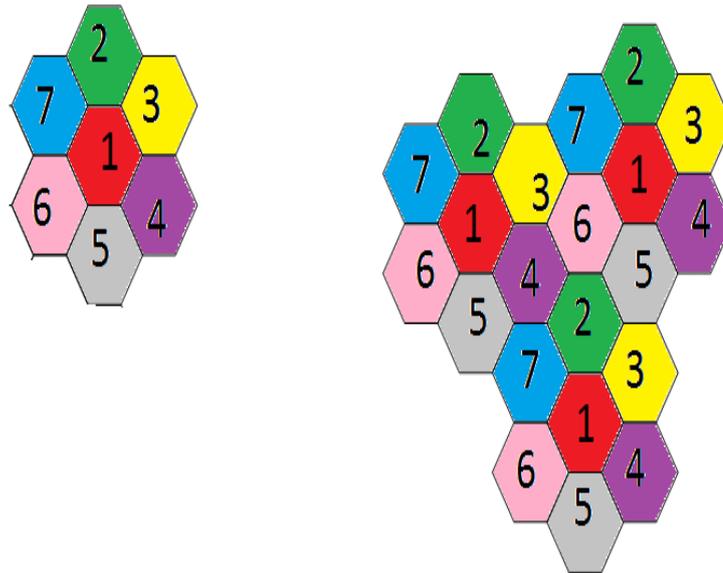


Figure I. 1: le concept cellulaire

III. Evolution des Réseaux Mobiles :

Les réseaux mobiles ont beaucoup évolué depuis leur apparition dans les années 1970 à nos jours. Cette évolution, de la première à la quatrième génération des réseaux cellulaires est illustrée à la Figure 2. [2]

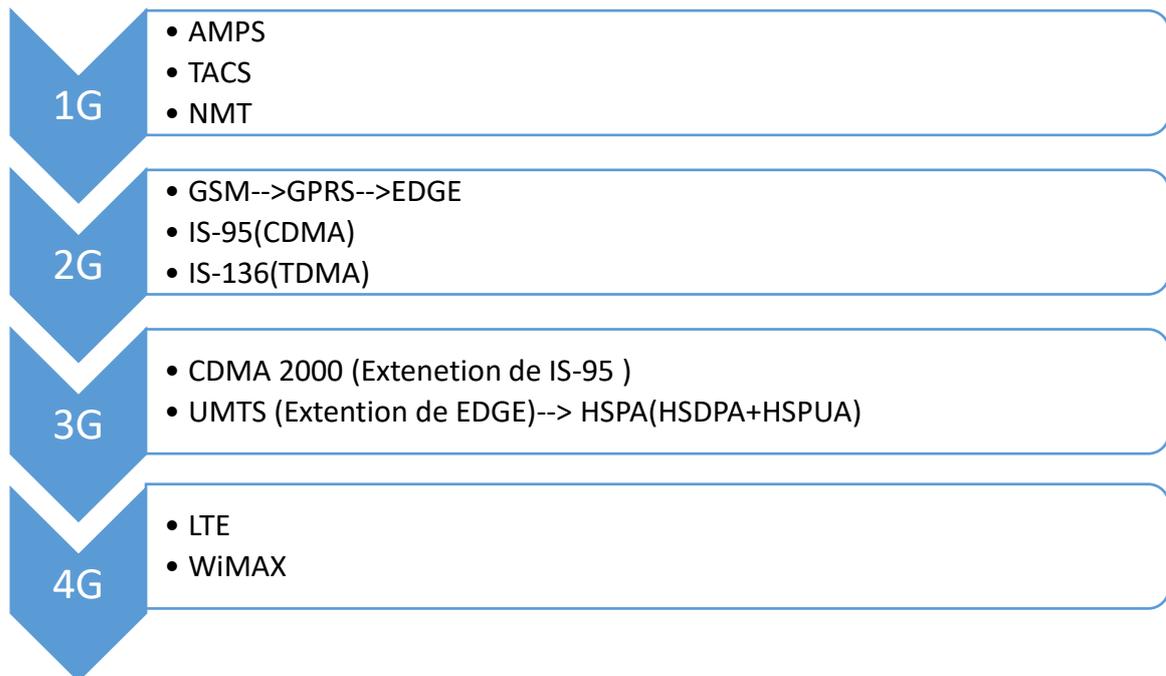


Figure I.2: Evolution des réseaux cellulaires

III.1 La première génération (1G) des réseaux cellulaires :

Elle est apparue vers le début des années 1970 avec un mode de transmission analogique et des appareils de taille relativement volumineuse. Les standards les plus utilisés à l'époque étaient l'AMPS (Advanced Mobile Phone System). Le TACS (Total Access Communication System). [1]

- AMPS lancé aux Etats-Unis est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).
- NMR à été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisé dans d'autres parties de la planète.
- TACS qui repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en grande Bretagne.

III.2 La deuxième génération (2G) des réseaux mobiles:

Elle est apparue au début des années 90 avec le mode de transmission numérique .Il devient ainsi possible de transmettre, en plus de la voix, des données numériques de faible volume telles que le SMS (Short Message Service) et les MMS (Multimedia Message Service).

Les standards 2G les plus utilisés sont le GSM, l'IS-95 (Interim Standard-95) qui est basé sur le codage CDMA (Code Division Multiple Access) et l'IS-136 (Interim Standard 136) qui se base sur le codage TDMA (Time Division Multiple Access).

Le GSM est cependant le standard ayant connu la plus grande percée avec l'utilisation de la bande des 1900 MHz en Amérique du Nord et au Japon et de la bande des 900 MHz en Europe et 1800 MHz sur les autres continents.

C'est ailleurs sur ce standard que se basent les réseaux GPRS (General Packet Radio Service : 2.5G) et EDGE (Enhanced DATA for GSM Evolution : 2.75G) qui sont venus pour corriger les faibles débits du GSM (environ 9.6 Kbps).Le GPRS propose un débit théoriquement de 114 Kbps permettant ainsi la transmission simultanée de la voix et de données, l'utilisation des applications multimédia est rendue possible pour EDGE qui offre des débits allant jusqu'à 384Kbps .

- GSM (2G)
- GPRS (2.5G) est un système mobile intermédiaire entre la 2G et la 3G
- EDGE (2.75G)

III.2.1 Le réseau GSM

Le GSM (Global System for Mobile communication) est un système cellulaire numérique de télécommunication radio-mobile. Son développement remonte aux années 80 mais son exploitation a commencé en 1992. Les premiers réseaux ouvrent en GSM 900 et deux ans plus tard, la norme GSM s'étend en DCS 1800 (Digital Communication System).

La figure (3) représente l'architecture du réseau GSM.

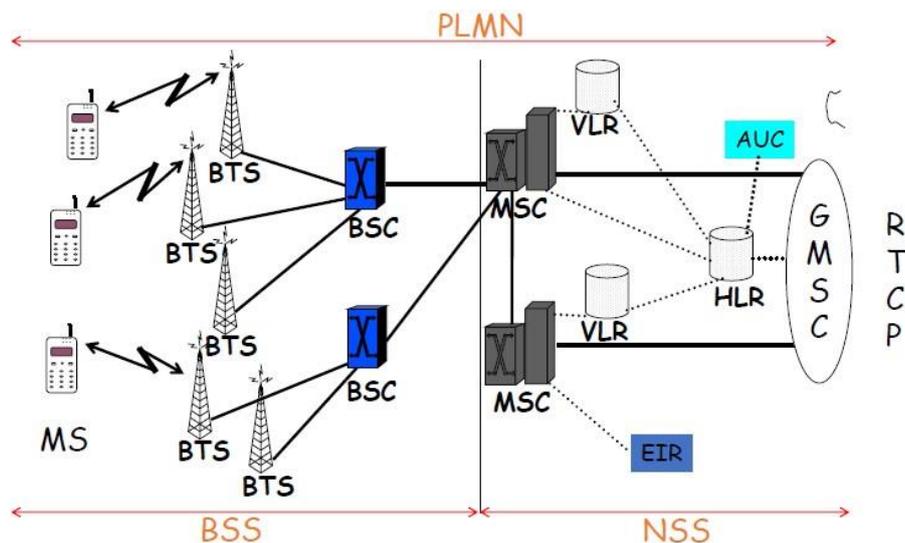


Figure I.3: Architecture du réseau GSM

III.2.2 Le réseau GPRS

Le GPRS (General Packet Radio Service) peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de la troisième génération. En termes de service et de débits, il s'approche de spécifications de l'IMT 2000. Toutefois la transition du GSM au GPRS demande plus qu'une simple adaptation logicielle.

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Le réseau est donc constitué de routeurs IP .La figure 4 représente l'infrastructure de réseaux GPRS

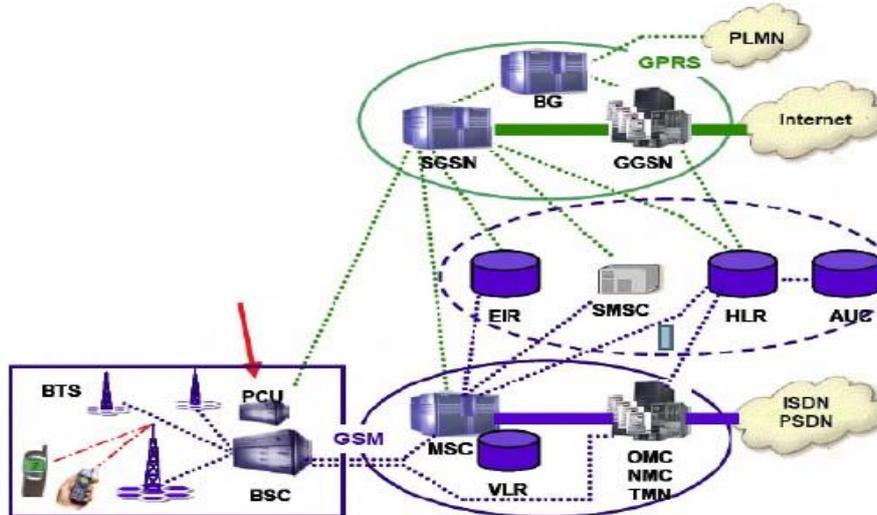


Figure 4: Architecture de réseaux GPRS

III.2.3 Le réseau EDGE :

Avec le GPRS, le système GSM permet l'accès au monde de l'internet et ouvre la porte aux applications multimédias par l'utilisation de la commutation de paquets et l'augmentation du débit. Cependant, les débits restent limités à environ 50Kbps dans la pratique, du fait de la modulation binaire (GMSK) véhiculant environ 1bit/symbole

Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM , modifiant le type de modulation .Tout comme la norme GPRS , le standard EDGE est utilisé comme transition ver la troisième génération de téléphone mobile 3G. On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE. Il est extension du réseau GPRS, seule le sous-système radio est sensiblement modifié

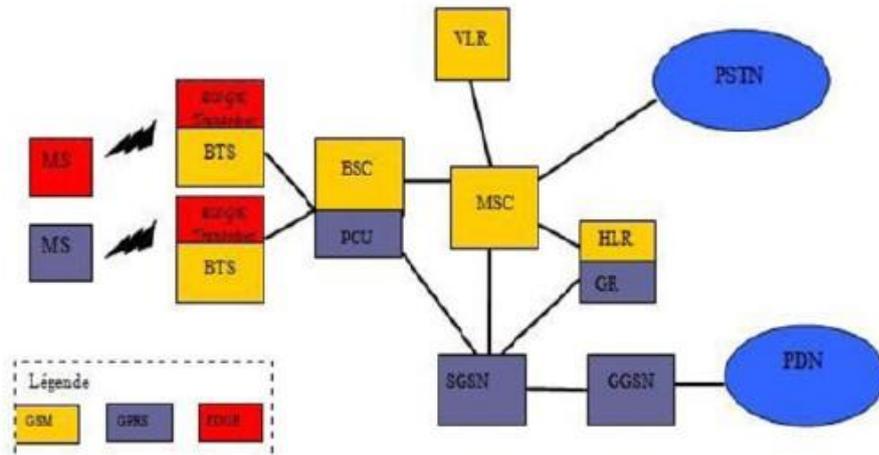


Figure I. 5: Architecture de réseaux EDGE

III.3 La troisième génération (3G) des réseaux mobiles :

Elle est apparue pour établir des normes internationales afin de garantir une compatibilité mondiale, une mobilité globale. La compatibilité avec les réseaux 2G et des débits de 2Mbps pour une mobilité faible est allons jusqu'à 144kbps pour une mobilité forte. Les principales normes 3G sont le CDMA 2000 et UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).

III.3.1 CDMA 2000 :

CDMA 2000 est une technologie mobile de la troisième génération (3G) reconnue par l'UIT. Par conséquent, il est en concurrence avec des technologies telles que EDGE ou UMTS, qui étend la technologie GSM dominante de la deuxième génération (2G). Il est à noter que d'autres technologies 2G ont choisi d'évoluer vers la technologie 3G UMTS. La norme CDMA 2000 est une amélioration de la norme IS-95 et n'est pas compatible avec la GSM

Le passage de la 2G à la 3G est plus facile dans la famille CDMA/CDMA2000 que dans la famille GSM/UMTS: sur le plan technique, il s'agit d'une simple évolution et non pas d'une révolution, et la technologie se révèle plus fruste et intégrée. Par exemple : il n'existe pas d'équivalent de la carte SIM ou U-SIM, un terminal ne peut donc être utilisé que chez l'opérateur qui fournit le terminal au départ.

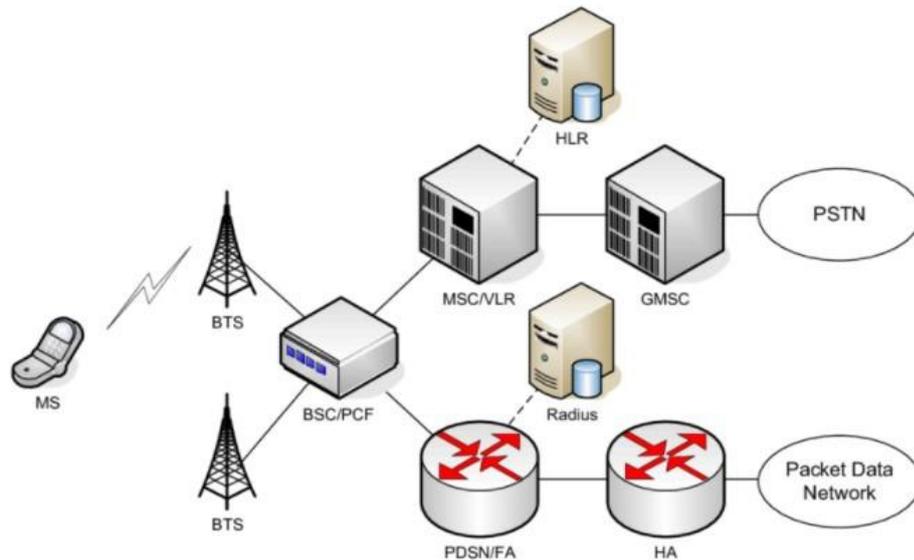


Figure I.6 : Architecture CDMA2000

III.3.2 UMTS :

L'Universal Mobile Télécommunications System est l'une des technologies de téléphonie mobile de la troisième génération européenne. Il est lui-même basé sur la technologie standardisée W-CDMA, 3GPP et constitue la mise en œuvre européenne des spécifications IMT-2000 de l'UIT pour le système de radiocommunication mobile 3G.

UMTS est également parfois appelé 3GSM, soulignant l'interopérabilité qui a été garantie entre l'UMTS et la norme GSM. On l'appelle aussi et plus simplement 3G, pour la troisième génération.

En théorie, l'UMTS autorise un débit de 1,920 Mbit / s, mais les débits proposés par les opérateurs dépassent rarement 384 kbit / s.

Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 kbit/seconde.

Le débit varie selon le lieu d'utilisation :

- en zone rurale : de 144 kbit / s à 500 km / h
- en zone urbaine : 384 kbit/s jusqu'à 120 km/h

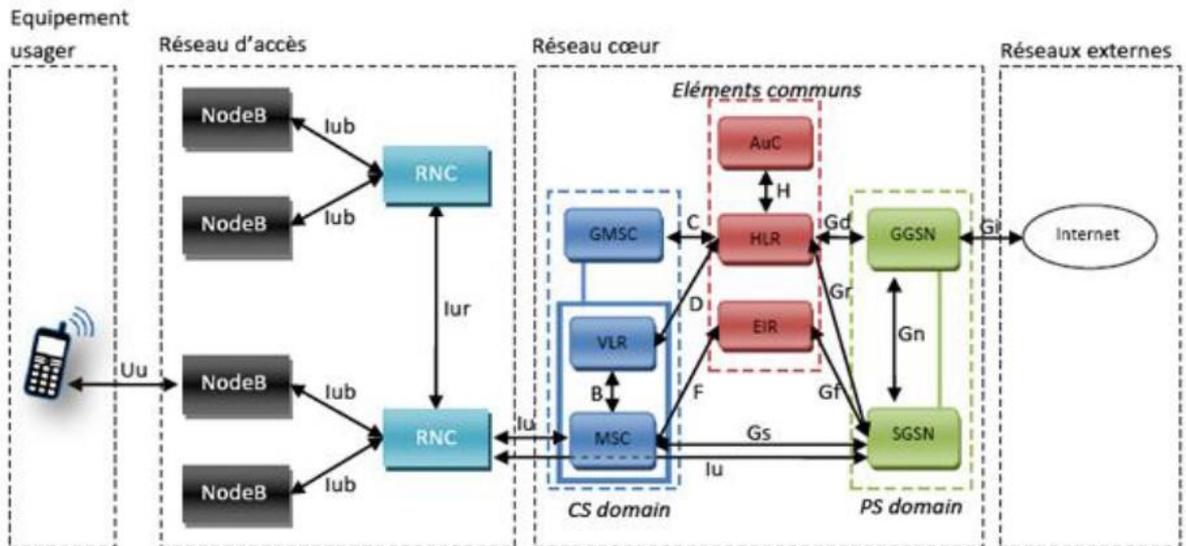


Figure I.7: Architecture de réseaux UMTS

III.4 La quatrième génération (4G) des réseaux sans fil :

Elle est caractérisée par une mobilité accrue des services, des services diversifié et des débits plus élevés elle projette des débits théoriques de 100Mbps pour une mobilité forte et jusqu'à 1Gbps pour une mobilité faible. Les principales normes 4G sont le LTE (Long Term Evolution) et le WiMAX.

III.4.1 Le réseau LTE :

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

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1.4MHz à 20MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbps en « downlink », alors que la "vraie 4G " offre un débit descendant atteignant 1Gbps .

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences .Le recours à des techniques d'antennes

multiple(déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMAX) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [3].

IV. Conclusion :

La mise en œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logicielle s'ajoutant aux réseaux GSM déjà existants .L'évolution du GSM vers GPRS prépare à l'introduction des réseaux de la troisième génération l'UMTS. En ce qui concerne l'infrastructure, des modifications doivent être effectuées pour l'intégration du GPRS ou l'UMTS par l'ajout d'autres équipements, et le chargement des logiciels.

Le réseau GPRS constituait finalement une étape vers le réseau UMTS .Sur le plan technique, les architectures des trois réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et interconnectés afin d'optimiser la qualité de service rendue à un abonné.

Pour les réseaux 4G(LTE), nous avons présenté un bref aperçu et dans le prochain chapitre, nous allons le détailler.

Chapitre 2 : Etude Détaillée sur la 4G LTE

I. Introduction :

Dans le 1^{er} chapitre nous avons décrit les étapes majeures du développement des réseaux mobiles et leurs évolutions dans le temps pour arriver au LTE. Ces rappels permettant de mieux appréhender le contexte d'émergence du LTE, qui constitue un système dit la quatrième génération.

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

II. Buts de la 4G LTE :

La 4^{ème} génération vise à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparents pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP. [3]

Les principaux objectifs visés par les réseaux de la 4^{ème} génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le coût de signalisation.

III. Architecture :

Le réseau de mobiles de la quatrième génération est constitué d'un cœur de réseau EPC (Evolved Universal Packetcore) et d'un réseau d'accès E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) figure 8.

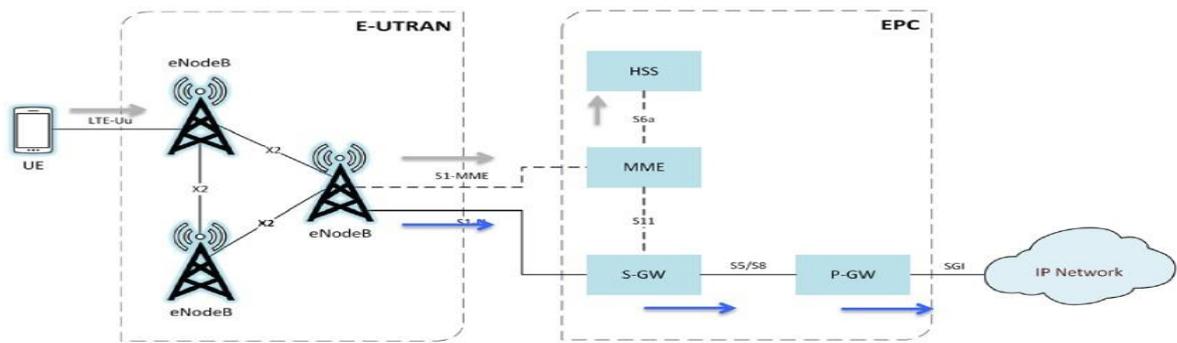


Figure II.1 : Architecture de réseaux LTE

Le réseau d'accès E-UTRAN assure la connexion des mobiles. Le cœur de réseau EPC interconnecte les réseaux d'accès et fournit l'interface au réseau IP. Il assure l'attachement des mobiles et l'établissement des supports (bearers). [4]

III.1 Réseau d'accès E-UTRAN :

Le réseau d'accès appelé « E_UTRAN » est simplifié par rapport à ceux des réseaux 2G(BSS) et 3G(UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB» avec liaison en fibres optiques est des liens IP reliant les eNodeB entre eux (lienX2). Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radion Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué. [4]

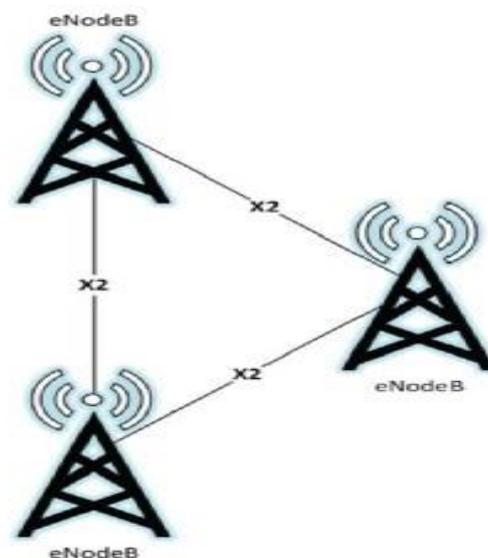


Figure II.2 : E-UTRAN

III.1.1 eNodeB :

L'entité eNB est responsable de la gestion des ressources radioélectrique et elle transfère les données de trafic provenant du mobile vers l'entité SGW. Le eNB effectue la compression et le chiffrement des données de signalisation échangée avec le mobile et en utilisant le MME sélection, le eNB va sélectionner l'entité MME (Mobility Management Entity) du réseau cœur auquel s'attache le mobile.

L'entité eNB possède les interfaces suivantes (Figure 8) :

- LTE-UE avec le mobile UE. Cette interface est utilisée pour la connexion du mobile à l'entité eNB. Elle supporte le trafic du mobile et la signalisation échangée entre le mobile et l'entité eNB. Cette signalisation supporte la signalisation échangée entre le mobile et l'entité MME du cœur de réseau.
- X2 avec les autres entités eNB. Cette interface est utilisée pour la mobilité intra E-UTRAN et pour l'échange d'information de charge de la cellule. Elle supporte le trafic du mobile et la signalisation échangée entre deux entités eNB.
- S1-MME avec l'entité MME du cœur de réseau. Cette interface est utilisée pour l'établissement du support (bearer) radioélectrique, pour le paging et pour la gestion de la mobilité. Elle supporte la signalisation échangée entre l'entité MME et l'entité eNB.
- S1-U avec l'entité SGW du cœur de réseau. Cette interface supporte uniquement le trafic du mobile. [4]

III.2 Le cœur de réseau EPC :

EPC (Evolved Packet Core) est le cœur du système haut débit LTE, utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distant, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

Le réseau cœur EPC comprend les entités suivant : MME, SGW, PGW, HSS. [4]

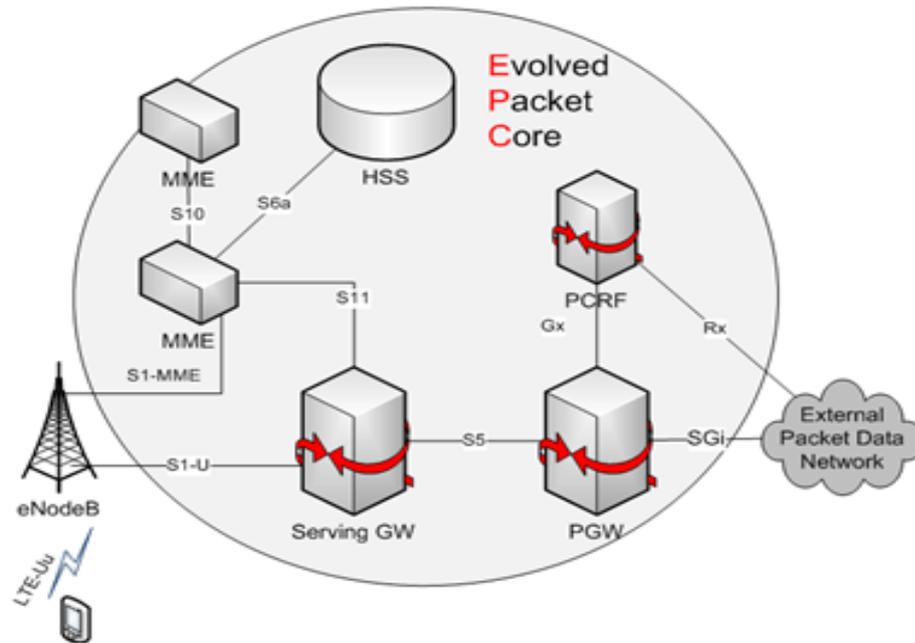


Figure II.3: l'infrastructure du EPC

III.2.1.1 MME : Mobility Management Entity

L'entité MME constitue le tour de contrôle du réseau LTE. Elle autorise l'accès des mobiles au réseau LTE et contrôle l'établissement des supports pour la transmission des données de trafic.

Chaque entité MME est identifiée par les paramètres MMEGI (MME Group identity) et MMEC (MME Code), dont l'ensemble constitue l'identité MMEI (MME Identity).

L'entité MME est responsable de l'attachement et détachement du mobile. [4]

Le MME possède les interfaces suivantes (Figure 8) :

- S1-MME avec l'entité eNB du cœur de réseau.
- S6a avec l'entité HSS. Cette interface supporte la signalisation permettant l'accès aux données du mobile.
- S10 avec l'entité MME. Cette interface supporte la signalisation échangée lors d'une mobilité nécessitant le changement d'entité MME.
- S11 avec l'entité SGW. Cette interface supporte la signalisation permettant l'établissement du support entre les entités eNB et SGW.

III.2.1.2 HSS : *Home Subscriber Service*

Base de données similaire au HLR en GSM/WCDMA réseau cœur qui contient des informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de contrôle et la session management. Elle est principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit en fournit une localisation détaillée à l'utilisateur. [4]

Le HSS possède les interfaces suivantes (Figure 8) :

- S6a avec l'entité MME. Cette interface supporte la signalisation permettant l'accès aux données du mobile.

III.2.1.3 SGW : *Serving Gateway*

Les entités SGW (Serving Gateway) sont également organisées en groupes pour assurer l'équilibrage de charge des entités SGW, toutes les entités eNB d'un domaine doivent avoir accès à chacune des entités SGW du même domaine. Il transfère les données entrantes provenant de l'entité PGW.

Le SGW remet les séquences, les données de trafic lors d'une mobilité inter E-UTRAN.

Elle constitue le point d'ancrage pour la mobilité intra système (mobilité à l'intérieur du réseau 4G) à condition que le mobile ne change pas de groupe. Dans le cas contraire, l'entité PGW assure cette fonction. [4]

Le SGW possède les interfaces suivantes (Figure 8) :

- S11 avec l'entité MME.
- S5 avec l'entité PGW. Cette interface est utilisée pour l'établissement d'un support entre ces deux entités. Elle supporte la signalisation échangée avec l'entité PGW et le trafic du mobile.
- S1-U avec l'entité eNB.

III.2.1.4 PGW : *Packet-SwitchGet Way*

PGW est le routeur de passerelle assurant la connexion du réseau LTE au réseau Internet. Lorsque l'attachement, PGW attribue l'adresse IPv4 ou IPv6 au mobile et elle constitue le point d'ancrage pour la mobilité inter SGW.

L'entité PGW héberge la fonction PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) qui applique les règles relatives au trafic du mobile, concernant le filtrage des paquets IP, la taxation et la qualité de services à appliquer au support à construire. [4]

Le PGW possède les interfaces suivantes (Figure 8) :

- S5 avec l'entité avec SGW.
- Gx avec l'entité PCRF . Cette interface supporte la signalisation permettant à l'entité PGW de récupérer les règles à appliquer au trafic du mobile.
- SGi avec le réseau internet (PDN). Cette interface supporte le trafic (paquet IP) du mobile

III.2.1.5 PCRF : *Policy Charging and RulesFunction*

L'entité PCRF (Policy Charging and RulesFunction), extérieur au réseau LTE, fournit à la fonction PCEF de l'entité PGW les règles à appliquer. [4]

IV. Interface et protocoles :

IV.1 Architecture générale :

La figure ci-dessous montre une vue simplifiée de l'architecture EPS. Tous les nœuds et interfaces réseaux sont représentés ici. Il met en évidence les interactions et les signaux au niveau de l'utilisateur, ainsi que la connectivité des données et les aspects architecturaux

L'interface X2 ne doit pas être considérée comme une simple interface point à point entre deux eNodeB, mais comme une interface maillée. Cette interface optionnelle a été définie pour le transport

Transfère les paquets de données entre les eNodeB et limite la perte de paquets de données dans le cas de la mobilité des utilisateurs In-E-UTRAN.

L'interface S1 n'est pas une interface simple entre eNodeB et MME / Serving Gateway, car eNodeB peut se connecter à un ou plusieurs MME. Cette flexibilité est appelée S1-flex (équivalent à Iu-flex 3G / UMTS). Étant donné que le MME et le serveur GW sont déployés dans des boîtes physiques distinctes, l'interface S1 est divisée en deux parties:

- Interface S1-U (utilisée pour le plan utilisateur), utilisée pour transmettre les données utilisateur entre eNodeB et la station de base.

Service GW.

- Interface S1-C (utilisée pour le plan de contrôle), qui transmet uniquement la signalisation entre eNodeB et MME

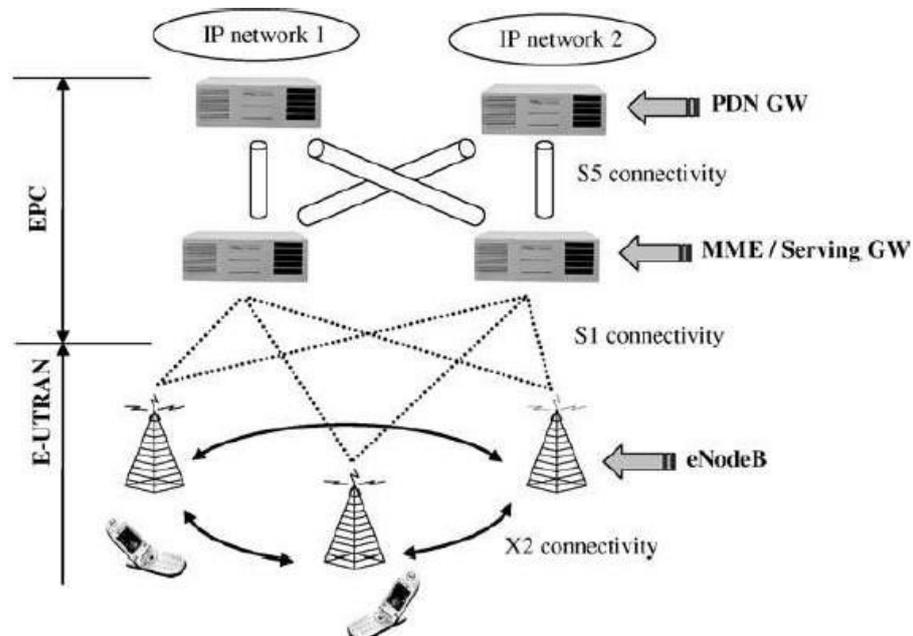


Figure II.4: Architecture de l'EPS – Les connectivités dans le plan usager et contrôle.

IV.2 Les interfaces du réseau E-UTRAN :

Cette section fournit des informations générales sur les interfaces E-UTRAN (S1 et X2). Le modèle d'interface réseau E-UTRAN comprend deux parties principales : la couche réseau de transmission (correspondant à la transmission des données du réseau d'accès) et la couche réseau radio, qui contient des protocoles de niveau supérieur pour l'interface. De plus, chaque interface possède un plan utilisateur et un composant de plan de contrôle. Le plan utilisateur transporte toutes les données utilisateur et la signalisation de la couche application, telles que les paquets de données SIP (Session Initiation Protocol) ou RTCP (Real-Time Transport Protocol) Control Protocol. Le plan de contrôle gère tous les messages et procédures liés aux fonctions prises en charge par l'interface radio. Des exemples de ces messages comprennent les messages de contrôle pour la gestion de la transmission ou l'établissement du support.

La couche physique est commune au plan utilisateur et au plan de contrôle. Le plan utilisateur et le plan de contrôle utilisent des protocoles spécifiques qui nous

permettent de définir des piles et des supports de transport différents et indépendants pour chaque plan.

Les informations du plan de contrôle sont plus sensibles à la sécurité, à la fiabilité et à la perte d'informations, tandis que les informations du plan utilisateur peuvent s'appuyer sur des protocoles de routage plus simples et moins sécurisés. L'interface réseau E-UTRAN est une norme ouverte définie par 3GPP. Cette conformité standard ouverte permet aux différents fournisseurs de fabriquer des eNB, de les déployer dans un seul réseau et de les interconnecter via l'interface X2, ou de les interconnecter avec des nœuds MME ou S-GW via l'interface S1. [5]

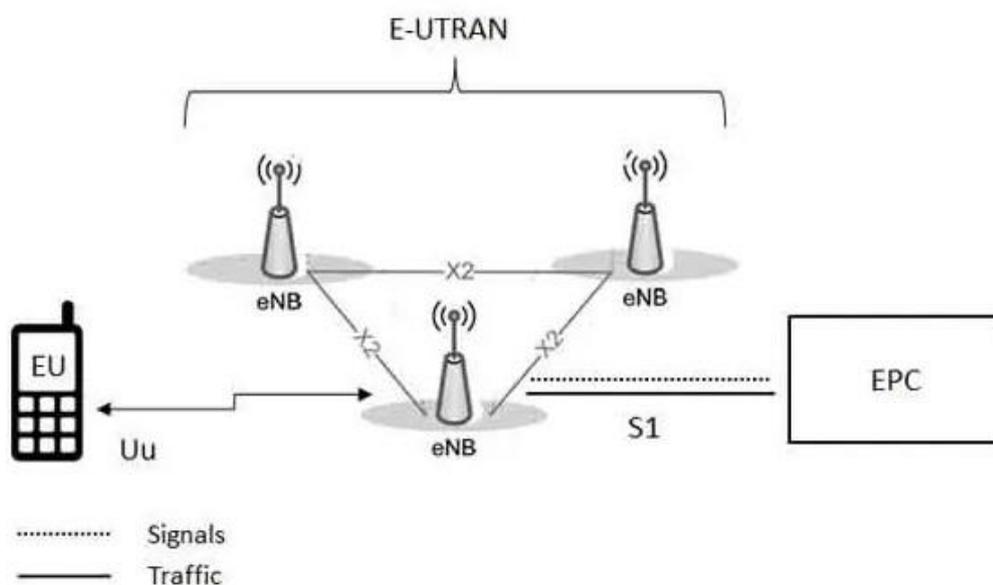


Figure II.5 : Interface E-UTRAN

IV.2.1 L'interface S1 :

L'interface S1-U (ou l'interface du plan utilisateur S1) transmet des paquets de données utilisateur entre l'eNodeB et le serveur GW. Cette interface utilise une simple pile de protocoles de transmission «GTP sur UDP / IP», qui encapsule uniquement les données utilisateur. Il n'y a pas de contrôle de flux ou de contrôle d'erreur, et aucun autre mécanisme ne peut garantir la transmission de données sur l'interface S-U.

L'interface S1-C (ou l'interface du plan de commande S1) est utilisée pour la signalisation. Il prend en charge de nombreuses fonctions et processus entre eNodeB et MME. L'interface S1-C doit offrir un haut degré de fiabilité pour éviter les retards dans la retransmission des messages et l'exécution du processus de planification. Selon

le déploiement du réseau de transmission, la transmission UDP / IP n'est pas suffisamment fiable dans certains cas. Sinon, Si le réseau de transport n'appartient pas à l'opérateur mobile, la qualité de service (QoS) peut ne pas toujours être garantie. Par conséquent, l'interface S1-C utilise une implémentation de bout en bout de la couche de transport réseau.

Dans l'architecture LTE, ce service est fourni par SCTP (Stream Control Transmission Protocol). Dans l'interface S1, SCTP est utilisé dans la couche réseau IP habituelle. Chaque instance de l'interface S1 n'a qu'une seule association. Dans cette relation, un seul flux SCTP est utilisé pour tous les processus communs entre les deux périphériques (par exemple, le processus de pagination). Comme pour toutes les procédures dédiées y compris toutes les procédures applicables à un contexte de communication spécifique - elles sont prises en charge sur un nombre limité de flux SCTP.

Les réseaux de transmission des interfaces S1 et X2 utilisent tous deux la couche réseau IP pour le plan usager, et plan de contrôle. En plus des services basiques garantis par ce protocole. [5]

IV.2.2 L'interface S1 Flexibility :

Dans les réseaux 2G et 3G traditionnels, la connectivité entre le réseau cœur et le réseau d'accès a été définie selon une hiérarchie « un-à-plusieurs ». Dans la Release 5, un nouveau dispositif a été introduit, rendant flexible l'interconnexion entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Ce même principe a été introduit, dès le début, dans l'architecture du LTE. Ce standard porte le nom de «S1-flex». Comme présenté dans la figure 13, l'interface S1-flex permet à un eNodeB de se connecter à plus d'un seul nœud MME ou Serving GW. De cette même figure, pour simplifier le MME et Serving GW sont combinés en un seul nœud, mais la S1 flexibility s'applique à la fois au MME et le Serving GW. [5]

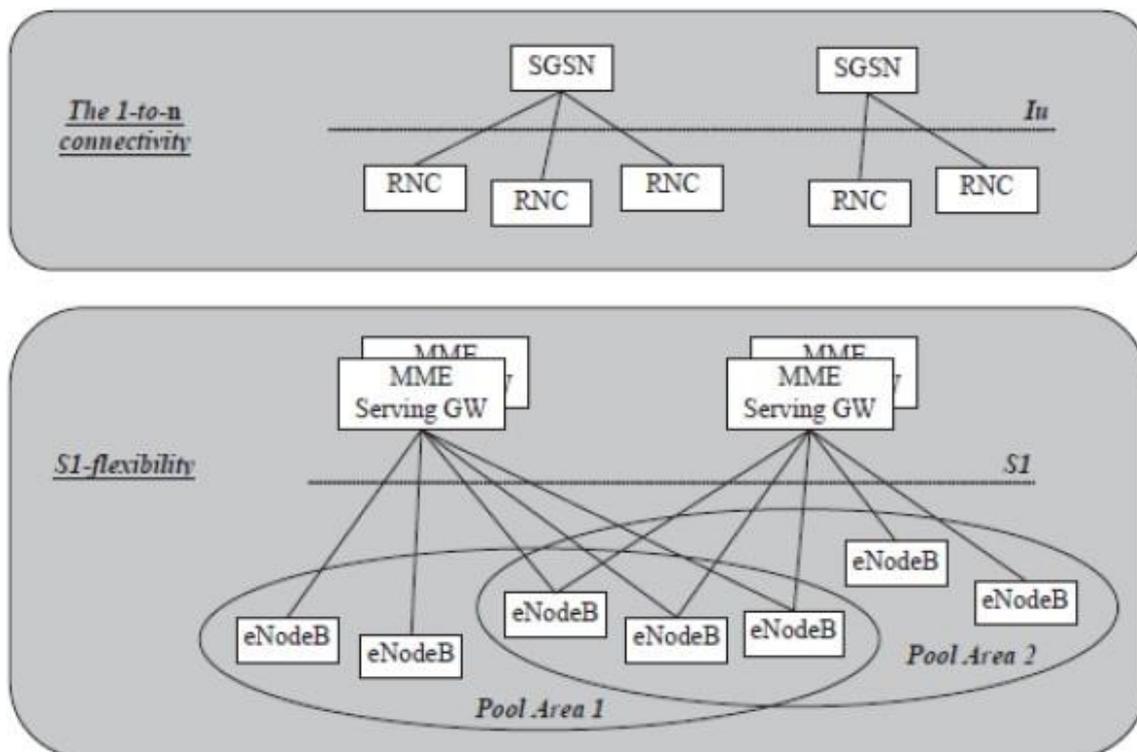


Figure II.6 : La connectivité Access-Core traditionnelle et le S1-flex

IV.2.3 L'interface X2 :

Le rôle l'interface X2-U (X2 User plane interface – L'Interface X2 du plan usager) est de transporter les paquets de données entre eNodeBs. Elle est utilisée dans une durée limitée en temps, quand le terminal se déplace d'un eNodeB à un autre. Par ailleurs, cette interface permet de transférer les paquets de données mis dans les mémoires tampons (buffers) entre eNodeBs. X2-U utilise le même protocole de tunneling GTP, déjà utilisé dans l'interface S1-U.

L'interface X2-C (X2 Control plan interface – l'interface X2 du plan de contrôle) est une interface de signalisation. Elle supporte un groupe de fonctions et de procédures entre eNode -Bs. Les procédures de l'interface X2-C sont très limitées en nombre et elles sont toutes relatives à la mobilité des usagers entre eNodeB, dans le but d'échanger les informations sur le contexte de l'utilisateur entre les différents nœuds (porteurs alloués, sécurité...).

Par ailleurs, l'interface X2-C propose la procédure du « LoadIndicator » dont le but est de permettre à un eNodeB de signaler sa condition de charge aux eNodeBs voisins. Le but de cette procédure est d'aider à supporter la gestion du balancement de la charge ou d'optimiser les seuils du handover ainsi que les décisions du handover. Le besoin

d'un transport de signalisation fiable entre les nœuds est le même que dans l'interface S1-C. C'est pour cette raison que l'interface X2-C utilise aussi une couche de transport type « SCTP over IP ». [5]

IV.3 Les protocoles de l'interface radio :

L'interface radio est distinguée de la transmission filaire par le coût et la rareté du spectre, ainsi le taux d'erreur très élevé de la transmission. A cause de ces caractéristiques, la pile protocolaire de l'interface radio est très spécifique. Il est composé des couches suivantes :

- PHY (PhysicalLayer).
- MAC (Medium Access Control) en charge de l'ordonnancement des paquets et la répétition rapide.
- RLC (Radio Link Control) est responsable de la transmission fiable de données.
- PDCP (Packet Data Convergence Protocol) qui fournit le protocole de compression d'entête et implémente le cryptage de données.

L'interface radio E-UTRAN est décrite selon le modèle OSI. Avec une couche physique (Layer1) qui implémente la partie PHY et une couche liaison de données qui supporte le RLC et MAC. [6]

IV.3.1 Canaux logiques :

Les canaux logiques correspondent aux services de transfert de données fournies par les protocoles des couches supérieures de l'interface radio. Il n'y a que deux types de canaux logiques : les canaux de contrôle pour transmettre les informations du plan de contrôle et les canaux de trafic pour transmettre les données utilisateur à partir du plan utilisateur. Chaque canal de ces deux catégories correspond à un certain type de flux d'informations.

Le tableau suivant présente les différents canaux logiques définis pour l'interface radio du LTE.

Canal logique	Acronym	Canal de contrôle (plan de contrôle)	Canal de trafic (plan usager)	Usage	Exemples d'informations transmises
Broadcast Control Channel	BCCH	X		Pour la diffusion d'informations de contrôle sur la cellule	Identifiant de la cellule, largeur de bande DL...
Paging Control Channel	PCCH	X		Pour la notification d'appels	Identifiant de l'UE dans la zone de localisation, type d'appel
Common Control Channel	CCCH	X		Pour la transmission de la signalisation, quand elle ne peut être transmise sur un canal dédié (DCCH)	Demande d'établissement d'une connexion RRC
Dedicated Control Channel	DCCH	X		Porte la signalisation dédiée à un utilisateur (RRC et NAS)	Message commandant à l'UE de réaliser un handover
Dedicated Traffic Channel	DTCH		X	Porte les informations de trafic dédiées à un utilisateur	Données d'un flux de streaming vidéo (ex. IP/ UDP/RTSP)

Table II.1: Canaux logiques fournis par la couche MAC

IV.3.2 Canaux de transport :

Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristiques sont transférés à travers l'interface radio. Par exemple, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de codage canal, la protection CRC qui est utilisée, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio, etc. Cet ensemble d'informations est connu sous le nom de 'Transport Format'. Comme décrit dans les spécifications.

Plusieurs canaux de transport sont définis dans l'interface radio du LTE pour les sens montant et descendant, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant.

[7]

Canal de transport	Acronyme	Sens	Caractéristiques	Usage	Exemples d'information transmise
Broadcast Channel	BCH	DL	Ressources, périodicité et format de transport fixes et prédéfinis Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule	Pour la diffusion d'informations sur la cellule Le BCH porte exclusivement le BCCH, et en particulier le <i>Master Information Block (MIB, voir remarque)</i>	MIB (BCCH) : largeur de bande DL sur la cellule, numéro de trame système (SFN, System Frame Number)
Downlink Shared Channel	DL-SCH	DL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources et l'utilisation de la réception discontinue par l'UE (DRX) Peut bénéficier de beamforming, ou être transmis de manière omnidirectionnelle	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager Utilisé également pour transmettre les informations de cellule non portées par le BCH	Canaux DCCH, DTCH, CCCH Canal BCCH : diffusion des informations cellules autres que celles du MIB
Paging Channel	PCH	DL	Doit être transmis sur toute la zone de couverture de la cellule Partage les memes ressources physiques que le DL-SCH	Pour diffuser les informations de paging sur l'ensemble de la cellule	Canal PCCH
Random Access Channel	RACH	UL	Basé sur l'accès partagé aléatoire (« à contention ») qui implique un risque de collision entre plusieurs UE lors de la procédure d'accès au réseau	Pour l'établissement d'une connexion RRC avec la station de base, son rétablissement, lors d'un handover ou pour transmettre des données (ex. <i>Buffer Status Report</i>) ou encore sur ordre de la station de base si la synchronisation en voie montante a été perdue	Préambule choisi de façon aléatoire par l'UE dans un jeu de préambules prédéfinis
Uplink Shared Channel	UL-SCH	UL	Permet l'HARQ et l'adaptation de lien, l'allocation dynamique ou semi-persistante de ressources	Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager	Canaux DCCH, DTCH, CCCH

Table II. 2: Canaux de transport fournis par la couche physique.

IV.3.3 Canaux Physique :

Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux de transport sur l'interface radio. Leur structure dépend étroitement des caractéristiques de l'interface physique OFDM.

Les tableaux suivants présentent de manière synthétique les différents canaux physiques, pour la voie montante et la voie descendante respectivement. [7]

Canal physique	Acronyme	Caractéristiques	Usage
Physical Uplink Shared Channel	PUSCH	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien	Pour la transmission du UL-SCH ; porte également les informations de contrôle du PUCCH en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps
Physical Uplink Control Channel	PUCCH	N'est jamais transmis simultanément au PUSCH d'un même UE (en Release 8)	Pour la transmission d'informations de contrôle nécessaires à l'HARQ (acquittements) et à l'allocation de ressources
Physical Random Access Channel	PRACH	Est formé d'un préambule spécifique à l'UE	Porte le RACH

Table II. 3: Canaux physiques pour la voie montante.

Canal physique	Acronyme	Caractéristiques	Usag e
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	Ses paramètres de transmission sont déterminés dynamiquement par l'adaptation de lien.	Pour la transmission du DL-SCH et du PCH
Physical Broadcast Channel	PBCH		Pour la transmission du BCH
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	Le PCFICH est placé dans le premier symbole OFDM de chaque sous-trame	Indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	Le PDCCH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame	Pour la transmission d'informations de contrôle : schéma de modulation et codage et allocation de ressources du DL-SCH et PCH, informations d'HARQ pour le DL-SCH Schéma de modulation et codage, allocation de ressources et informations d'HARQ pour le UL-SCH Ordre de déclenchement d'une procédure d'accès aléatoire
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	PHICH	Le PHICH est placé dans les premiers symboles OFDM de chaque sous-trame	Porte les acquittements d'HARQ

Table II. 4: Canaux physiques pour la voie descendante.

IV.4 Couche PHY :

Le rôle de la couche PHY est de fournir des services de transmission de données pour les couches RLC et MAC de haut niveau via des canaux physiques. La figure suivante décrit le modèle de couche physique de l'eNodeB pour le canal de transmission SCH. Des modèles similaires existent pour la liaison montante et d'autres canaux de transmission déjà mentionnés. Lors de chaque TTI (intervalle de temps de transmission), la couche physique reçoit un certain nombre de "blocs de transport" pour la transmission. Chaque "bloc de transmission" ajoutera un CRC (période de contrôle de redondance) ou un ensemble de bits pour détecter les erreurs de transmission. Ensuite, utiliser un codage de canal robuste pour protéger ces blocs. A

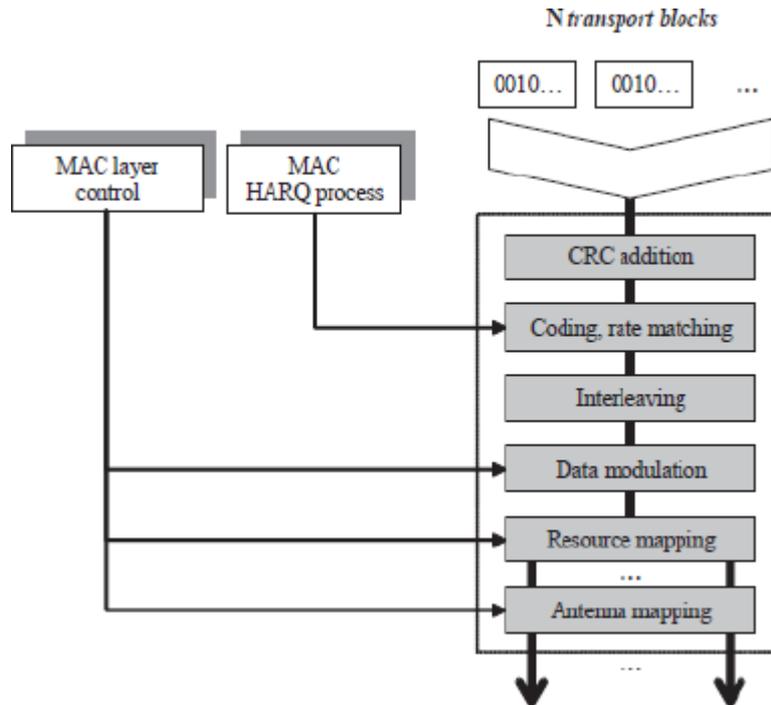


Figure II.7 : Le modèle de la couche PHY du Downlink Shared Channel

ce stade, sous le contrôle du processus MAC HARQ (Hybrid ARQ), le processus ajuste le taux de codage de canal en fonction des informations fournies par l'entité réceptrice.

Le processus 'Interleaving' ou d'entrelacement améliore la robustesse contre les erreurs de transmission radio. Ce processus permet au décodeur de canal de récupérer exactement les mêmes bits que les bits d'origine transmis. Le processus de modulation des données est sous le contrôle de l'ordonnanceur MAC. Pour les opérations CRC et d'entrelacement, la couche PHY utilise des paramètres statiques et des algorithmes spécifiés par la norme E-UTRAN.

V. Caractéristique de la 4G :

V.1 Les fréquences utilisées :

Les bandes de fréquences hertziennes prévues par les normes 3GPP pour le LTE et le LTE Advanced sont très nombreuses (plus de 30) et s'étalent de 600 MHz à 3,8 GHz. Celles situées dans la zone des 800 et 900 MHz sont utilisables sur tout le territoire et particulièrement dans les zones rurales car elles ont une plus grande portée que les ondes radio de fréquences plus élevées. Le rayon de couverture de chaque cellule est variable, allant de quelques centaines de mètres (débits optimaux en zones urbaines) jusqu'à 30 à 50 km (zones rurales). Dans l'Union européenne, les discussions sur l'utilisation de la

bande de fréquence des 800 MHz qui était auparavant utilisée pour la télévision analogique UHF (canaux 61-69), ont abouti à l'affectation de ces bandes spectrales aux réseaux mobiles 4G LTE. Ces canaux sont disponibles en France depuis le début 2012, suite à la libération de ce que l'on appelle le « dividende numérique », obtenue par le passage à la TV numérique (TNT) de tous les États membres européens. Dans les villes et zones urbaines, les bandes hertziennes affectées, au LTE ont des fréquences plus élevées (entre 2,5 et 2,7 GHz en France et au sein de l'UE). Dans ce cas, la taille de la cellule radio (zone de couverture) sera de quelques kilomètres ou moins (smallcells). Pour pouvoir utiliser les bandes des 900 et 1 800 MHz, il est nécessaire d'effectuer un « réaménagement » du spectre en libérant des canaux initialement attribués au GSM (2G) et à l'UMTS (3G). Dans de nombreux pays européens, certains opérateurs ont déjà réutilisé une partie de la bande de fréquence des 1 800 MHz pour le LTE ; cette bande de fréquence est la plus utilisée dans les réseaux 4G/LTE européens fin 2012. En France, l'autorisation d'utiliser une partie de cette bande de fréquence des 1 800 MHz a été accordée à Bouygues Telecom par l'Arcep le 14 février 2013 avec une date de mise en service fixée au 1er octobre 2013. Cette bande de fréquence aura donc pendant quelques années une utilisation mixte 2G (GSM) et LTE. Bouygues Telecom a, par exemple, commencé par attribuer 10 MHz duplex de sa bande de fréquence des 1800 MHz au LTE, puis à partir d'avril 2014 il a, dans certaines zones géographiques, élargi à 15 MHz la part affectée au LTE (au détriment du GSM). [8]

V.2 Débits théoriques et débits réels :

Par rapport au débit binaire théorique publié et défini par la norme LTE, le débit de données réel observé par les utilisateurs du réseau LTE peut être fortement réduit. Les principaux facteurs affectant le débit effectif sont les suivants :

- Le nombre d'utilisateurs actifs partageant la bande passante dans une cellule LTE (surface rayonnante de l'antenne): plus il y a d'abonnés en communication, plus le débit unitaire de chaque abonné est faible;
- La bande passante allouée à l'opérateur du réseau. Le débit utile total est proportionnel à cette bande passante, allant de 1,4 MHz à 20 MHz en LTE, et jusqu'à 100 MHz en LTE Advanced.

Type d'antenne utilisé, côté terminal et côté réseau (antenne relais): le débit binaire maximal 300 Mbit / s suppose que des antennes 4×4 MIMO (quadruples)

sont utilisées aux deux extrémités de la liaison radio LTE (minuscule pour les téléphones mobiles ou les téléphones intelligents) , En raison de leur petite taille). A noter :LTE Advanced peut atteindre ou dépasser 300 Mbit / s en utilisant uniquement des antennes doubles MIMO 2×2 ;

- La distance entre le terminal et l'antenne relais (du fait des interférences avec les cellules adjacentes, la vitesse à la périphérie de la cellule radio est beaucoup plus faible) et les conditions de réception radio : interférences, bruit, réflexions d'écho du bâtiment liées ...
- La localisation fixe (statique) ou "mobile" du terminal utilisateur, le trafic utile du terminal mobile est réduit
- La capacité de débit autorisée par la station de base (eNode B) et le nombre maximum d'utilisateurs simultanés, ainsi que la vitesse de la liaison cuivre ou optique reliant la station au cœur du réseau (réseau backhaul).

Le type et la catégorie du terminal affecteront également le débit maximal possible. Par exemple, les terminaux LTE de catégorie 1 (UE "User Equipment") ne prennent en charge qu'un débit binaire de 10 Mbit / s et une autre catégorie 3 supportera un retour de 100 Mbit / s. Plus la catégorie de terminal est élevée, plus le terminal est complexe (cher) et moins il y a d'autonomie (sous le même niveau technique et la même capacité de batterie) [8].

V.3 Débits et fréquences du réseau LTE :

L'évolution des débits suit une progression semblable à celle de la capacité de calcul. Chaque nouvelle technologie de réseaux mobiles augmente les débits et suscite une attente de débits supérieurs. Il était ainsi également clair dès 2004 que le LTE devrait fournir des très hauts débits. Au-delà des limitations capacitaires, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible.

L'établissement des standards de performances communément admis pour les réseaux 4G : 100 Mbps sur le lien radio descendant (antenne relais vers mobile), et 50Mbps maximum sur le lien montant (mobile vers antenne relais). La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700MHz aux Etats-Unis pour le réseau de version Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en

Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais).
[8]

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants :

- 100 Mbps en voie descendante pour une largeur de bande de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbps en voie montante pour une largeur de bande 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

V.4 Latence :

La latence est l'une des caractéristiques les plus importantes liées à la vitesse et elle se mesure en millisecondes. Plus le taux de retard ou le délai de réponses est faible, plus l'interaction entre l'appareil et le réseau sur lequel il se trouve, est rapide.

Les réseaux 4G LTE sont très rapides; en fait, ils sont 10 fois plus rapides que les réseaux 3G existants, à un débit de 5 à 12 mégaoctets par seconde sur la liaison descendante à un débit de 2 à 5 mégaoctets par seconde aux appareils sans fil de transfert de données.

Le temps de retard est considérablement amélioré et peut être expérimenté en temps réel.

Le retard du système se traduit par sa capacité à répondre rapidement aux demandes des utilisateurs ou des services. Il est divisé en délai de plan de contrôle et délai de plan utilisateur.

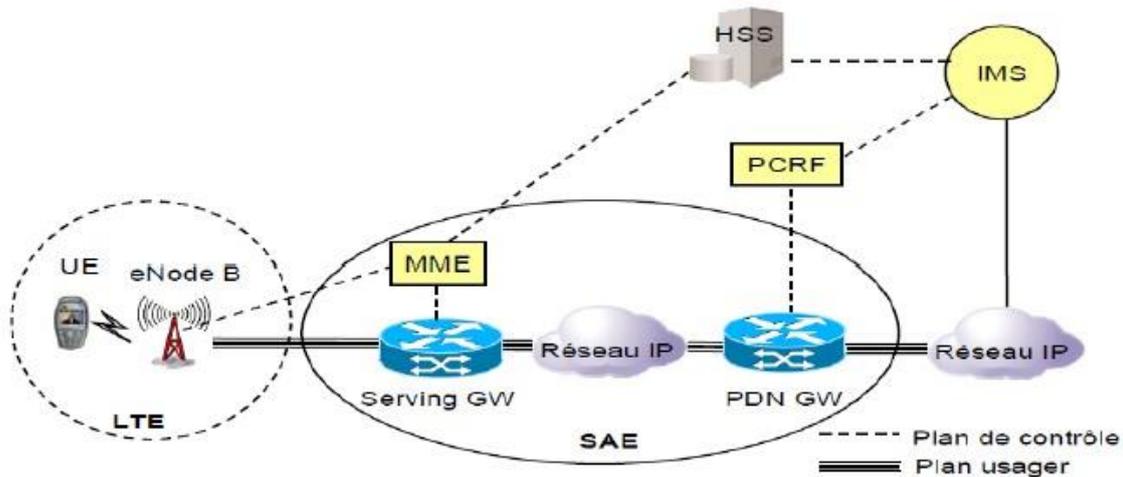


Figure II.8: le plan usager et le plan de contrôle

V.4.1 Latence du plan de contrôle :

L'objectif fixé pour LTE est d'améliorer le délai du plan de contrôle par rapport à l'UMTS en ayant un temps de transition entre l'état de veille de l'UE et l'état actif qui permet à l'établissement du plan d'utilisateur d'être inférieur à 100 millisecondes.

V.4.2 Latence du plan usager :

Le temps d'attente du plan utilisateur est défini par le temps de transmission du paquet de données entre la couche IP de l'UE et la couche IP du nœud de réseau d'accès, et vice versa. En d'autres termes, le temps d'attente prévu par l'utilisateur correspond au délai de transmission du paquet de données IP dans le réseau d'accès. L'objectif de LTE est que lorsque la charge du réseau est faible, le délai du plan utilisateur est inférieur à 5 ms et le paquet de données IP est petit.

Le tableau 5 montre les deux types de retards qui existent dans les réseaux LTE et leurs différences dans le domaine duplex (FDD et TDD) :

Latence du plan usager (ms)		Latence du plan de contrôle pour la transition de l'état de veille à actif (ms)	
FDD	TDD	FDD	TDD
< 5	≤ 6.2 enDL ≤ 9.5 enUL	80	85

Table II.5: La latence pour chaque multiplexage

V.5 Codage et sécurité :

L'utilisation du codage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est le type descendant "Frequency Division Multiple Access" (AMRF ou anglais FDMA) et la technologie de codage radio SC-FDMA (single carrier). Technologie de codage radio de type à accès multiple par répartition en fréquence utilisée pour la liaison montante au lieu de W-CDMA dans UMTS). OFDMA et ses variantes SC-FDMA proviennent du codage OFDM (par exemple, utilisé dans les liaisons ADSL et les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané des ressources spectrales (plusieurs bandes de fréquences distantes entre utilisateurs). OFDMA est compatible avec la technologie d'antenne MIMO.

V.6 Multiplexage:

V.6.1 Structure d'une trame LTE :

Il existe deux modes de réutilisation des fréquences : La spécification LTE fournit un fonctionnement en mode double : Multiplexage par répartition en fréquence (FDD) et multiplexage par répartition dans le temps (TDD). En mode FDD (Frequency Division Duplex), l'émission et la réception sont effectuées à des fréquences différentes. En mode TDD, l'émission et la réception passent à la même fréquence, mais à des moments différents. C'est le premier mode (FDD), qui fait l'objet de l'application française pour les appels téléphoniques. Il est également actuellement implémenté dans les équipements de télécommunications et déployé dans la plupart des premiers réseaux 4G LTE autorisés. Le second mode (TDD) fonctionne sur une bande de fréquences distincte, qui fera l'objet d'attributions ultérieures.

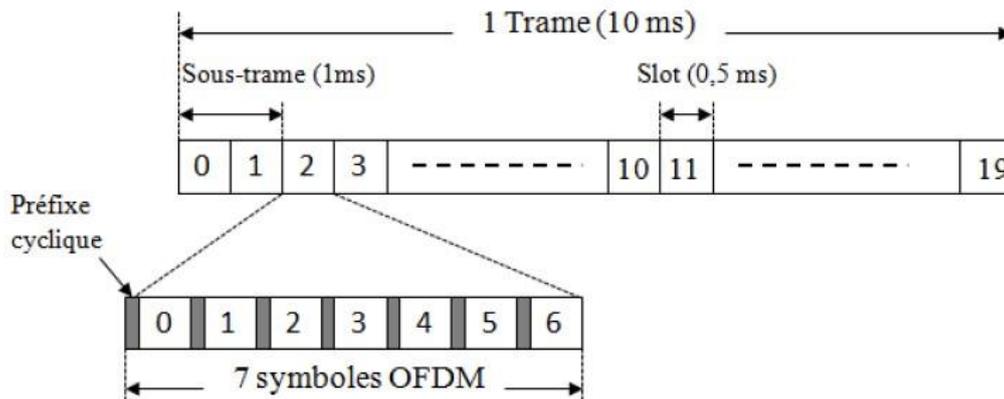


Figure II.9: Structure de la trame LTE

V.6.1.1 Structure de type 1 : FDD

FDD (Frequency Division Duplex) spécifie une méthode duplexage dans le domaine des télécommunications sans fil. L'envoi et la réception de données se font à des fréquences différentes ; en d'autres termes, la fréquence de porteuse du signal varie selon que la direction de la liaison est vers le haut ou vers le bas.

Cette technologie permet une transmission et une réception simultanées, ce qui est son principal avantage par rapport aux autres grandes techniques de duplexage (Time Division Duplex (TDD)).

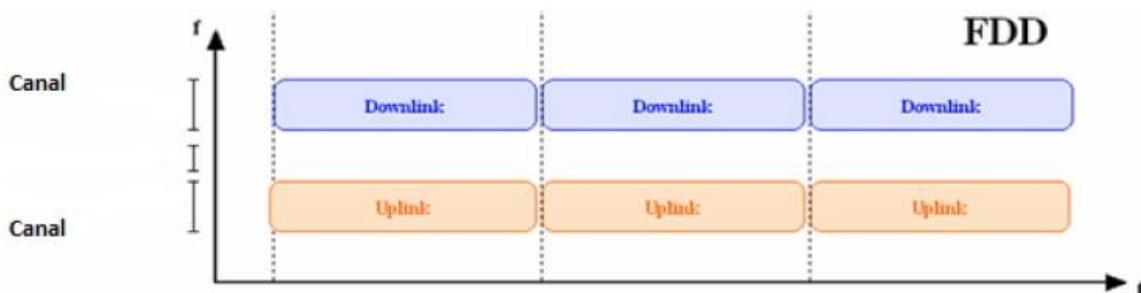


Figure II.10: Le duplexage FDD

V.6.1.2 Structure de type 2 : TDD

Time Division Duplex (TDD) est une technologie qui permet aux canaux de télécommunication (par exemple, les canaux radio) qui utilisent les mêmes ressources de transmission d'être transmis et reçus séparément dans le temps.

Cette technique présente un avantage certain dans le cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques. Lorsque le débit d'émission

augmente ou diminue, davantage ou moins de bande passante peut être allouée un autre avantage de cette technologie concerne les terminaux mobiles qui se déplacent à des vitesses très faibles ou dans des emplacements fixes. Dans ce cas, la technologie "beamforming" est très efficace pour les systèmes TDD.

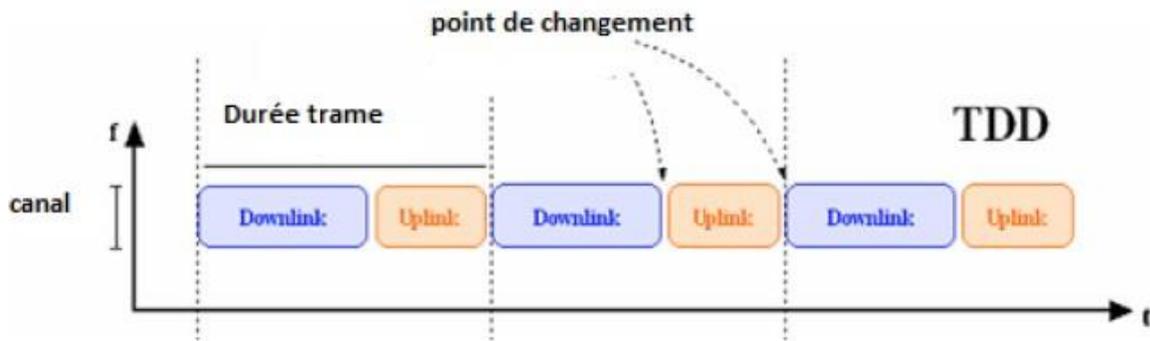


Figure II.11: Le duplexage TDD

LTE a l'avantage de s'adapter aux anciennes normes existantes. Par conséquent, la transition peut être effectuée via UMTS FDD (W-CDMA), UMTS TDD et GSM / EDGE. [8]

V.7 Les techniques d'accès :

L'interface radio LTE est basée sur OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en DL, et sur SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) en UL. Ces techniques sont bien adaptées pour un fonctionnement en bande passante flexible.

Cela permet aux opérateurs de déployer la LTE dans différentes régions avec différentes bandes de fréquences et les bandes passantes disponibles.

V.7.1 La technique OFDMA :

OFDMA est une technologie de codage radio de type «accès multiple par répartition en fréquence», particulièrement utilisée dans le réseau de téléphonie mobile LTE de la quatrième génération. D'autres systèmes de communication radio l'utilisent également, comme les versions avancées de la norme WIFI Wireless LAN (IEEE 802.11 version n, IEEE 802.22 et WiBro) et certaines normes de télévision numérique. Comme pour les autres technologies de codage permettant un accès multiple (TDMA, FDMA, CDMA), l'objectif est de partager une ressource radio commune (bande de fréquences) et d'en attribuer dynamiquement une partie à plusieurs utilisateurs.

V.7.2 La technique SC-FDMA :

Afin de réduire la consommation électrique du terminal, car le principal inconvénient de la technologie OFDMA est un PAPR assez élevé (rapport de puissance crête à moyenne). Ceci est dû à la nature de l'OFDM basé sur une transmission multi-porteuse. La puissance à un instant donné est égale à la somme de toutes les puissances sur chaque sous-porteuse. Un PAPR élevé réduira considérablement l'efficacité de la consommation d'énergie et peut dépasser la zone de linéarité de l'amplificateur RF, ce qui rend impossible l'adoption d'un tel schéma de transmission pour le sens montant, tout en respectant les contraintes de la durée de vie des batteries et du coût des composants des UEs. Un autre concept est proposé pour le sens montant, nommé SC-FDMA (Single Carrier– FDMA). Ce dernier est très semblable à l'OFDMA.

En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées. [8]

V.8 Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA :

En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées, comme montre la figure 19.

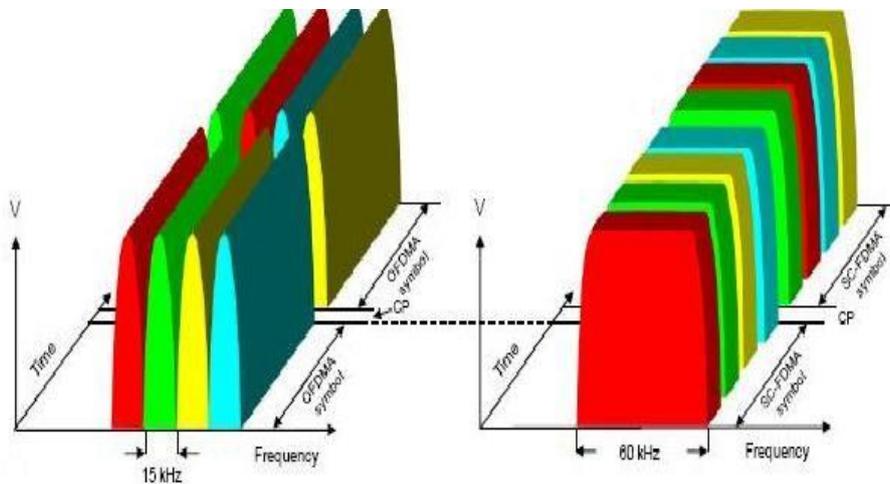


Figure 11.12: La différence OFDMA et SC-FDMA

V.9 Système MIMO :

Le but de la technique MIMO est d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil. Elle se base sur l'utilisation de plusieurs antennes à la fois du côté de l'émetteur et du côté du récepteur. Lorsqu'un tel système est constitué d'une seule antenne à l'émission et de plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO, lorsqu'il se compose de plusieurs antennes lors de l'émission et d'une seule antenne lors de la réception, il est dénommé MISO.

Enfin, s'il y a une antenne de chaque côté, le système est dit SISO.

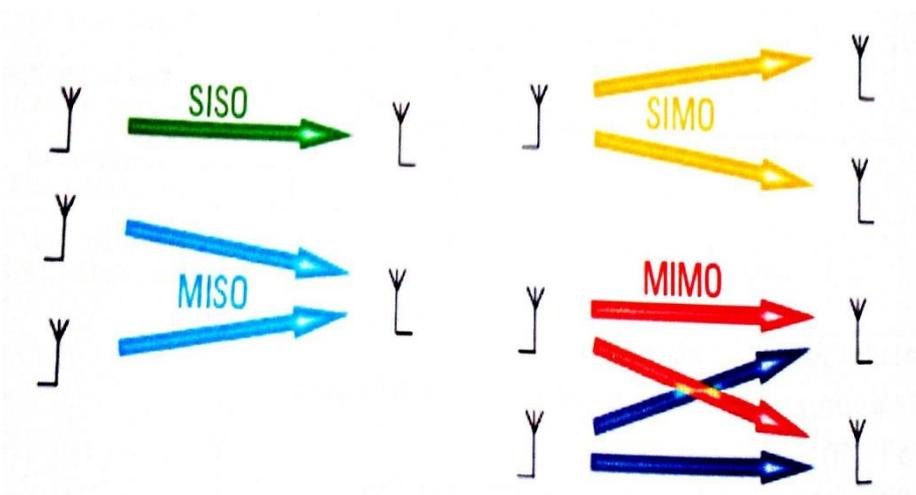


Figure II.13: Schéma représentatif des systèmes SISO, SIMO, MISO et MIMO.

La mise en œuvre d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des débits élevés. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité et a pour conséquence l'amélioration du rapport signal sur le bruit et donc du taux d'erreurs binaires.

V.10 La qualité de service (QoS):

V.10.1 Définition :

La qualité de service (QoS) ou Quality of service (QoS) est la capacité de transmettre un certain nombre de paquets dans une connexion entre un émetteur et un récepteur dans de bonnes conditions, qui peut être utilisée en plusieurs termes tels que disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets, etc.

Elle rassemble un ensemble de technologies mises en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur tous les types de réseaux.

V.10.2 But de la QoS:

L'objectif de la QoS est d'optimiser les ressources du réseau et de garantir que les applications ont de bonnes performances. La qualité de service sur le réseau permet de fournir aux utilisateurs des débits et des temps de réponses différenciés par l'application suivant les protocoles implémenté au niveau de la couche réseau.

Elle permet aux fournisseurs de services de s'engager formellement envers leurs clients en fonction des caractéristiques de transport des données d'applicatives sur leurs infrastructures IP.

Selon le type de service envisagé, la qualité peut résider dans :

- Le débit binaire (téléchargement ou diffusion vidéo).
- Le délai (pour les applications ou les appels téléphoniques).
- La disponibilité (accès aux services partagés).
- Le taux de perte de paquets.

V.10.3 Paramètres de la QoS:

Dans un réseau donné, la qualité de service sera évaluée en fonction des différents équipements qui composent le réseau et du trafic qui circule dans le réseau, etc.

Des applications multimédia telles que la voix-IP ou la vidéo à la demande, en plus des applications classiques, seront de plus en plus utilisées dans ce type de réseaux. Ces applications multimédias nécessitent un niveau minimum de qualité de service en termes de bande passante, de retard, de gigue ou de taux de perte de paquets [10].

Le développement du réseau Internet et le nombre d'utilisateurs connectés à ce réseau imposent le recours à des niveaux importants de QoS. Dans cette perspective, plusieurs groupes de travail ont vu jour pour les réseaux 4G. Les nouveaux besoins en termes de mobilité des utilisateurs la croissance des réseaux permettant le nomadisme des utilisateurs ont fait migrer le problème vers des réseaux sans fil

➤ **Le Débit ;**

Il définit le volume maximal qui peut être atteint en transmettant des informations (bits) par unité de temps (s) dans la communication entre l'émetteur et le récepteur.

➤ **La perte de paquet :**

Elle correspond aux octets perdus pendant la transmission de paquets. Elle s'exprime en taux de perte. Assez rarement, cela correspond au nombre de paquets non reçus par la destination lors de la communication. Cela peut être causé par un certain nombre de facteurs, principalement en raison de la congestion du réseau.

➤ **La gigue :**

Désigne les variations de latence des paquets. La présence de gigue dans les flux peut être causée par des changements d'intensité du trafic sur les liens de sorties commutateurs. En général, cela dépend du volume de trafic et du nombre d'appareils sur le réseau.

➤ **La bande passante :**

Il existe deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction du type de besoin exprimé par l'application :

- Le mode "burst" est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (par exemple lors d'un transfert de fichier).
- Le mode "stream" est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.

➤ **Le bearer :**

Le bearer EPS est un équivalent du contexte PDP en 2G/3G. Il représente un concept logique qui est établi entre le terminal et la PDN GW et qui agrège plusieurs flux data transportés entre les deux entités.

Il identifie de manière unique les flux de trafic recevant la même QoS entre le terminal et le PDN GW. Tous les flux associés au support EPS reçoivent le même traitement en termes de forwarding.

Il existe deux types de supports EPS:

- Le Default bearer, le premier bearer établi lorsque le terminal se connecte à un PDN, il reste actif durant toute la connexion.
- Les Dedicatedbearer, tous les bearers additionnels établis avec le même PDN [8].

VI. Conclusion :

Comme deuxième chapitre de notre mémoire, il a été primordial pour nous, de nous donner une idée de l'architecture générale du système LTE. C'est dans cette optique qu'intervient ce chapitre. Après un bref historique de la technologie 4G, nous avons présenté l'architecture générale du réseau LTE en insistant que l'architecture protocolaire des interfaces S1 et X2, les objectifs techniques et les caractéristiques de réseau de cœur et de réseau d'accès, ainsi que les principales techniques utilisées dans la couche physique du réseau LTE.

En effet, une bonne connaissance des architectures permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, qui leur permettent de fournir en même temps des services de bonne qualité. Le chapitre suivant se focalise sur une étude pratique de la planification et le dimensionnement du réseau LTE dans la Wilaya de d'Oran.

***Chapitre 3 :Planification d'un réseau 4G
LTE***

I. Introduction :

La planification est une discipline de l'intelligence artificielle qui vise le développement d'algorithmes produisant une liste de tâches à accomplir pour résoudre un problème donné. Les logiciels de planification qui incorporent ces algorithmes se nomment planificateurs. Classiquement, un planificateur prend trois entrées définissant ainsi le problème : une description de l'état initial de l'environnement, une description d'un but à atteindre, et un ensemble d'actions possibles. Il peut alors en extraire une solution.

Dans ce chapitre, nous allons entrainer comment planifier une zone selon l'outil de planification ATOLL pour atteindre notre objectif qui est la Planification et l'optimisation d'un réseau LTE au niveau de la Wilaya d'Oran.

II. DEFINITION D'UNE PLANIFICATION RADIO :

La planification radio permet de répondre aux objectifs stratégiques des opérateurs, en termes de zones et populations à couvrir. La planification radio commence par la définition des objectifs :

- Hypothèses générales sur le design de tout le réseau.
- Stratégie de déploiement (zones et populations).
- Prévisions en termes d'abonnées.
- Modèle du trafic.
- Distribution du trafic.
- Modèles de propagation.
- Qualité de service.
- Services à fournir (Voix, GPRS, HSDPA,LTE...).
- Hauteur et configuration d'un site standard.
- Technologie (OFDMA, MIMO..) et bande de fréquence.
- Réseau existant.

Après la définition des objectifs, nous avons utilisé des outils de planification pour simuler les scénarios de propagation, et ainsi produire un plan nominal radio. Ce plan nominal résume les objectifs de :

- Couverture
- Qualité
- Capacité

III. Processus de planification

Le processus de planification LTE est basé sur l'utilisation l'outil ATOLL. Il permet de réaliser de multiples prédictions. La figure suivante présente les étapes à suivre lors de la phase de planification :



Figure 8 : Processus de planification

III.1 Pré-Planification :

L'étape de planification préliminaire est l'étape de préparation avant de commencer la planification réelle du réseau. Nous devons collecter des informations sur la région : mode de vie, horaires de travail. Les normes de planification du réseau sont introduites dans l'outil en entrée :

- cartes morphologiques et topographiques
- la zone géographique à planifier
- Les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs...
- Trafic des utilisateurs, les heures de chargement du trafic.
- Les services attendus.

Ces paramètres ont été fournis par Mobilis.

III.2 Planification

L'objectif de l'étape de planification est de trouver les meilleurs emplacements pour eNodeB pour construire une couverture continue selon les exigences. La sortie de la phase de planification est :

- la couverture finale et détaillée.
- les plans de capacité.

III.3 Vérification :

La vérification est la phase qui suit l'installation du site, mais pas encore disponible pour les utilisateurs. Le but de cette phase est d'assurer un fonctionnement optimal du réseau.

- Faire du réglage des paramètres RF pour corriger les erreurs qui auraient pu survenir lors de l'installation.
- Test Drive, une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture, capacité et exigences de qualité.
- Vérifier les indicateurs de performance KPI.

III.4 Optimisation :

L'Optimisation du réseau est l'étape finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et résoudre leurs plaintes. Cette étape comprend de faire deux mesures au niveau du réseau et du contrôle de terrain. [9].

IV. Modèle de propagation :

Il est important de noter que les modèles de propagation dépend du type de zones comme Urbaines, suburbaines et rurales, il y a plusieurs types de modèles de propagation parmi ces modèles :

1. Modèle d'OKUMURA :

Le modèle de OKUMURA a été produit à la fin des années 60 à partir d'une grande quantité de mesure réalisée à Tokyo. C'est un modèle bien adapté au calcul de l'affaiblissement de parcours dans les villes, il est donné par l'équation suivante :

$$L_{oku}[dB] = L_s + A_{mu}(f, d) - G(h_b) - G(h_m) - G_{area}(f, env) \quad (3.1)$$

$$G(h_b) = 20 \log \left(\frac{h_b}{200} \right) \quad (3.2)$$

$$G(h_m) = \begin{cases} 10 \log(h_m/3) & h_m \leq 3m \\ 20 \log(h_m/3) & 3m < h_m \leq 10m \end{cases} \quad (3.3)$$

Où L_s est l'affaiblissement de parcours en espace libre tel que donné par l'équation :

$$L_s[dB] = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (3.4)$$

ou

$$L_s[dB] = 32,44 + 20 \log d [km] + 20 \log f [MHz] \quad (3.5)$$

avec:

$$f: 150MHz \rightarrow 1.920GHz$$

$$h_b: 30m \rightarrow 200m$$

$$h_m: 1m \rightarrow 10m$$

$$d: 1km \rightarrow 100km$$

d: Distance entre la station de base et le mobile (km)**f**: Fréquence de transmission (MHz)**h_b**: Hauteur de l'antenne de la Station de Base (m)**h_m**: Hauteur d'antenne de station mobile (m)**2. Modèle d'Okumura-Hata :**

Il fait suite au modèle d'OKUMURA, il a été développé par HATA pour faire abstraction de l'utilisation des courbes d'OKUMURA. Ce modèle est largement utilisé pour calculer l'atténuation du trajet dans les réseaux cellulaires dans ce cas l'atténuation est donnée par :

$$L_{OH}[dB] = A_{OH} + B_{OH} \log d [km] - a_{OH}(h_m) + C_{OH} \quad (3.6)$$

avec :

$$A_{OH} = 69.55 + 26.16 \log f [MHz] - 13.82 \log h_b \quad (3.7)$$

$$B_{OH} = 44.9 - 6.55 \log h_b \quad (3.8)$$

$$a_{OH} = \begin{cases} 8.29(\log(1.54 h_m))^2 - 1.1 & \text{grande villes, } 150 \leq f[MHz] < 300 \\ 3.2(\log(11.75 h_m))^2 - 4.49 & \text{grande villes } .300 \leq f[MHz] < 1500 \\ (1.1 \log f [MHz] - 0.7)h_m - (1.56 \log f [MHz] - 0.8) & \text{zones ouverte, banlieues, villes.} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$C_{OH} = \begin{cases} 0 & \text{moyennes et grande villes} \\ -2 \left(\log \frac{f[MHz]}{28} \right)^2 - 5.4 & \text{banlieues} \\ -4.78(\log f [MHz])^2 + 18.33 \log f[MHz] - 40.94 & \text{zone ouvert} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$f: 150MHz \rightarrow 1.5GHz$$

d : 1Km \rightarrow 20Km

d : Distance entre la station de base et le mobile (km)

f : Fréquence de transmission (MHz)

h_b : Hauteur de l'antenne de la Station de Base (m)

h_m : Hauteur d'antenne de station mobile (m)

3. Modèle de COST-HATA (COST231) :

Aussi appelé COST-231, c'est l'extension du modèle Okumura-Hata .ce modèle n'est applicable que dans les zones urbaines et des villes ; il reprend les mêmes conditions de validité que le modèle Okumura-Hata pour des :

f : 1.5GHz \rightarrow 2.5GHz

$$L_{C231}[dB] = A_{C231} + B_{C231} \log d [Km] - a_{C231}(h_m) + C_{C231} \quad (3.11)$$

avec:

$$B_{C231} = B_{OH}, a_{C231} = a_{C231}$$

$$A_{C231} = 46.3 + 33.9 \log f [MHz] - 13.82 \log h_b \quad (3.12)$$

$$C_{C231} = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{pour villes} \\ 3 \text{ dB} & \text{pour zones métropolitaines} \end{cases} \quad (3.13)$$

d : Distance entre la station de base et le mobile (km)

f : Fréquence de transmission (MHz)

h_b : Hauteur de l'antenne de la Station de Base (m)

h_m : Hauteur d'antenne de station mobile (m)

4. Le modèle propagation standard :

Formule expérimentale

$$Path Loss = k_1 + k_2 \log(D) + k_3 \log(H_{t_{xeff}}) + k_4 * DiffractionLoss + k_5 \log(d) * \log(H_{t_{xeff}}) + k_6 (H_{t_{xeff}}) + k_{clutter} f(clutter) \quad (3.14)$$

Ou

- K_1 : Valeur constante de perte de chemin de propagation.
- K_2 : $\log(d)$ facteur de correction.
- D : Distance entre le récepteur et l'émetteur (m).
- K_3 : facteur de correction $\log(H_{T_{xeff}})$.
- $H_{T_{xeff}}$: Hauteur de l'antenne de l'émetteur (m).

- K_4 : facteur de correction de perte de diffraction.
- K_5 : journal ($H_{T_{\text{eff}}}$) $\log(D)$ facteur de correction.
- K_6 : facteur de correction.
- $H_{R_{\text{eff}}}$: Hauteur de l'antenne du récepteur (m).
- K_{clutter} : facteur de correction de l'encombrement.
- $F(\text{clutter})$: Poids moyen de la perte du clutter
- **Calcul de $f(\text{clutter})$:**

L'utilisateur doit fixer le poids moyen de la perte du clutter $f(\text{clutter})$

$$f(\text{clutter}) = \sum L_i w_i \quad (3.15)$$

Ou

L_i : perte due au clutter

w_i : le poids

Dans notre cas on choisit se modèle

V. Pré-Planification :

V.1 Bandes de fréquences :

Lors du dimensionnement d'un réseau, l'opérateur doit choisir une bande de fréquence disponible tout en respectant les inconvénients suivants :

- Les spécifications géographiques de la zone.
- La densité des utilisateurs.
- Disponibilité du spectre.
- La faible interférence avec les autres réseaux.

Le tableau suivant présente les bandes de fréquences de la norme LTE :

N:° de la Bande LTE	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	N:° de la Bande LTE	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
1	1920-1980	2110-2170	14	788-798	758-768
2	1850-1910	1930-1990	15	1900-1920	2600-2620
3	1710-1785	1805-1880	16	2010-2025	2585-2600
4	1710-1755	2110-2155	17	704-716	734-746
5	824-849	869-894	18	815-830	860-875
6	830-840	875-885	19	830-845	875-890
7	2500-2570	2620-2690	20	832-862	791-821
8	880-915	925-960	21	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	22	3410-3500	3510-3600
10	1710-1770	2110-2170	23	2000-2020	2180-2200
11	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	24	1625.5-1660.5	1525-1559
12	698-716	728-746	25	1850-1915	1930-1995
13	777-787	746-756			

Table III.1: Les bandes de fréquence FDD

N:° de la Bande LTE	Allocation(MHz)	Largeur de la bande (MHz)
33	1900-1920	20
34	2010-2025	15
35	1850-1910	60
35	1850-1910	60
36	1930-1990	60
37	1910-1930	20
38	2570-2620	50
39	1880-1920	40
40	2300-2400	100
41	2496-2690	194
42	3400-3600	200
43	3600-3800	200

Table III.2 : Les bandes de fréquences TDD

L'opérateur Mobilis travaille avec mode FDD.

V.2 Nombre d'eNodeB requis :

Dans cette section, nous allons déterminer le nombre théorique des eNodeB requis pour établir la couverture demandée et satisfaire la demande en termes de capacité. Par conséquent, le nombre de sites demandés pour obéir à la fois à la contrainte de couverture et de capacité est donné statiquement par la méthode suivante :

- Estimer le nombre total des habitants de la région à couvrir
- Estimer le nombre de personnes moyenne par famille
- Calculer le nombre de familles de la région à couvrir
- Le nombre d'abonnés est estimé à 100% de nombre de familles
- Calculer le nombre de sites (eNodeB) théorique en fonction de la capacité moyenne des sites qui dépend de débit de la cellule (ou site) et le débit requis des abonnés.

Dans notre exemple, la population de toute la wilaya de Tlemcen est de: 1 018 978 habitants. Le nombre moyen des familles est de $1.018.978 / 5 = 20.380$ familles. Nous n'avons estimé que le nombre de personnes par famille égal à 5 personnes/famille.

Donc le nombre de sites est : $20380/600 = 240$ sites. Selon l'opérateur Mobilis, un site peut supporter 600 abonnés pour une bonne couverture et cela selon le débit de chaque secteur.

Le tableau suivant représente le nombre nécessaire d'eNodeB pour une couverture à 100% pour quelques communes de la wilaya de Tlemcen :

Commune	Tlemcen	Mesourah	Chetouane	Remchi	Bensakran
Population	140158	49150	47600	46999	16849
eNodeB	42	17	16	15	6

Table III.3 : Nombres de sites nécessaires dans quelques communes de Tlemcen

VI. Planification avec ATOLL :

L'outil de planification et d'optimisation ATOLL V2.8.8 a été utilisé dans notre étude comme phase pratique de planification du réseau LTE au niveau de la Wilaya d'ORAN.

Nous allons présenter dans cette section les différents modules de cet outil qui interviennent dans notre planification.

Nous avons choisi d'implémenter l'outil ATOLL grâce à sa flexibilité qui nous permet d'implémenter rapidement la méthode d'accès réseau. Nous allons procéder à la définition des paramètres géographiques et radio d'un réseau à planifier.

Ensuite, nous ferons la modélisation du trafic supporté par le réseau que nous souhaitons mettre en place.

VI.1 Les étapes de configuration à suivre :

Les étapes pour configurer ATOLL sont:

- Création d'un projet LTE
- choisir le système de coordonnées
- Importer la carte de la wilaya d'Oran.
- Entrée les données(le modèle de propagation, les antennes....)
- Importer les sites
- tracer la zone où nous travaillons.
- Résultat de la planification.

VI.2 Planification de la Wilaya d'ORAN :

VI.2.1 Création d'un nouveau projet :

Après avoir lancé ATOLL, une fenêtre s'affiche pour charger les différents modules de l'ATOLL comme la figure 22 le montre.

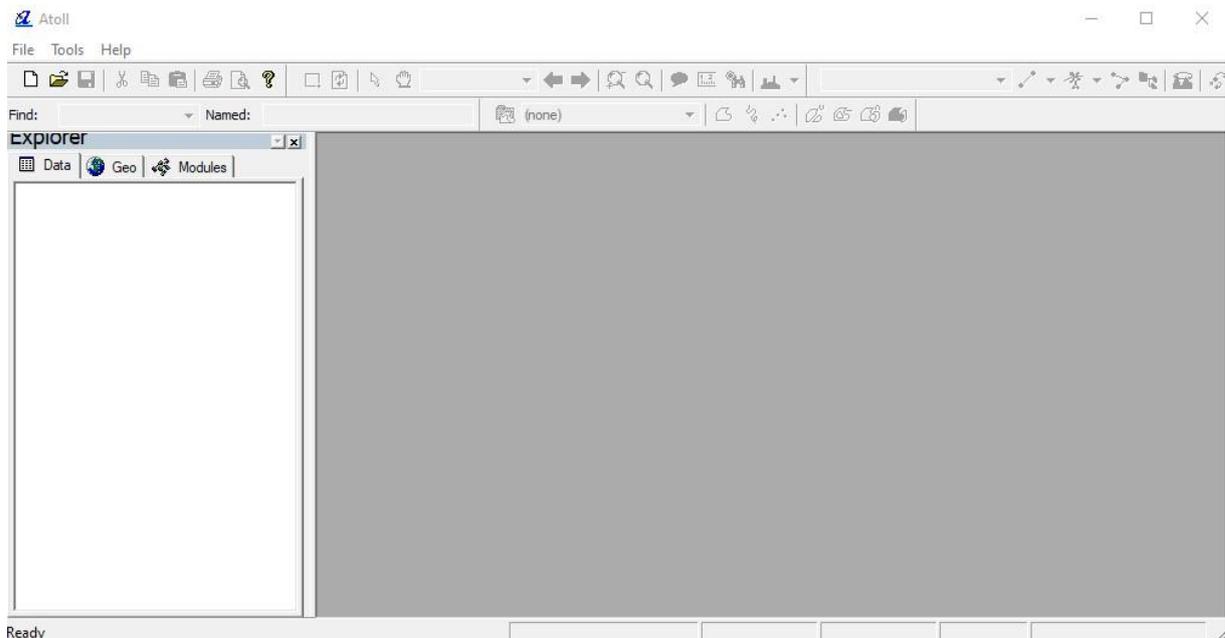


Figure III. 9 : L'interface de démarrage d'ATOLL

ATOLL est un outil de planification radio multi-technologie qui prend en charge de différents types de planification radio (GSM, GPRS, UMTS, CDMA 2000, HSDPA, LTE...). Pour notre projet, nous choisissons le système LTE.

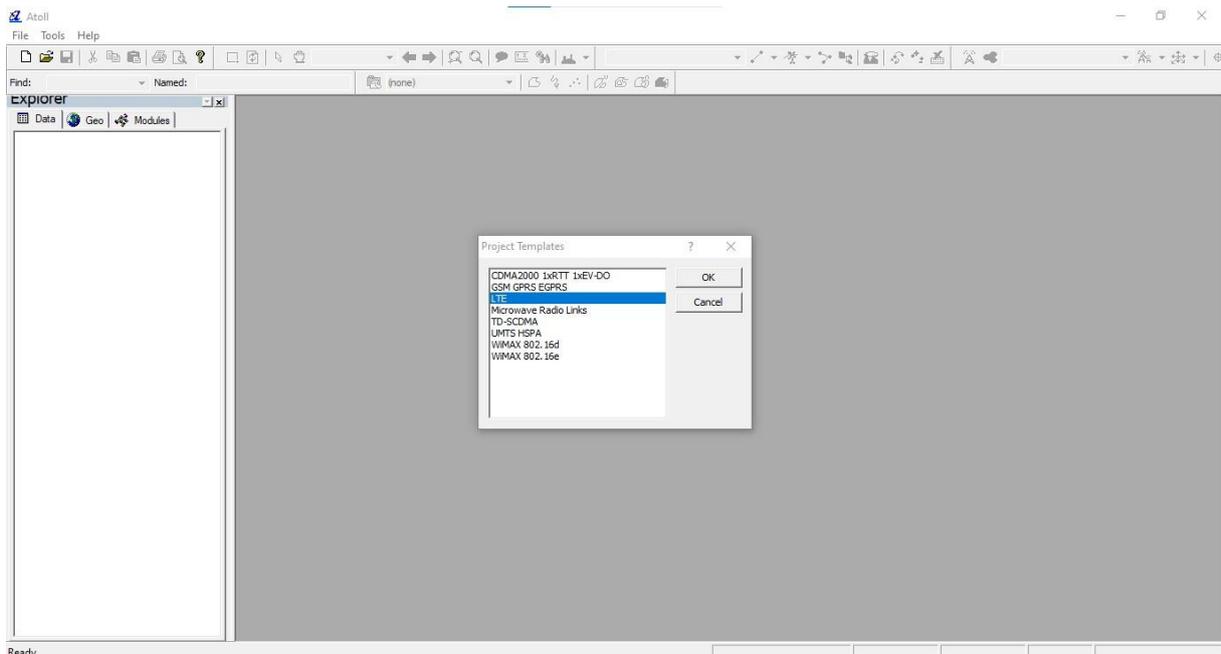


Figure 10 : Création du projet

VI.2.2 Choisir le système de coordonnées :

Pour le choix des coordonnées de système, nous cliquons sur le menu aToll puis option , ensuite nous cliquons sur projection et nous choisissons WGS 84/UTM zone 31N et dans display nous choisissons WGS 84.

Le système de coordonnées WGS84 est le système géodésique standard mondial, notamment utilisé par le système GPS ; il s'est rapidement imposé comme une référence pour la cartographie. [10]

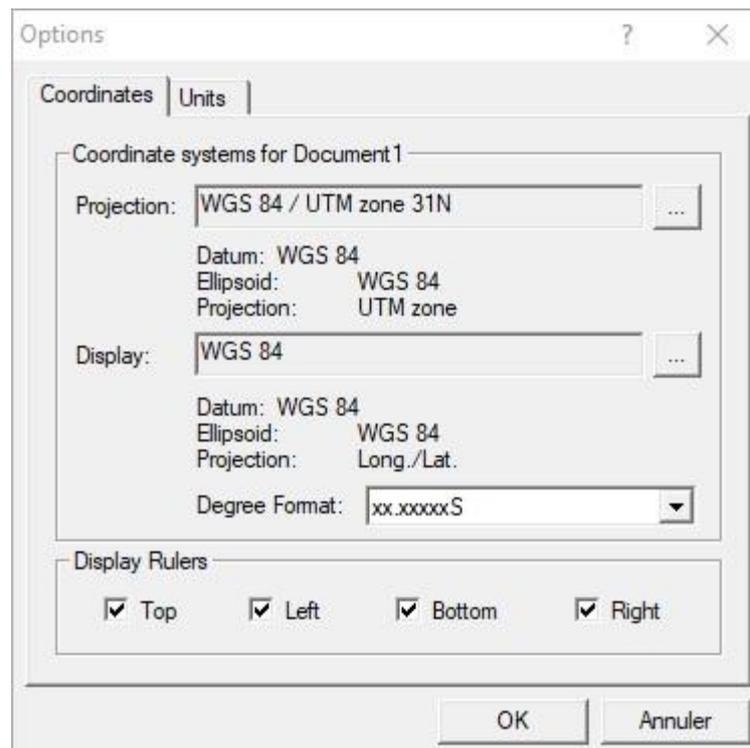


Figure 11: Choisir le système de coordonnées

VI.2.3 Importer la carte :

Importer une carte est une étape fondamentale pour créer des projets avec l'outil ATOLL, pour notre étude nous allons utiliser la carte d'Oran qui nous servira de carte pour la pré-planification. Pour importer la carte, il faut cliquer sur : Files -> importe

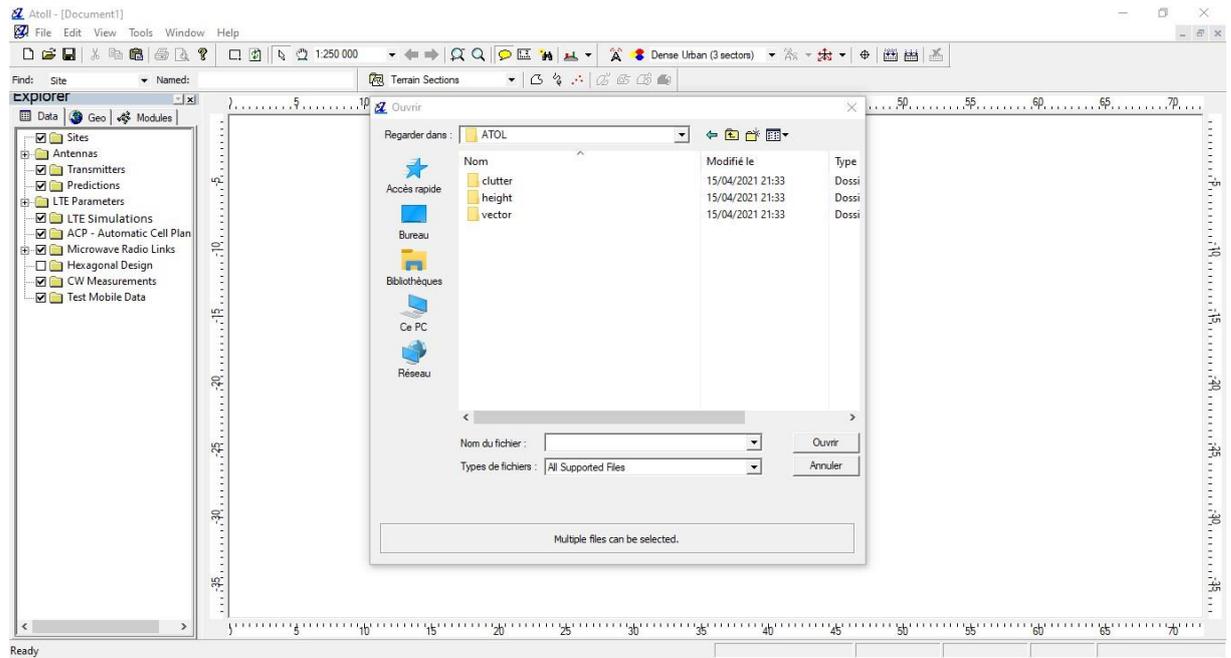


Figure 12: Importer la carte

- Height: carte de l'altitude au-dessus du niveau de la mer
- clutter :type de terrain utilisé, bâtiment, forêt, eau
- vector :cartes vectorielles

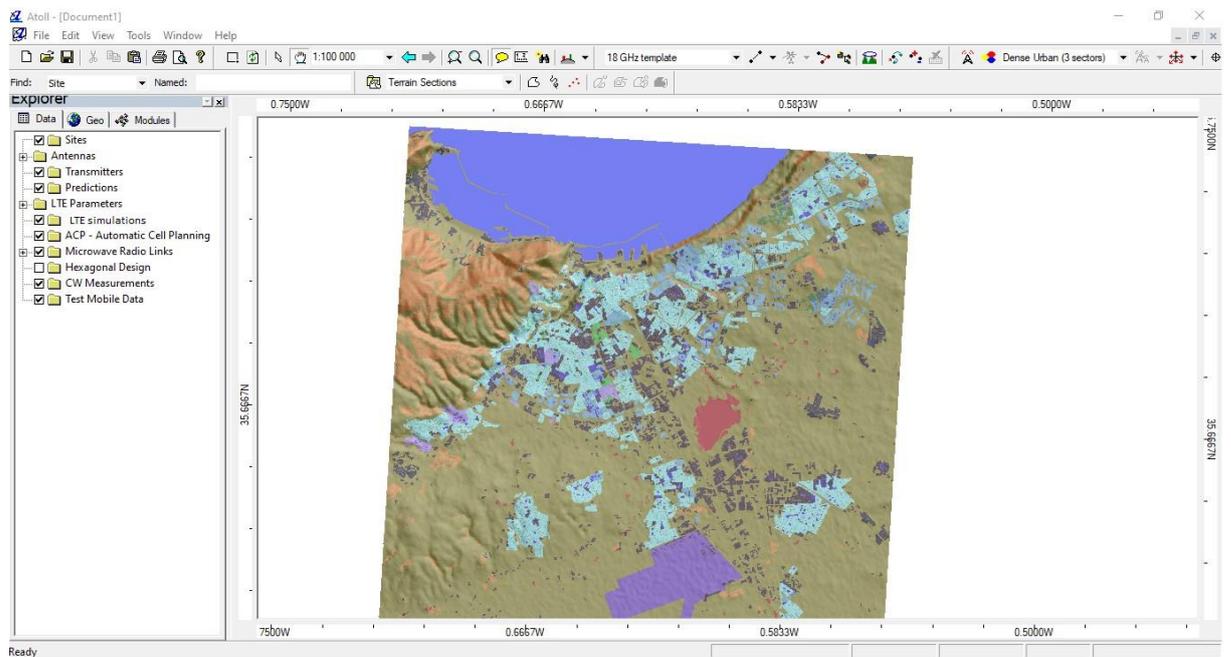


Figure 13: carte numérique de la wilaya d'Oran

VI.2.4 Les données d'entrée :

Importation des données d'entrée :

- model de propagation : pour prédire la valeur moyenne de perte
- les antennes : les types d'antennes utilisées.
- Azumith : c'est l'orientation des secteurs.
- L'environnement : les type de l'environnement (urbain, suburbain, danse urbaine)
- Tilt : c'est l'inclinaison de chaque secteur.
- Feeders : pour avoir le type des câbles utilisés et leurs pertes.
- Sites : entré les données de chaque site.
- Celles : entré les données de chaque cellule.
- Noise figure : sont des paramètres liés au bruit.

K742264 pattern		K742264 pattern	
HORIZONTAL		VERTICAL	
Angle	Attenuation	Angle	Attenuation
0	0.0	0	20
1	0.0	1	18.5
2	0.0	2	16.4
3	0.1	3	14.7
4	0.1	4	13.3
5	0.1	5	12.1
6	0.2	6	11
7	0.2	7	10.2
8	0.3	8	9.7
9	0.3	9	9.3
10	0.4	10	9
11	0.5	11	8.6
12	0.6	12	8
13	0.7	13	7.5
14	0.8	14	7.4
15	0.9	15	7.8
16	1.0	16	8.8
17	1.1	17	10.3
18	1.2	18	11.9
19	1.4	19	12.7
20	1.5	20	11.9
21	1.6	21	10
22	1.8	22	8.1
23	1.9	23	6.4
24	2.1	24	5.2
25	2.3	25	4.5
26	2.5	26	4.5
27	2.7	27	5
28	2.9	28	5.5

Figure 14: input data for atoll

VI.2.5 Importé les sites :

Le logiciel ATOLL propose un outil qui cherche automatiquement le(s) meilleur(s) emplacement(s) à donner au site pour optimiser la couverture d'un réseau.

La figure suivante montre un aperçu de la zone à planifier et la distribution des sites dans toute la zone de la Wilaya d'ORAN, les sites sont numérotés de Site 31001 au Site31063.

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Max No. of DL CEs	Max No. of DL CEs	Equipment	Comments
31001	-0.651103	35.6838	[115]	384	384	BS3900	
31002	-0.63644	35.6638	[101]	384	384	BS3900	
31003	-0.64332	35.69545	[119]	384	384	BS3900	
31004	-0.615694	35.6975	[118]	384	384	BS3900	
31005	-0.64081	35.7036	[74]	384	384	BS3900	
31008	-0.66983	35.67433	[127]	384	384	BS3900	
31009	-0.65847	35.67289	[117]	384	384	BS3900	
31010	-0.65944	35.68472	[129]	384	384	BS3900	
31011	-0.65206	35.69644	[116]	384	384	BS3900	
31012	-0.64414	35.70006	[94]	384	384	BS3900	
31013	-0.64139	35.68086	[101]	384	384	BS3900	
31014	-0.64403	35.68639	[111]	384	384	BS3900	
31015	-0.63689	35.69867	[106]	384	384	BS3900	
31016	-0.62833	35.68592	[102]	384	384	BS3900	
31017	-0.63242	35.70631	[65]	384	384	BS3900	
31018	-0.64381	35.66786	[108]	384	384	BS3900	
31019	-0.63344	35.69831	[111]	384	384	BS3900	
31020	-0.62133	35.70533	[93]	384	384	BS3900	
31021	-0.62031	35.68819	[105]	384	384	BS3900	
31022	-0.61075	35.69231	[101]	384	384	BS3900	
31023	-0.6275	35.69472	[114]	384	384	BS3900	
31024	-0.61322	35.70617	[118]	384	384	BS3900	
31032	-0.65008	35.69086	[121]	384	384	BS3900	
31033	-0.65653	35.69039	[128]	384	384	BS3900	
31035	-0.65316	35.7047	[43]	384	384	BS3900	
31036	-0.61072	35.68111	[88]	384	384	BS3900	
31038	-0.64992	35.69987	[96]	384	384	BS3900	
31039	-0.63597	35.70219	[77]	384	384	BS3900	
31040	-0.63922	35.69989	[103]	384	384	BS3900	
31041	-0.60499	35.69444	[115]	384	384	BS3900	
31042	-0.62017	35.69366	[110]	384	384	BS3900	
31043	-0.6102	35.68596	[84]	384	384	BS3900	
31044	-0.61754	35.6813	[93]	384	384	BS3900	

Figure 15 : liste des sites pour la wilaya d'ORAN

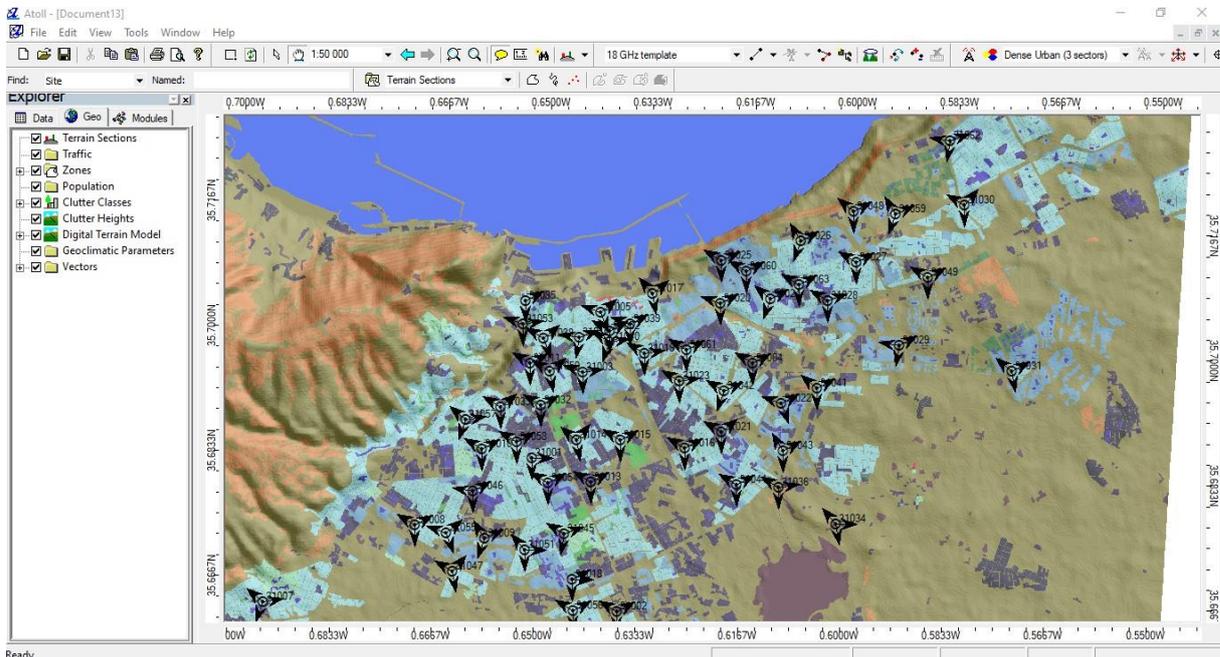


Figure 16: Les sites répartis sur la carte de la wilaya

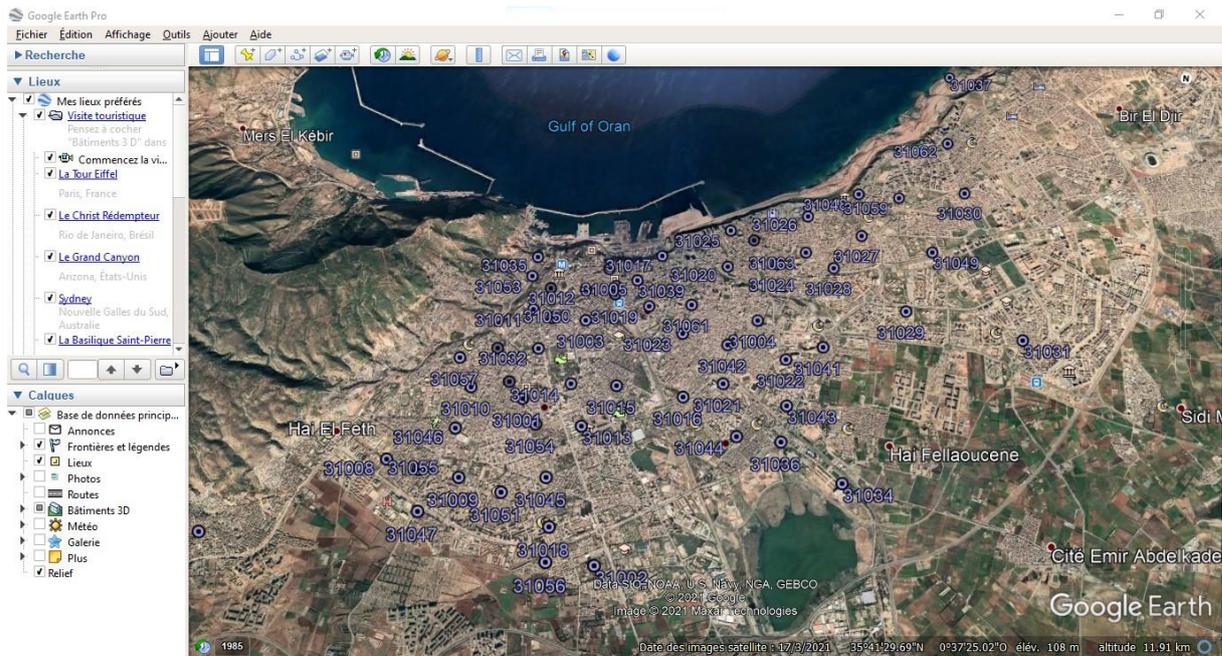


Figure 17: Les sites répartis sur la carte de la wilaya- Google Earth

VI.2.6 Zone géographique à planifier :

Pour localiser la zone de couverture, nous avons choisi l'onglet **Filtering zone**, ensuite nous faisons le contour complet. Par la suite nous cliquons sur l'onglet **Focus zone** et nous avons fait le contour sur une partie de la zone sur laquelle nous allons concentrer notre travail.

La figure suivante présente un aperçu de la zone à planifier qui couvre un peu plus que 30.50 km².

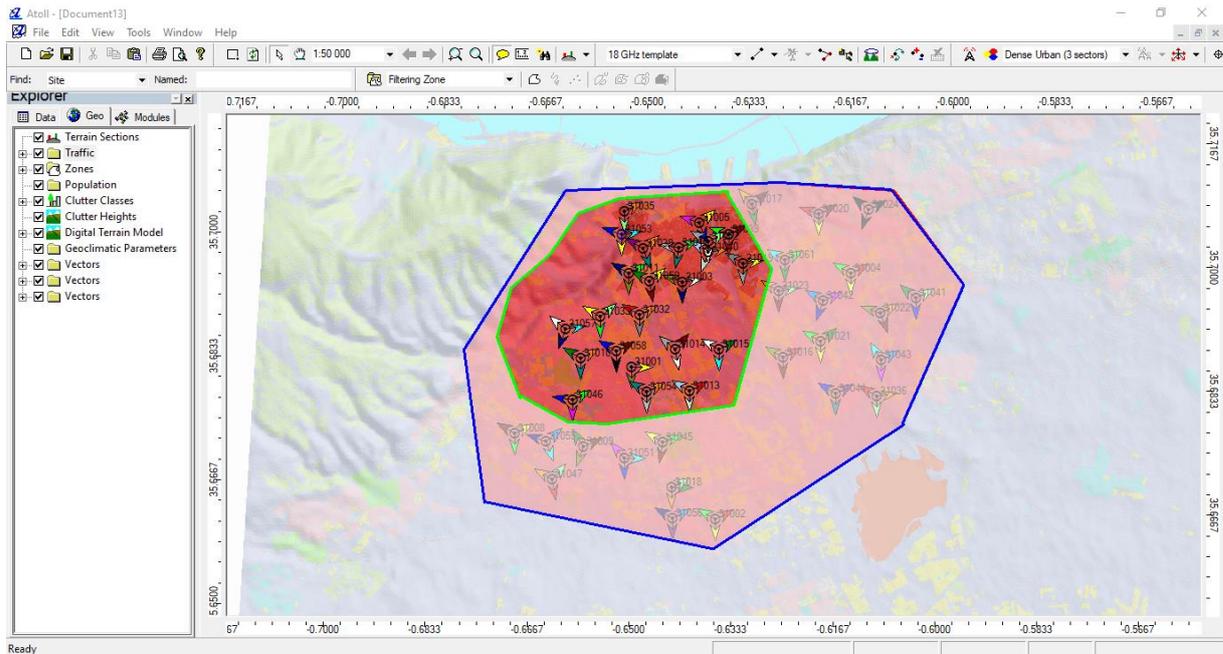


Figure 18: la zone géographique à planifier

VI.2.7 Résultat de la planification :

VI.2.7.1 Couverture par niveau de signal :

Cette simulation montre la couverture par niveau de réception du signal selon la palette de couleurs, et la zone rouge montre que le niveau du signal autour de chaque cellule est très élevé.

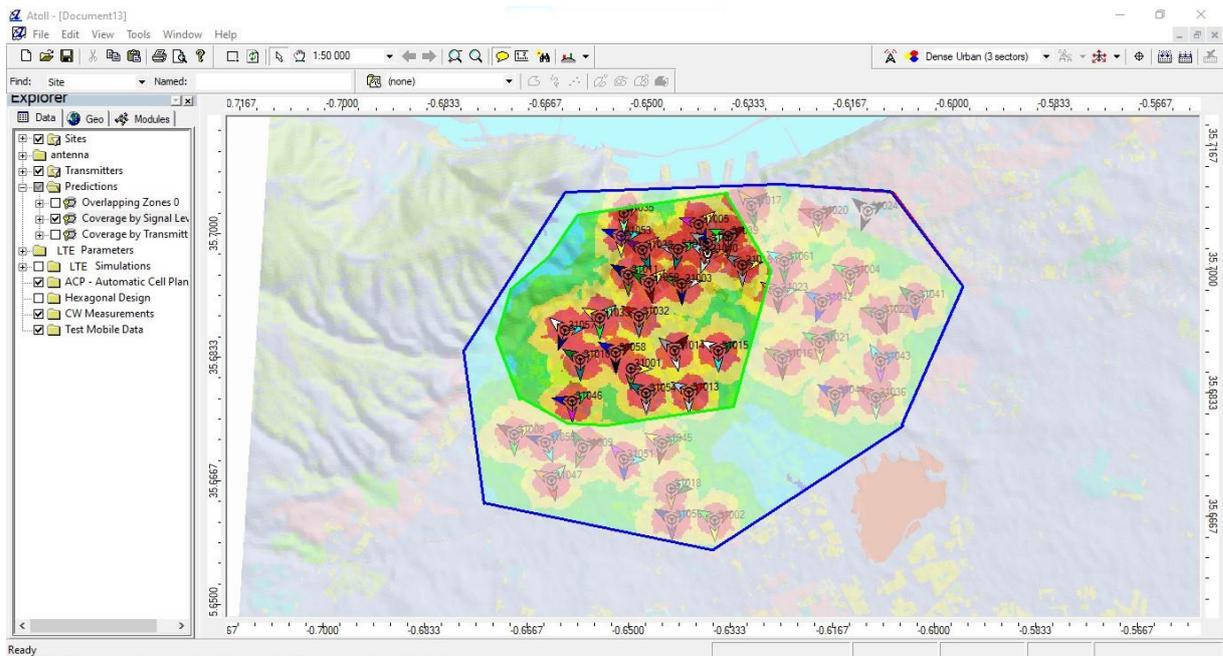


Figure 19: couverture par niveau de signal

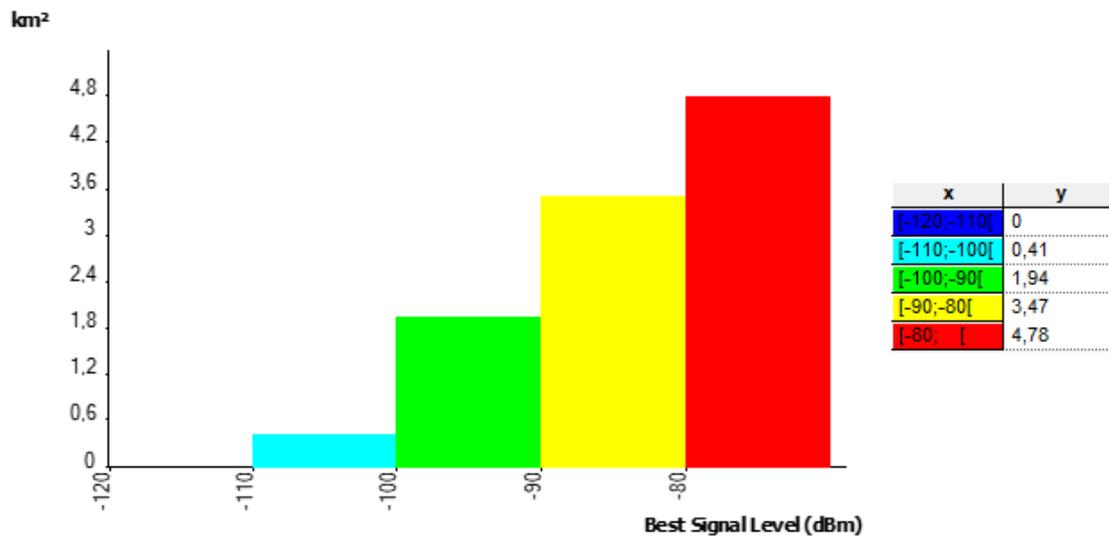


Figure 20 : histogramme de couverture par niveau de signal

VI.2.7.2 Couverture par cellules (Emetteur) :

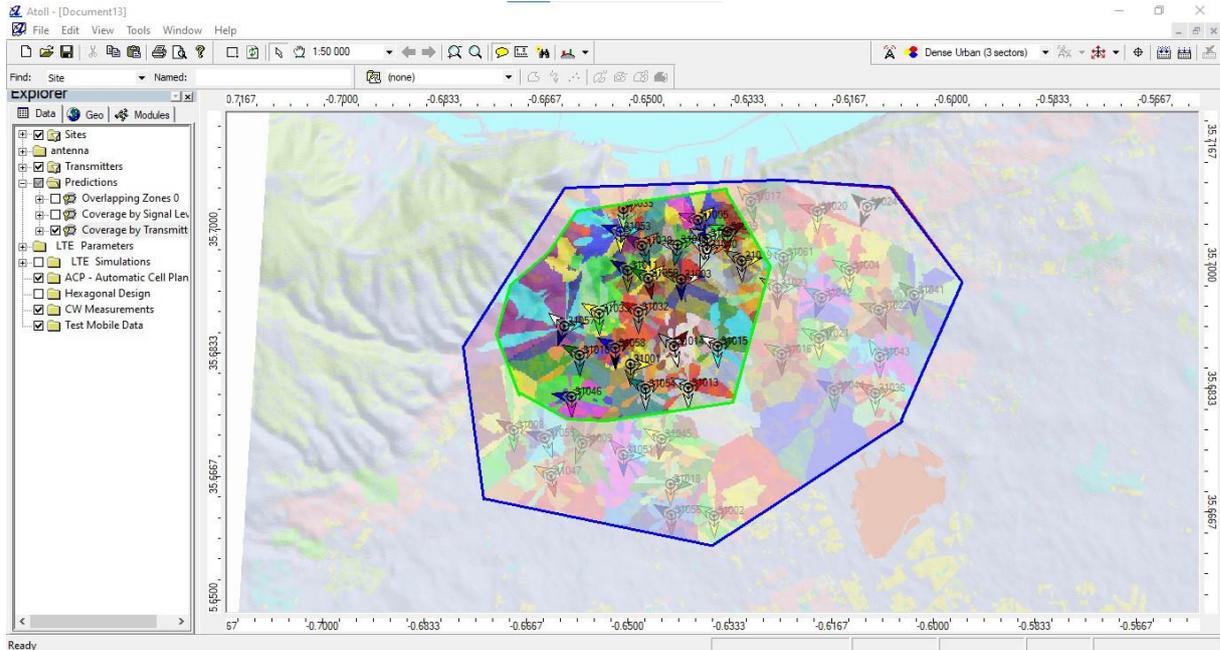


Figure 21: couverture par cellule

Cette simulation présente la couverture par cellule (émetteur), et chaque cellule est mentionnée par son code et sa couleur d'affichage

VI.2.7.3 La zone de chevauchement :

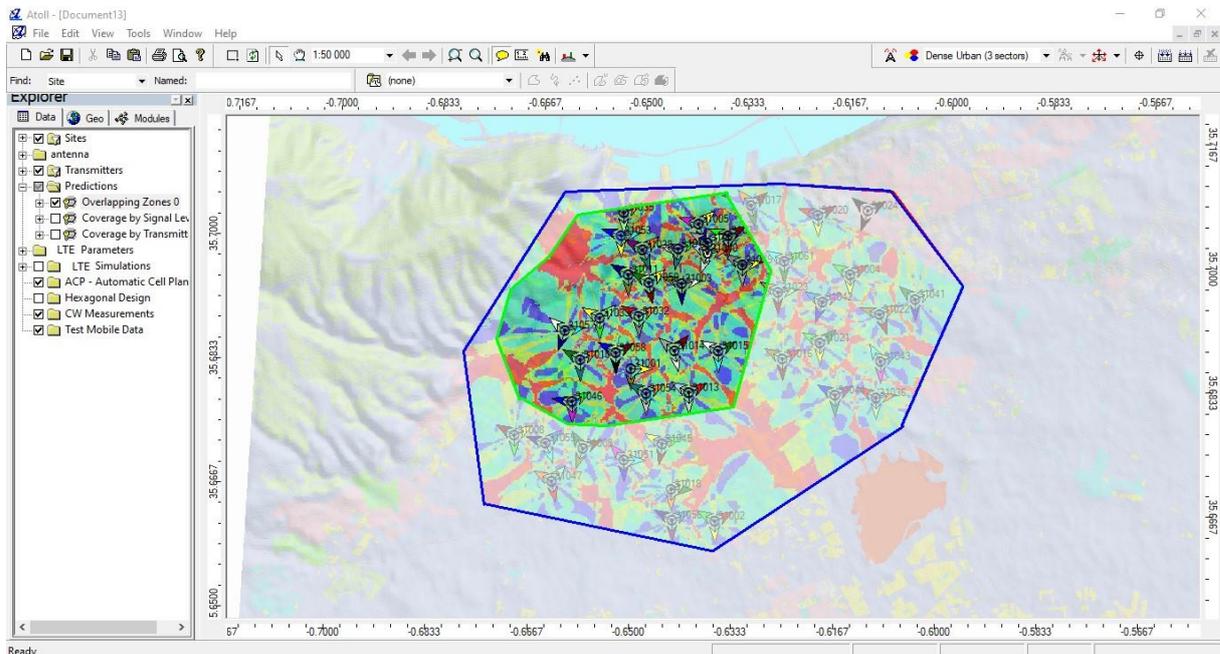


Figure 22: zone de chevauchement

Dans cette partie de la simulation les zones en rouge montrent un chevauchement important à l'émission de 4 signaux issus de 4 cellules qui desservent la même zone .cela entrainera une perturbation du UE car il les considérera come une interférence.

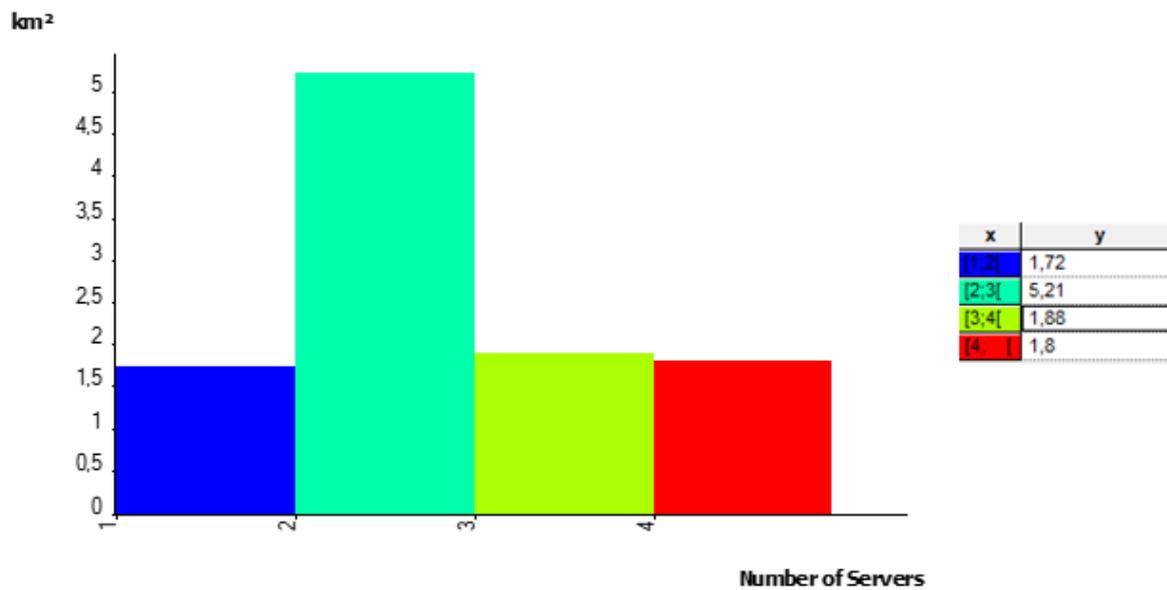


Figure 23: histogramme de couverture des zones de chevauchement

VI.2.7.4 Distribution des abonnés :

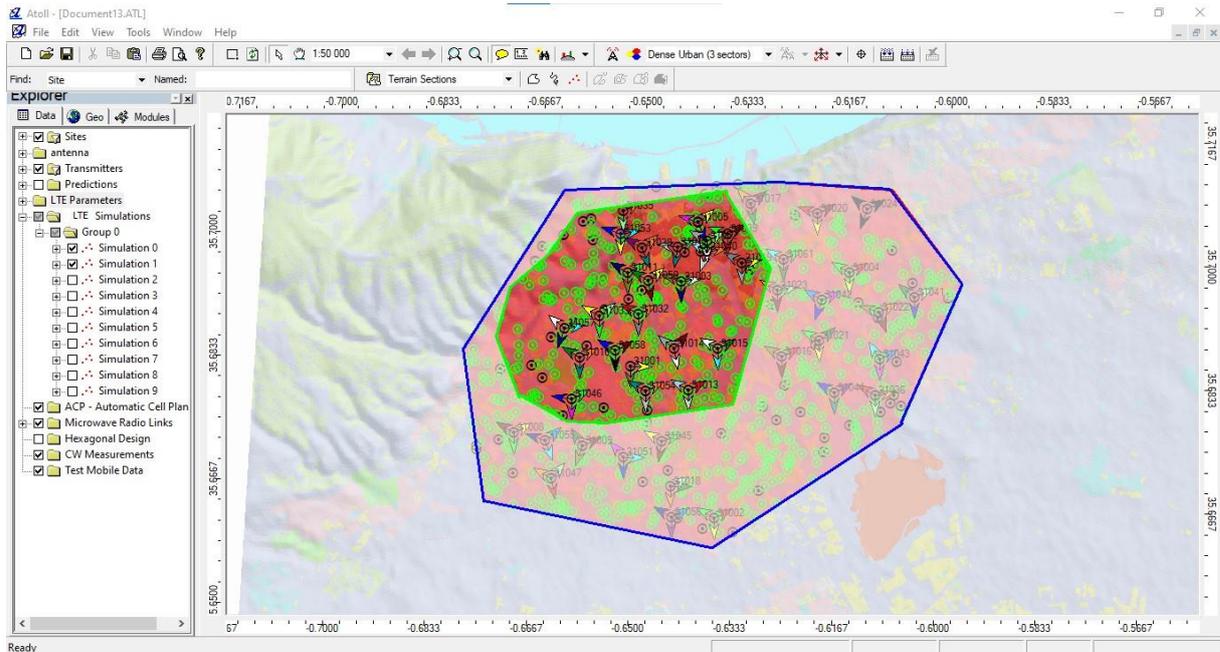


Figure 24 : Distribution des Abonnés

La figure précédente présente la distribution des abonnés dans notre zone de planification et chaque couleur présente le type des modes utilisés par chaque abonné (mode commutation de ou de paquet).

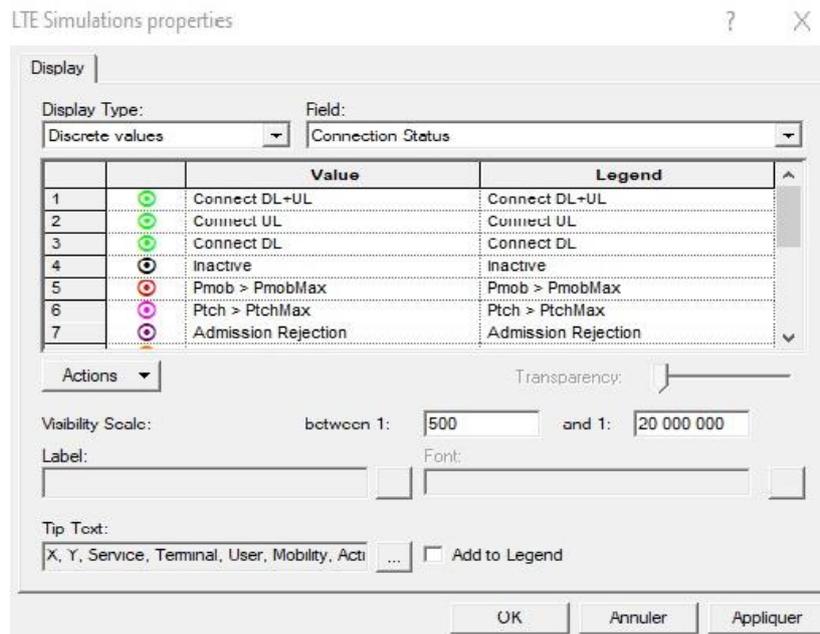


Figure 25: l'état de l'abonné

La figure au-dessous représente l'état de l'abonné avec le site, s'il est connecté l'abonné est vert s'il n'est pas connecté l'abonné est noir.

VII. Drive Test :

Le Drive test est une technique utilisée par les ingénieurs afin de contrôler la qualité du service offert par un site. Il consiste à réaliser un parcours sur une zone formée par les eNodB les antennes d'émission-réception à tester. Il permet de vérifier l'aboutissement des appels et exécution des hand-over, le niveau de signal émis et la qualité engendrée.

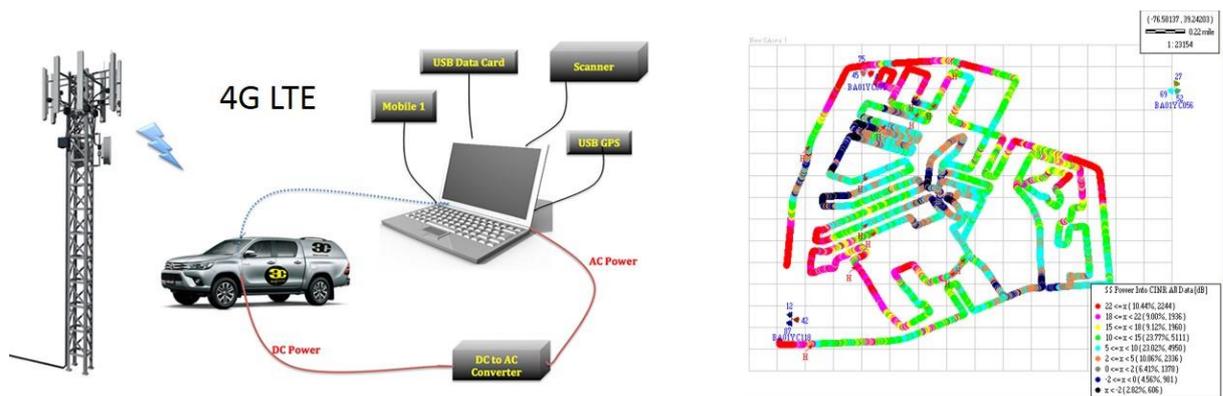


Figure 26: Drive Test

VIII. Conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons défini la planification radio et nous avons démontré les processus de planification et dans la 2^{ème} partie du chapitre, nous avons utilisé le logiciel de planification ATOLL pour mener des recherches sur la planification radio et sur la manière de déployer des réseaux LTE. Nous avons pris le cas de la wilaya d'ORAN. Les résultats obtenus par la simulation afin d'obtenir une couverture 90% proche du cas réel.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Le système **LTE** représente une évolution à long terme de l'UMTS ; son apparition est due essentiellement à la croissance fulgurante du trafic des données mobiles dans les réseaux de télécommunication dites « troisième **génération** ». De la, l'intérêt du réseau nommé « quatrième **génération** » ou plutôt « **4G** » est de faire face aux exigences de la clientèle des opérateurs, en proposant un grand débit et de nouveaux services.

Pour cela le **réseau LTE** a opté pour la modulation multi-porteuse **OFDM** qui représente de son tour l'avantage d'être robuste à l'évanouissement généré par le canal radio dans lequel l'onde se propage.

Ce mémoire est le résultat d'une étude et une planification détaillée d'un réseau LTE. Cette recherche est organisée en trois étapes qui représentent trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous avons traité une généralité sur les réseaux cellulaires et leurs évolutions dès la première génération « **1G** » jusqu'à la quatrième génération « **4G** » LTE , avec leurs différentes architectures .

Quant au deuxième chapitre a été consacré pour une étude sur la technologie « radio mobile » LTE (**Long Term Evolution**).

Pour le dernier chapitre, nous avons présenté la planification avec **ATOLL**, comme nous avons donné toutes les étapes de cette planification pour un réseau **LTE**.

L'objet principal de ce projet est d'étudier et planifier un réseau 4G LTE, nous avons fait une étude générale sur la 4G où nous avons mis le point sur les méthodes d'accès, les caractéristiques du réseau 4G (débit, fréquence, latence ,) ainsi qu'à la planification d'une zone de la wilaya d'Oran selon l'outil de planification qui se représente en logiciel **ATOLL**.

Ajoutant que ce travail nous a aidé à bien savoir comment planifier une zone afin de mettre en œuvre un nouveau réseau, bien manipuler le logiciel de planification (**ATOLL**), alors que la planification commence par une bonne compréhension des besoins d'utilisateurs.

Ce travail nous a donc permis de mettre en pratique notre connaissance acquise pendant cette formation de Master Réseaux Télécommunication, ainsi que ce projet fait partie d'un travail d'ingénieur Télécom chez les opérateurs téléphoniques, nous avons essayé de comprendre le fonctionnement de ce logiciel **ATOLL** qui est utilisé chez différents opérateurs.

Bibliographie

- [1] «<http://slideplayer.fr/slide/4253519>,» 15 4 2021. [En ligne].
 - [2] «<https://www.slideshare.net/MAGAYEGAYE2/memoire-master-telecom-rx>,» 19 4 2021. [En ligne].
 - [3] M. B. HASSEN BEN TERDAYET, *CALIBRATION DE MODELES DE PROPAGATION POUR LES RESEAUX GSM, WCDMA ET LTE: APERÇU SUR LA PROPAGATION RADIO MOBILE*, 2013/2014.
 - [4] A. Pérez, *LA VOIX SUR LTE: RESEAU 4G ET ARCHITECTURE IMS*, HERMES SCIENCE, 2013.
 - [5] S. AHMADI, *LTE-ADVANCED: A PRACTICAL SYSTEMS APPROACH TO UNDERSTANDING 3GPP LTE RELEASES 10 AND 11 RADIO ACCESS TECHNOLOGIES*. ACADEMIC PRESS, 2013.
 - [6] G. FELLAHI, «Planification et optimisation d'un réseau de la 4G (LTE). pour la Wilaya de Tlemcen,» 2015.
 - [7] Y. BOUGUEN, , . É. HARDOUIN et F.-X. WOLFF, *LTE et les réseaux 4G*, EYROLLES, 2012.
 - [8] . B. HADDADI et S. FACI , «Etude et simulation sous MATLAB de la 4G LTE,» 2015.
 - [9] E. JAMMAZI, «Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom.,» 2013..
 - [10] ,. N. S. N. Hormoz PARSIAN, «Comparison of Asset and Atoll Cellular Planning tools for LTE Network Planning », Nokia Siemens Networks.
 - [11] H. BOUCHENTOUF et R. BOUDGHEN STAMBOULI, «Etude des performances reseaux 4G (LTE),» 2013.
 - [12] P. G. e. S. T. Xavier LAGRANGE, «Réseaux GSM-DC,» 4^{ème} édition, Paris, 1999.
-
- [1] «<http://slideplayer.fr/slide/4253519>,» 15 4 2021. [En ligne].
 - [2] «<https://www.slideshare.net/MAGAYEGAYE2/memoire-master-telecom-rx>,» 19 4 2021. [En ligne].
 - [3] M. B. HASSEN BEN TERDAYET, *CALIBRATION DE MODELES DE PROPAGATION POUR LES RESEAUX GSM, WCDMA ET LTE: APERÇU SUR LA PROPAGATION RADIO MOBILE*, 2013/2014.
 - [4] A. Pérez, *LA VOIX SUR LTE: RESEAU 4G ET ARCHITECTURE IMS*, HERMES SCIENCE, 2013.

Bibliographie

- [5] S. AHMADI, LTE-ADVANCED: A PRACTICAL SYSTEMS APPROACH TO UNDERSTANDING 3GPP LTE RELEASES 10 AND 11 RADIO ACCESS TECHNOLOGIES. ACADEMIC PRESS, 2013.
- [6] G. FELLAHI, «Planification et optimisation d'un réseau de la 4G (LTE). pour la Wilaya de Tlemcen,» Thèse de doctorat, 2015.
- [7] Y. BOUGUEN, , . É. HARDOUIN et F.-X. WOLFF, LTE et les réseaux 4G, EYROLLES, 2012.
- [8] . B. HADDADI et S. FACI , «Etude et simulation sous MATLAB de la 4G LTE,» 2015.
- [9] E. JAMMAZI, «Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom.,» 2013..
- [10] ,. N. S. N. Hormoz PARSIAN, «Comparison of Asset and Atoll Cellular Planning tools for LTE Network Planning », Nokia Siemens Networks.
- [11] H. BOUCHENOUF et R. BOUDGHEN STAMBOULI, «Etude des performances reseaux 4G (LTE),» 2013.
- [12] P. G. e. S. T. Xavier LAGRANGE, «Réseaux GSM-DC,» 4ème édition, Paris, 1999.