

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**



**Faculté De Génie Electrique et d'Informatique**  
**Département de Télécommunications**  
**Mémoire de Fin d'Etudes**

**de MASTER ACADEMIQUE**

Spécialité

**Réseaux & Télécommunications**

Filière

**Télécommunications**

Par

**Belkessam Hannane**

**Moussi Wissem**

Thème

---

**Planification d'un site 4G dans une zone rurale**

---

**Soutenu le : 23/06/2024**

**Devant le jury :**

**Président : Mme. Abba Faiza**

**Promoteur : Mr. Mounir Amir**

**Examineurs : Mr. Hedir Abdallah**

## *Remerciement*

*Nous souhaiterions tout d'abord exprimer notre plus profonde gratitude envers monsieur Amir Mounir pour son soutien indéfectible, sa patience et ses précieux conseils. Sa direction éclairée nous a permis de surmonter de nombreux défis et d'approfondir nos recherches avec confiance.*

*Nous tenons à présenter nos vifs remerciements à monsieur Habani et monsieur Khoudja qui nous ont donné la chance de pouvoir passer ce stage au sein de l'entreprise d'Algerie Télécom.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury, madame Abba Faiza et monsieur Hedir Abdallah pour l'honneur d'avoir bien voulu partager leurs expériences et compétences, afin d'évaluer ce modeste travail.*

*Nous souhaitons aussi exprimer notre reconnaissance à nos amis, pour leurs encouragements constants. Votre présence et votre motivation ont été des piliers tout au long de ce parcours.*

*À nos familles, nous tenons à adresser nos remerciements les plus chaleureux. Merci pour votre amour, votre compréhension et votre soutien inconditionnel. Vous avez cru en nous même dans les moments les plus difficiles, et c'est en grande partie grâce à vous que nous avons pu mener ce projet à bien.*

*Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué à cette aventure, de près ou de loin, Votre aide et votre soutien ont été essentiels pour la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes très chers parents, eux qui se sont sacrifié et sacrifié de leurs vies pour ma réussite, eux qui se sont voués corps et âmes afin que je puisse consentir les efforts nécessaires pour que mon but soit atteint. Je voudrais pour l'occasion leur rendre un semblant ou une fraction de l'amour que j'ai reçu de leur part durant toutes ces années.*

*Je n'aurais, sans l'ombre d'un doute, pas pu accomplir ce travail sans le soutien moral de mon frère Madjid et mes deux sœurs : Kahina et Samira, sans oublier mon beau-frère et mes chères nièces Kayla et Amélia.*

*Ceci dit, je ne manquerais sûrement pas l'occasion de dédier ce travail à ma grand-mère que j'adore et que j'aime beaucoup et, à mes chers beaux-parents et à mon futur époux Samy qui a été à mes côtés aussi bien pour le meilleur que pour le pire.*

*A mon binôme Hanane avec laquelle j'ai partagé tous ces moments et que je remercie pour sa compréhension, mes amies ainsi que tous ceux qui ont contribué à ma réussite.*

*Wissem*

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail par leur soutien, leur amour et leurs encouragements.*

*À mes parents, pour leur amour infini, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants. Vous m'avez donné la force de croire en moi et d'aller toujours plus loin.*

*À mon frère Rafik, et à mes sœurs Ryma et Amina, aussi à mes beaux-frères Hocine et Zinou, et à ma belle-sœur Mirella pour leur aide précieuse et leurs encouragements. Votre soutien m'a été d'une grande aide et je vous en suis profondément reconnaissante. Merci pour vos mots réconfortants et votre présence rassurante qui ont été des sources de motivation inestimables.*

*À ma collègue Wissem, pour son travail acharné, sa collaboration et son dévouement tout au long de ce projet. Ce mémoire est le résultat de nos efforts communs et de notre esprit d'équipe.*

*Merci à chacun de vous pour avoir été là à chaque étape de ce parcours. Ce succès est le vôtre autant que le mien.*

*Hannane...*

## ملخص

---

في بيئة اليوم حيث المعلومات هي مفتاح النجاح، تلعب شبكات الاتصالات دورا حيويا في ضمان النقل المستمر لكميات كبيرة من المعلومات من خلال مشروعنا الذي تم تنفيذه داخل إدارة تيزي وزو قمنا بتعميق معرفتنا بشبكات الهاتف المحمول ولا سيما تكنولوجيا الجيل الرابع، لقد سلط بحثنا الضوء على التطورات في تقنية الجيل الرابع وبعد ذلك قمنا بتخطيط موقع شبكة الجيل الرابع في منطقة ريفية، وقمنا بتحليل الاحتياجات المحددة واختيار الموقع الأمثل واقترح الحلول للتغلب على التحديات. تهدف توصياتنا إلى تحسين البنية التحتية للاتصالات الريفية من أجل الاتصال الموثوق ونقل المعلومات.

الكلمات المفتاحية : الجيل الرابع، ريفية ، نقل.

## Résumé

---

Dans l'environnement actuel où l'information est la clé du succès, les réseaux de télécommunications jouent un rôle essentiel en assurant la transmission continue de grandes quantités de données. À travers notre projet réalisé au sein de la direction d'Algérie Télécom de Tizi Ouzou, nous avons approfondi nos connaissances sur les réseaux mobiles, en particulier la technologie 4G. Notre recherche a mis en évidence les avancées de la 4G, telles que ses caractéristiques techniques et ses avantages. Par la suite nous avons planifié un site 4G dans une zone rurale, analysé les besoins spécifiques, choisi le site optimal et proposé des solutions pour surmonter les défis. Nos recommandations visent à améliorer les infrastructures de télécommunications en milieu rural pour une connectivité et une transmission d'information fiables.

Mots clés : 4G, planifié, rurale, transmission.

## Abstract

---

In today's environment, where information is key to success, telecommunications networks play a crucial role in ensuring the continuous transmission of large amounts of data. Through our project conducted at the Algeria Telecom Directorate in Tizi Ouzou, we have deepened our knowledge of mobile networks, particularly 4G technology. Our research highlighted the advancements of 4G, including its technical features and benefits. Subsequently, we planned a 4G site in a rural area, analyzed the specific needs, selected the optimal site, and proposed solutions to overcome the challenges. Our recommendations aim to enhance telecommunications infrastructure in rural areas for reliable connectivity and information transmission.

Keywords : 4G LTE, planned, optimal, transmission.

# Sommaire

<i>Remerciement</i> .....	I
<i>Dédicace</i> .....	II
<i>Dédicace</i> .....	III
Résumé.....	IV
Introduction générale.....	1
Présentation de l'entreprise.....	3
<hr/>	
Chapitre I : Introduction aux réseaux cellulaires.	
<hr/>	
I.1. Introduction :.....	5
I.2. Les réseaux cellulaires : .....	5
I.2.1. Les caractéristiques basiques d'un réseau cellulaire :.....	5
I.2.2. Les types des cellules:.....	6
I.3. L'évolution des normes téléphoniques : .....	7
I.3.1. Le réseau 1G : .....	7
I.3.2. Le réseau (2G) : .....	8
I.3.2.1. Le Réseaux GSM : .....	8
I.3.2.1.1. L'architecture du réseau GSM :.....	9
I.3.2.1.2. Le passage intercellulaire dans le réseau GSM : .....	11
I.3.2.2. Réseaux GPRS (2.5 G) : .....	12
I.3.2.3. Réseau Edge (2.75G) : .....	12
I.3.3. La troisième Génération (3G) : .....	12
I.3.3.1. L'architecture du réseau UMTS (3G) :.....	13
I.3.4. HSDPA (3,5G) :.....	15
I.3.5. HSUPA (3,75G) :.....	15
I.3.6. Le réseau 4G : .....	15
I.3.6.1. Normes de la 4G : .....	16
I.3.7. La cinquième génération (5G) : .....	16
I.4. La conclusion.....	17
<hr/>	
Chapitre II : Généralités sur le réseau de la 4ème génération.	
<hr/>	
II.1. Introduction : .....	19
II.2. Caractéristique d'accès LTE :.....	19

II.3. L'architecture du réseau LTE(4G) :	19
II.3.1. L'équipement utilisateur (UE) :	20
II.3.2. Le réseau d'accès radio terrestre UMTS évolué(E-UTRAN) :	20
II.3.3. Le réseau cœur (Evolved Packet Core) :	22
II.4. Les canaux LTE :	24
II.5. Les techniques d'accès dans le réseau 4G LTE :	24
II.5.1.1. Préfixe cyclique :	25
II.5.2. OFDMA :	25
II.5.3. SC-FDMA :	26
II.6. La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) :	26
II.7. LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced) :	27
II.8. LTE-Advanced Pro (Long Term Evolution-Advanced Pro) :	27
II.9. Structure de la trame LTE :	28
II.10. La qualité de service (QOS) :	29
II.11. Conclusion :	30
<b>Chapitre III : Planification et déploiement d'un site réseau 4G.</b>	
III.1. Introduction :	32
III.2. Les objectifs et les buts de la planification :	32
III.3. Les supports de transmissions :	32
III.3.1. La fibre optique :	33
III.3.2. Les faisceaux hertziens :	34
III.3.2.1. Equipements d'une liaison hertzienne :	35
III.4. Les antennes :	36
III.4.1. Antenne parabolique :	36
III.4.2. Antenne sectorielle :	36
III.4.3. Les supports d'antennes:	37
III.5. Les conditions et les critères pour choisir un site 4G :	38
III.6. Les étapes de la planification :	39
III.7. Conclusion.....	52
Conclusion et perspectives .....	53
Références .....	54

## Liste des tables

N°	Désignation	Page
01	La différence entre le Pylône et le Mat.	37
02	Informations sur le site	41
03	Informations proposées	44

## Liste des figures

N°	Désignation	Page
	<b>Chapitre I</b>	
01	Structure standard des réseaux cellulaires.	6
02	Développement des communications mobiles.	7
03	La structure d'un réseau GSM.	9
04	Le Handover dans le GSM.	11
05	Architecture du réseau UMTS.	13
	<b>Chapitre II</b>	
01	Architecture de la 4G LTE.	20
02	La partie d'accès radio (E-UTRAN).	21
03	L'architecture de réseau cœur (EPC).	22
04	Principe de fonctionnement de la technique OFDM.	25
05	Diagramme de fonctionnement de la technique OFDMA.	26
06	Diagramme représente la différence entre L'OFDM et SC-OFDM.	26
07	Les modes d'un système MIMO.	27
08	Méthode de Duplexage en Fréquence (FDD).	28
09	Méthode de Duplexage en Temps (TDD).	29
10	L'application de la qualité de service.	29
	<b>Chapitre III</b>	
01	La fibre optique.	34
02	Liaison hertzienne avec une visibilité directe.	34
03	Liaison hertzienne avec relais.	35
04	Equipement générale.	35
05	Antenne parabolique.	36
06	Antenne sectorielle.	37
07	Un MAT installées sur un bâtiment.	38
	Un pylône.	

## Liste des abréviations

- **1G** : 1ère Génération.
- **2G** : 2ème Génération.
- **3G**: 3ème Génération.
- **3GPP**: 3rd Generation Partnership Project.
- **4G** : 4ème Génération.
- **5G** : 5ème Génération.

### A

- **AC**: Alternating Current.
- **AMPS**: Advanced Mobile Phone System.
- **AUC**: Authentication Unit Center.

### B

- **BSC**: Base Station Controller.
- **BSS**: Base Station Sub-system.
- **BTS**: Base Transceiver Station.

### C

- **CDMA** : Code Division Multiple Access.
- **CP** : Préfixe Cyclique.
- **CPRI** : Common Public Radio Interface.

### D

- **DC** : Direct Current.
- **DFT** : Discrete Fourier Transform.

### E

- **E-UTRAN**: Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network.
- **EDGE**: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.
- **EPC**: Evolved Packet Core.

## **F**

- **FDMA:** Frequency Division Multiple Access.
- **FH:** Faisceau Hertzien.
- **FHN:** Fixed Hybrid Network.
- **FO :** fibre Optic.

## **G**

- **GGSN:** Gateway GPRS Support Node.
- **GMSC:** Gateway MSC.
- **GPRS:** General Packet Radio Service.
- **GPS :** Global Positioning System.
- **GSM :** Global System for Mobile.

## **H**

- **HLR:** Home Location Register.
- **HSDPA:** High-Speed Dowlink Packet Access.
- **HSS:** Home Subscriber Server.
- **HSUPA:** High-Speed Uplink Packet Access.
- **HBA:** Hauteur Bas d'Antenne.

## **I**

- **IDU:** InDoor Unit.
- **IP:** Internet Protocol.
- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

## **L**

- **LTE:** Long Term Evolution.
- **LTE-A:** LTE Advanced.

## **M**

- **ME:** Mobile Equipement.
- **MIMO:** Multiple Input Multiple Output.
- **MME:** Mobility Management Entity.
- **MS:** Mobile Station.
- **MSC:** Mobile Switching Centre.

## **N**

- **NMT:** Nordic Mobile Telephone.
- **NSS:** Network Switching Sub-System.

## **O**

- **ODU:** OutDoor Unit.
- **OSI:** Open Systems Interconnection.
- **OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
- **OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
- **OSS:** Operation Support Sub-system.

## **P**

- **PCRF:** Policy and Charging Rules Function.
- **PGW:** Packet Data Network Gateway.

## **Q**

- **QoS :** Quality of Service.

## **R**

- **RAN:** Radio Access Network.
- **RTCP:** Real Time Transport Control Protocol.

## **S**

- **SGW:** Serving Gateway.
- **SC-FDMA:** Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access.
- **SIM:** Subscriber Identity Module.

## T

- **TAC:** Total Access Communications System.
- **TDD:** Time Division-Duplexing.
- **TDMA:** Time Division Multiple Access.
- **TE:** Terminal Equipement

## U

- **UE:** User Equipement.
- **UICC:** Universal Integrated Circuit Card.
- **UMB:** Ultra Mobile Braodband.
- **UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System.
- **USIM:** Universal Subscriber Idenity Module.

## V

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

## W

- **Wi-Fi:** Wireless Fidelity.
- **Wi-MAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access.

## Introduction générale

Dans un monde de plus en plus connecté, le développement des technologies de communication offre une accessibilité et une performance accrues aux services de téléphonie mobile et d'internet. De la première à la cinquième génération, les réseaux cellulaires ont connu des progrès remarquables qui ont non seulement augmenté les vitesses de transmission, mais également renforcé la capacité de traitement et la qualité des services proposés.

Parmi ces évolutions, la 4G LTE (Long Term Evolution) se démarque comme une avancée significative. Conçue pour répondre à la demande croissante de données mobiles, la 4G LTE offre des vitesses de téléchargement bien supérieures à celles de ses prédécesseurs.

De plus, cela favorise une diminution de la latence, une amélioration de la qualité du service et une capacité accrue à gérer un grand nombre de connexions simultanément. Grâce à ces avancées, la 4G LTE a révolutionné l'expérience des utilisateurs en offrant la possibilité d'utiliser des applications qui nécessitent une grande quantité de bande passante, comme le streaming vidéo, les jeux en ligne.

L'objectif de notre étude est d'analyser en détail la technologie 4G LTE, en mettant en évidence ses caractéristiques techniques, son architecture et les bénéfices qu'elle présente. Nous examinerons aussi la mise en place d'un site 4G LTE dans une région rurale, en nous appuyant sur une étude de cas pratique menée au sein de la direction d'Algérie Télécom de la wilaya de Tizi Ouzou. Effectivement, le déploiement de la 4G dans les zones rurales pose des défis uniques en raison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, la couverture géographique dans ces régions peut être difficile à atteindre en raison de la topographie complexe et de la dispersion des populations, Les zones rurales peuvent avoir des étendues de terrains difficiles d'accès, comme des montagnes, des forêts denses, ce qui rend la mise en place d'infrastructures de télécommunication plus complexe et coûteuse.

Pour réaliser notre projet avec succès, nous avons élaboré le plan suivant :

Ce mémoire est organisé autour de trois axes clés :

Au cours du premier chapitre, nous examinerons comment les réseaux cellulaires ont évolué depuis la 1G jusqu'à la 5G, afin de placer la 4G LTE dans un contexte historique et technique. Dans le deuxième chapitre, nous aborderons les bases de la 4G LTE, en détaillant ses caractéristiques, son architecture et les méthodes d'accès ainsi les techniques de multiplexage. Enfin, le troisième chapitre abordera la planification et le déploiement d'un site 4G LTE dans

le village Tizi Bouchene, définit comme une zone rurale, en décrivant le but, les conditions nécessaires et les différentes étapes de ce processus.

En combinant des connaissances théoriques et une expérience pratique, ce mémoire vise à offrir une vue d'ensemble de la 4G LTE et à contribuer à la compréhension et à l'amélioration de la connectivité dans les régions rurales.[7]

## ➤ Présentation de l'entreprise :



Algérie Télécom est une entreprise algérienne qui représente le pilier des télécommunications en Algérie. Elle a été créée le 10 Avril 2003 d'une séparation des Activités postales et télécommunication des anciens services de PTT, s'engage à fournir des services de télécommunication fiables pour répondre aux besoins évolutifs de ses clients et soutenir le développement économique et social du pays.

### ➤ Principaux services offerts :

1. Téléphone fixe.
2. Internet haut débit comme la connexion ADSL et VDSL, fibre optique.
3. Téléphonie mobile tels que les services mobiles et les réseaux 2G, 3G, 4G LTE.
4. Réseaux privés virtuels (VPN).
5. Hébergement de données et services cloud.

### ➤ Filiales et Divisions :

- Mobilis : Fournisseur de services mobiles.
- Algérie Télécom Satellite (ATS) : Services de communication par satellite.
- Djezzy : Partenaire dans le secteur des services mobiles.



*Chapitre I : Introduction aux réseaux mobiles*

## **I.1. Introduction :**

D'après le développement technologique dans la télécommunication, les réseaux mobiles sont devenus une composante essentielle de notre vie quotidienne, offrant une connectivité sans fil permettant aux individus de rester en contact et d'accéder à l'information et aux services à tout moment et en tout lieu. Les réseaux mobiles utilisent le concept cellulaire pour organiser leur infrastructure et fournir une connectivité sans fil à leurs abonnés.

Nous commencerons ce chapitre par une présentation des notions liées au réseau Cellulaire, puis décrirons les différentes générations du réseau qui ont évolué de manière significative, passant des premiers systèmes analogiques aux normes numériques sophistiquées telles que la 5G.

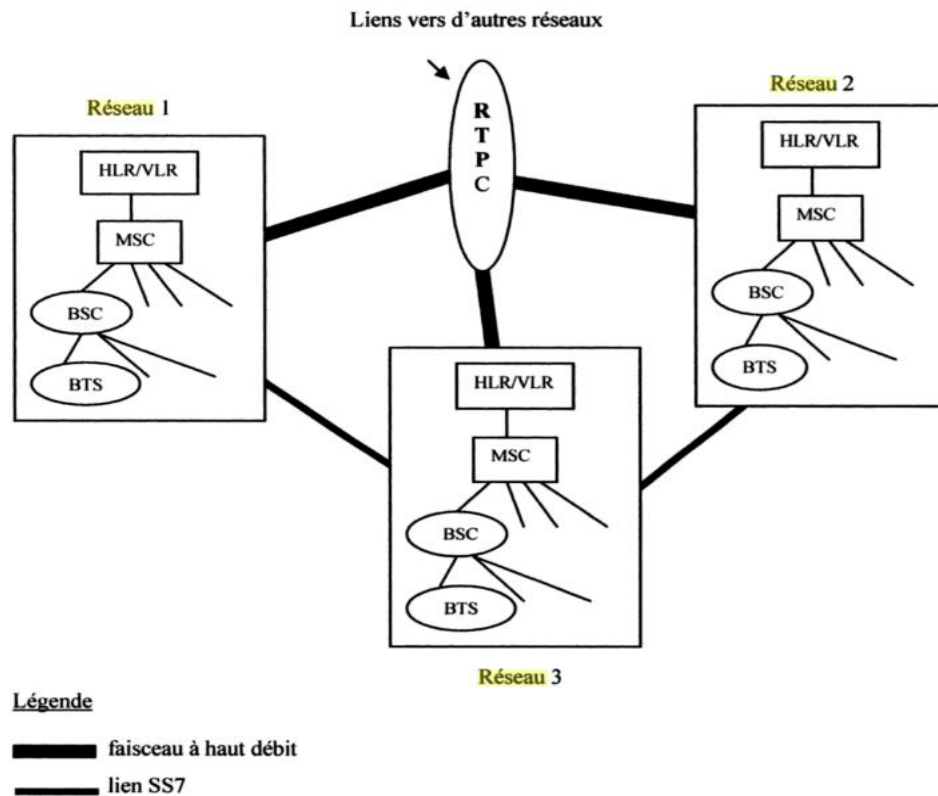
## **I.2. Les réseaux cellulaires :**

Un réseau cellulaire est également un réseau mobile, qui divise une région géographique en petites zones appelées "cellules", et chaque cellule contient une station de base qui contient au moins un émetteur-récepteur fixe qui assure la couverture du réseau pour la zone qu'il couvre. Les cellules adjacentes utilisent des ensembles de fréquences distinctes afin de prévenir les interférences entre elles, aussi un ensemble de cellules forme une couverture réseau globale pour un réseau mobile, ce qui permet aux appareils mobiles des utilisateurs finaux de maintenir la communication même lorsqu'ils se déplacent entre les différentes cellules.

### **I.2.1. Les caractéristiques basiques d'un réseau cellulaire :**

- ✓ Capacité à réutiliser les fréquences ce qui entraîne une augmentation de la couverture et de la capacité du réseau.
- ✓ Pour différencier les signaux cellulaires des autres émetteurs, les réseaux cellulaires emploient plusieurs technologies, notamment l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA), l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) et l'accès multiple par répartition en code (CDMA).
- ✓ Un réseau cellulaire est constitué d'un émetteur-récepteur de station de base (BTS) qui transfère les appels des appareils mobiles vers le contrôleur de station de base (BSC) correspondant. Le BSC coopère avec le centre de commutation mobile (MSC) pour assurer l'interface avec le réseau téléphonique public commuté (RTPC), le registre de

Localisation des visiteurs (VLR) et le registre de localisation du domicile (HLR) pour acheminer les appels sur différentes stations de base.[1], [2]



**Figure I.1** : Structure standard des réseaux cellulaires.[1]

### I.2.2. Les types des cellules:

- Cellules Macro : Ces cellules couvrent de grandes zones géographiques et sont principalement utilisées dans les zones rurales où la densité d'abonnés est relativement faible. Elles offrent une portée étendue et sont idéales pour fournir une couverture de base dans les zones peu peuplées.
- Cellules Micro : Les cellules micro sont de taille moyenne et sont utilisées dans les zones suburbaines où la densité d'abonnés est plus élevée. Elles offrent une capacité de traitement plus élevée que les cellules macro et sont efficaces pour couvrir des zones densément peuplées.
- Cellules Pico : Les cellules pico sont les plus petites et sont souvent déployées à l'intérieur de bâtiments, tels que les centres commerciaux, les aéroports, ou les stades. Elles sont conçues pour desservir un nombre réduit d'abonnés sur de courtes distances et offrent une capacité élevée dans des zones à forte densité de trafic. [2]

### I.3. L'évolution des normes téléphoniques :

Au cours des dernières décennies, la communication mobile a fait d'incroyables progrès, modifiant fondamentalement notre manière de nous connecter, de communiquer et d'accéder à l'information. Des premiers téléphones mobiles, aussi imposants qu'une brique et dotés de capacités limitées, aux smartphones élégants d'aujourd'hui bénéficiant de vitesses de données ultra-rapides, l'évolution des réseaux mobiles a été tout simplement stupéfiante.

Le déploiement commercial du premier réseau, connu sous le nom de Première Génération, a eu lieu vers la fin des années 1980. En raison de la demande croissante en termes de capacité, de sécurité et de mobilité, ils ont été progressivement remplacés par des solutions de deuxième génération et, plus récemment, de troisième génération. Actuellement, l'essor du mobile et du haut débit a stimulé l'évolution des systèmes 4G, également connus sous le nom de quatrième génération, et dans le but d'améliorer les performances la 5G a été apparue à la fin de 2020.[3]

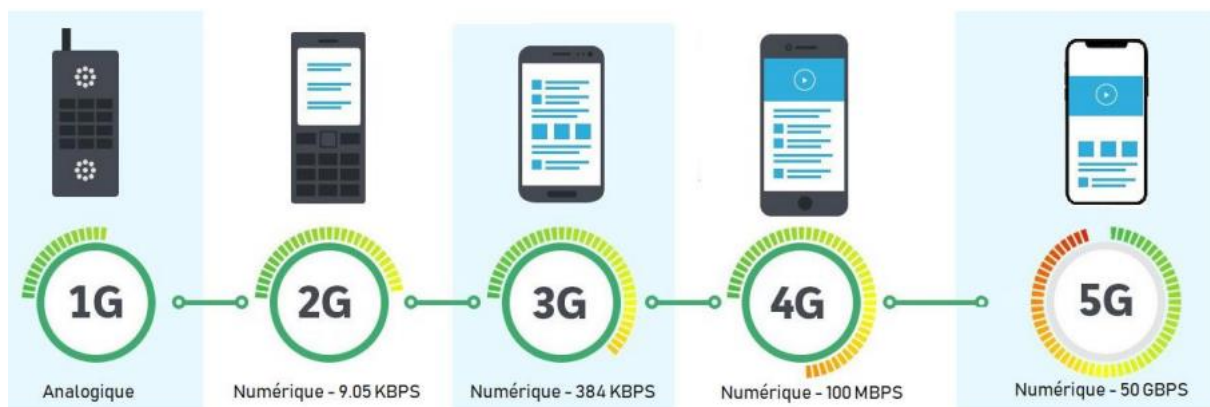


Figure I.2 : Développement des communications mobiles.[3]

#### I.3.1. Le réseau 1G :

La première génération des réseaux mobiles (notée 1G) a été introduite au milieu des années 1970. Elle est reconnue pour son système de communication analogique et à ses téléphones extrêmement encombrants qui n'ont peu de points communs avec les appareils modernes. Cette génération assure uniquement des échanges vocaux.[4]

Cette génération initiale (1G) repose principalement sur les normes suivantes :

- **Le système AMPS (Advanced Mobile Phone System) :** est une norme de téléphonie mobile analogique introduite aux États-Unis, qui repose sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).

- **Le système NMT (Nordic Mobile Telephone) :** a été le premier système de téléphonie mobile en Norvège et un point de départ en Europe.
- **Le système de communication totale (TACS) :** est la version européenne du modèle AMPS, qui a été largement adopté au Royaume-Uni puis en Asie. [4]

L'arrivée de la deuxième génération de réseaux mobiles a rendu la première génération obsolète, car elle est plus performante et entièrement numérique.[1]

### **I.3.2. Le réseau (2G) :**

Le réseau de deuxième génération marque la transition de la technologie analogique vers la technologie numérique, ce qui a entraîné une amélioration significative de la qualité de la voix, et une meilleure efficacité spectrale.

Les principaux standards des réseaux 2G sont : **le GSM(2G), GPRS (2.5G), et l'EDGE (2.75G).**[1]

#### **I.3.2.1. Le Réseaux GSM :**

Le réseau GSM Introduit dans les années 1990, il utilise les bandes de fréquences comprises entre [900,1800] MHz.

La standard GSM met en œuvre deux méthodes de liaison entre l'appareil mobile et la station de base : le CDMA (Accès multiple par répartition en code) et le TDMA (Accès multiple par répartition dans le temps).

La CDMA (Accès multiple par répartition en code) est une technologie qui exploite une méthode de spectre élargie pour transmettre un signal radio sur une grande variété de fréquences.

La TDMA (Accès multiple par répartition dans le temps) est une technologie qui utilise une méthode de découpage temporel des canaux de communication pour augmenter le volume de données transmis simultanément.[2]

### I.3.2.1.1. L'architecture du réseau GSM :

On peut schématiquement représenter un réseau radio-mobilité de la manière suivante :

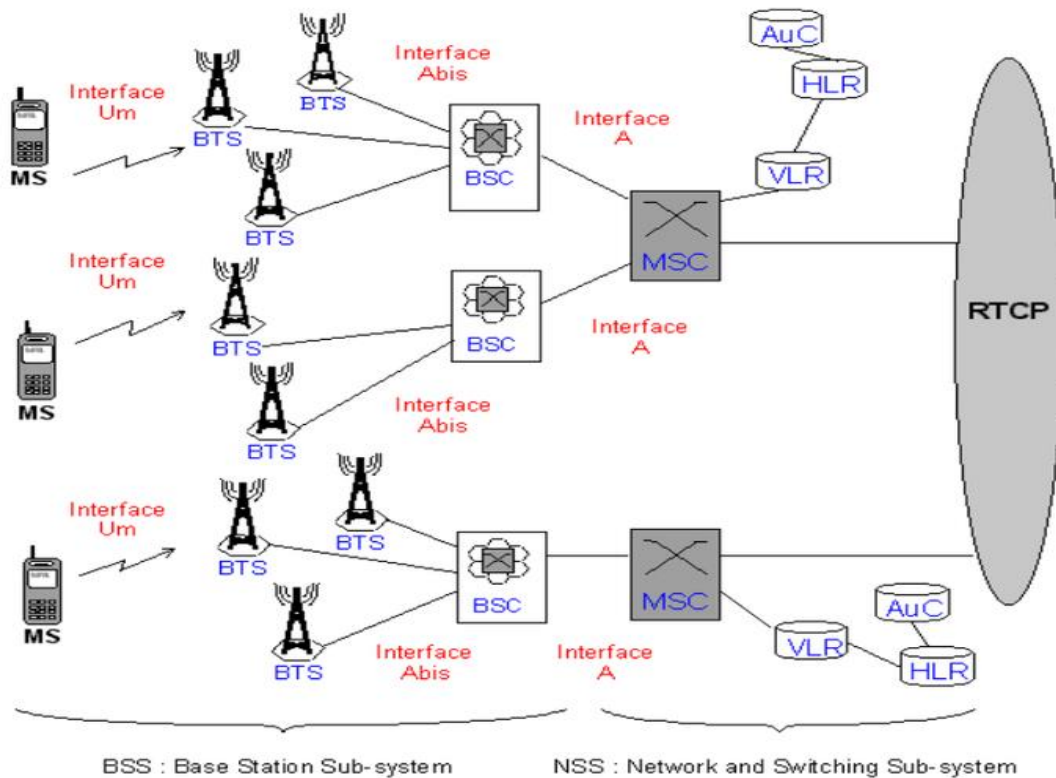


Figure I.3 : La structure d'un réseau GSM.[3]

Un réseau GSM se compose de trois sous-systèmes :

Le sous-système Radio BSS.

Le sous-système Réseau NSS.

Le sous-système d'exploitation OSS.[3]

#### ❖ Mobile Station :

La MS est l'équipement mobile qui constituée du téléphone portable et la carte SIM (Subscriber Identity Module). La SIM est une petite carte dotée de mémoire et d'un microprocesseur qui permet d'identifier l'abonné quel que soit le dispositif utilisé. De ce fait, il devient réalisable de recevoir et d'émettre des appels, ainsi que d'accéder à tous les services, en insérant aisément la carte SIM dans n'importe quel appareil.[5]

#### ❖ Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-system) :

Le principal rôle du BSS est de gérer la communication radio entre les téléphones mobiles et le réseau de téléphonie. Il est composé de deux parties :

- La station de base BTS : Le rôle de BTS est de gérer l'émission et la réception avec les mobiles dans sa zone de couverture, offrant une liaison entre le MS et le BSC.
- Le BSC (Base Station Controller) : Le BSC occupe une place centrale dans le BSS. Il gère les stations de bases. Ses fonctions clés englobent l'attribution des canaux, la gestion du saut de fréquence, la coordination des communications intercellulaires et la supervision de la signalisation sur la voie radio.[5]

### ❖ **Le sous-système réseau NSS (Network Station Sub-system) :**

Ses principales responsabilités consistent essentiellement à gérer la commutation et le routage. Alors grâce à lui que l'accès au réseau public RTCN est rendu possible.

Les composants qui constituent le NSS sont :

- Le MSC (Mobile Services Switching Center) : constitue le cœur du NSS, il administre en utilisant les données fournies par le HLR et le VLR. Assurant la gestion des appels provenant de divers réseaux et la commutation entre les BSC et les MSC, tout en jouant un rôle de gateway et en supervisant les handovers.
- Le HLR (Home Location Register) : Quand un utilisateur s'abonne au réseau GSM, ses données d'identification sont enregistrées dans le HLR. Ce dernier transmet au VLR des informations sur les abonnés lors de leurs déplacements entre différentes zones de localisation.
- Le VLR (Visitor Location Register) : Il stocke temporairement les données des abonnés de sa zone géographique, en les demandant à l'HLR de l'abonné. Souvent, le VLR et le MSC sont installés ensemble pour simplifier la structure du système et assurer une correspondance entre les zones géographiques qu'ils contrôlent.
- L'AuC (Authentication Center) : Il garantit l'authentification et la sécurité des abonnés.[5]

### ❖ **Le sous-système opérationnel OSS (Operating Sub-System) :**

Il est responsable de la gestion et de la surveillance du système, cette fonction bénéficiant de la plus grande flexibilité dans la norme GSM en termes d'implémentation. La surveillance du réseau est effectuée à divers niveaux :

- ✚ Identification de pannes.
- ✚ Activation de site.
- ✚ Ajustement des paramètres.

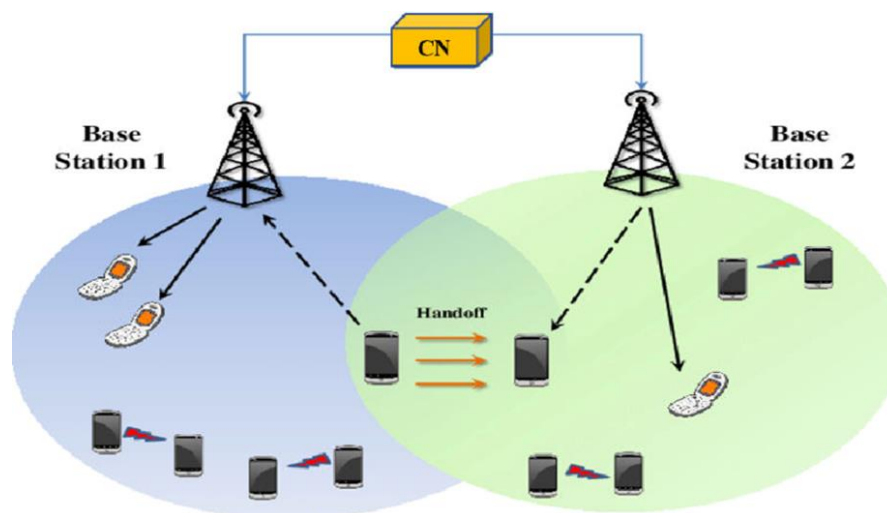
✚ Génération de statistiques.[5]

❖ **Les interfaces :**

- ✓ L'interface Um : Est l'interface entre les sous-systèmes MS et la BTS, communément appelée "interface air", elle transporte les données vocales et de messageries aussi les données internet.
- ✓ L'interface ABIS : Est l'interconnexion entre la BTS et le BSC.
- ✓ L'interface A : Est l'interconnexion entre le BSS et le NSS.[5]

**I.3.2.1.2. Le passage intercellulaire dans le réseau GSM :**

Est également appelé le transfert intercellulaire (Handover), consiste en l'ensemble des processus qui facilitent le passage d'un téléphone mobile d'une cellule à une autre sans interruption de la conversation.



**Figure I.4 :** le Handover dans le GSM. [6]

L'une des caractéristiques les plus importantes d'un système de télécommunications cellulaires est qu'il est divisé en de nombreuses petites cellules afin de maximiser la réutilisation des fréquences et la couverture. Cependant, il doit être possible de maintenir la connexion lorsque le téléphone passe d'une cellule à une autre. La procédure est appelée transfert ou handover, le processus de transfert dans tout système cellulaire est très important. Il s'agit d'un processus critique qui peut entraîner des appels perdus s'il n'est pas effectué correctement. Les appels interrompus sont particulièrement agaçants pour les utilisateurs, et lorsque le nombre d'appels interrompus augmente, la satisfaction de la clientèle diminue et ils sont susceptibles de passer à un autre réseau. Par conséquent, le transfert dans le GSM est un domaine de préoccupation particulière dans le processus de développement des normes. La figure I.4

montre les étapes du processus de transfert, lorsqu'un abonné passe de la cellule bleue à la cellule verte, le processus de transfert est lancé pour maintenir l'appel.

### A. Types de handover :

Pour les systèmes uniquement GSM, il existe quatre formes de transfert intercellulaire qui peuvent être effectuées à l'intérieur du système GSM :

- 1) **Transfert intra-BTS** : Ce type de transfert intercellulaire se produit lorsque la fréquence ou la tranche d'un téléphone mobile doit être modifiée en raison d'interférences. Dans ce type de transfert GSM, le téléphone mobile reste connecté au même BTS, mais le canal ou la tranche est changé.
- 2) **Transfert inter-BTS intra BSC** : Il se produit lorsqu'un téléphone mobile quitte la zone d'un BTS et passe à une autre gérée par le même BSC. Avant de libérer le lien entre l'ancien BTS et le MS, le BSC peut lancer le transfert et attribuer une nouvelle tranche dans un nouveau canal.
- 3) **Transfert inter-BSC** : Il se produit lorsque le mobile quitte la portée des cellules gérées par un BSC, le MS passe d'un BTS à un autre BTS qui appartient à un autre BSC. Le MSC est en charge de ce transfert dans ce cas.
- 4) **Transfert inter-MSC** : Ce type de transfert se produit lorsque le mobile quitte la zone du MSC pour rejoindre une autre zone du MSC, les deux MSC concernés négocient pour maîtriser le transfert.[6]

### I.3.2.2. Réseaux GPRS (2.5 G) :

GPRS signifie "General Packet Radio Service" est Introduit en 2001 désigner comme la 2.5G, Il présente une amélioration significative des débits par rapport au GSM, aussi Il permet le transfert de données sous forme de paquets, ce qui autorise les utilisateurs à émettre et recevoir des données que le dispositif soit connecté ou déconnecté.[7]

### I.3.2.3. Réseau Edge (2.75G) :

Edge signifie (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), il représente une amélioration du GSM(2G) et une évolution du GPRS, aussi il est employé comme une étape intermédiaire pour passer à la troisième génération de téléphonie mobile (3G).[7], [8]

### I.3.3. La troisième Génération (3G) :

La troisième génération de technologies sans fil s'appelle la 3G. Elle apporte des avancées par rapport aux technologies sans fil antérieures, comme la transmission à grande vitesse, l'accès multimédia avancé et l'itinérance à l'échelle mondiale. Avec les téléphones mobiles, la 3G est principalement employée pour les connecter à Internet ou à d'autres réseaux IP, permettant ainsi des appels audio et vidéo, des téléchargements de données et des consultations en ligne, cette dernière comporte plusieurs technologies.

#### I.3.3.1. L'architecture du réseau UMTS (3G) :

Deux sous-réseaux composent le réseau UMTS (3G). Le réseau d'accès radio (RAN, Radio Access Network ou UTRAN, UMTS Terrestrial RAN) est le premier sous-réseau qui assure la connexion de toutes les activités radio. En ce qui concerne le deuxième sous-réseau, il s'agit du réseau central (CN : Core Network) chargé des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Afin de compléter le système, il est également nécessaire d'identifier le terminal utilisateur UE (User Equipment) situé entre l'utilisateur proprement dit et le réseau d'accès radio (voir la Figure I. 5).[9]

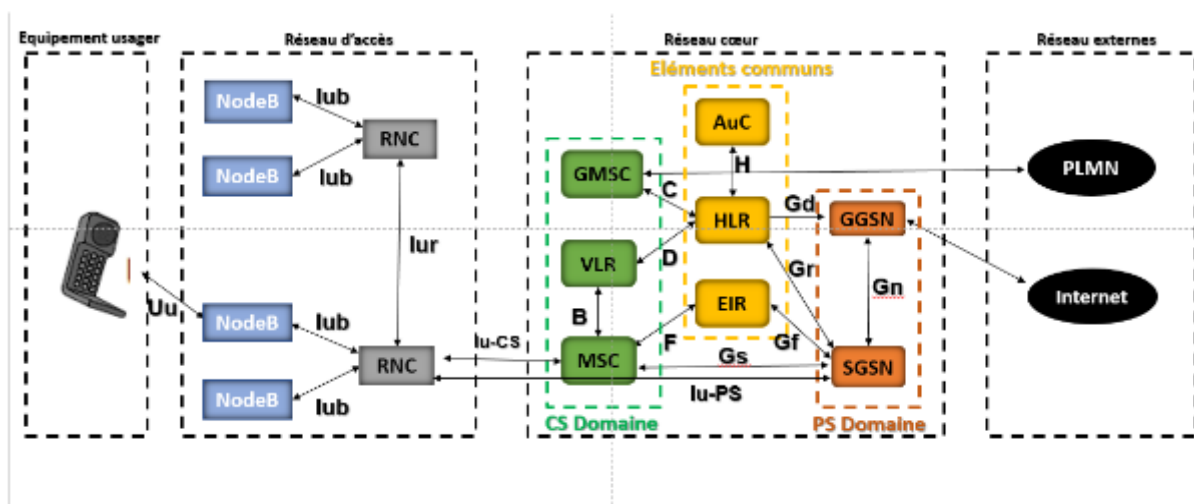


Figure I. 5 : Architecture du réseau UMTS.[8]

#### A. Mobile station :

Cette station représente le terminal de l'utilisateur est composé de deux éléments :

- **Le terminal mobile (ME : Mobile Equipment) :** il s'agit d'un émetteur-récepteur électronique et d'un périphérique d'interface homme-machine. Il peut prendre diverses formes (radiotéléphone mobile, terminal de transmission de données ou multimédia, visiophone mobile ...).[9]
- **La carte USIM (Universal Subscriber Identity Module) :** est une carte à puce dont les caractéristiques sont très proches de celles d'une carte SIM dans un réseau GSM. Cela englobe l'identité de l'abonné ainsi que quelques détails concernant son abonnement, les algorithmes d'authentification et les clés de chiffrement. [9]

**B. Le réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network) :**

Son rôle est d'assurer le transfert des données de l'utilisateur entre le réseau central et l'utilisateur. Il se compose de :

- **Le Node B :** Le Node B s'occupe de la partie physique du système OSI (codage et décodage). Il a pour fonction de recevoir et de transmettre la radio entre les cellules du réseau d'accès de l'UMTS et l'équipement utilisateur.
- **Le RNC (Radio Network Controller) :** Son rôle principal consiste à transmettre les échanges entre les NodeB et le réseau UMTS central. Il opère dans les couches 2 et 3 du modèle OSI (surveillant les performances, attribuant du code). Le point d'accès de tous les services au réseau central est le RNC.[9]

**C. Les interfaces de communication :** Différents types d'interfaces permettent les communications au sein du réseau UMTS :

- **Uu :** l'interface entre le périphérique utilisateur et le réseau d'accès RAN.
- **Lu-PS :** Cette interface permet au réseau d'accès RAN de communiquer avec le réseau central UMTS, ce qui permet au RAN de communiquer avec le SGSN.
- **Iu-CS:** Gère la communication entre le RNC et le MSC/VLR (voix).
- **Iur :** l'interface qui facilite la communication entre deux contrôleurs radio RNC.
- **Iub :** l'interface qui met en relation le **NodeB** et un **RNC**.[9]

**D. Réseau cœur :** Le réseau cœur de l'UMTS se compose de :

- **MSC (Centre de conversion mobile des services)** : Il est responsable de l'établissement de la communication entre deux appareils mobiles distincts, et effectue le transfert de données, y compris les messages courts.
- **L'établissement du GMSC (Gateway MSC)** : constitue une interface entre le réseau UMTS et les réseaux externes. Dans cette situation, le **HLR** est utilisé pour collecter les informations de l'abonné, puis il les transmet au **MSC**.
- **Le module VLR (Visitor Location Register)** : Offre une base de données, qui est connectée à un ou plusieurs **MSC** différents. Le **VLR** est responsable de la conservation des équipements des utilisateurs dans une zone de localisation (LA).[8]

Grace à ces entités le réseau cœur de l'UMTS assure ces deux fonctions suivantes :

- **Commutation de paquets** : ce mode de transmission s'appuie sur le réseau IP où les adresses IP sont responsables de la transmission et la réception des données entre les appareils. Les fonctions liées à ce dernier sont : le **SGSN** qui assure la gestion des sessions, la mobilité, la communication avec les autres zones du réseau, et d'autre part y'a le **GGSN** qui joue le rôle d'un routeur et gère la communication entre les réseaux à commutations paquets externes et le réseau à commutation de paquets UMTS.[10]
- **Commutation de circuits** : Ce mode de transmission dans lequel un canal est réservé pendant un temps particulier afin de permettre le transfert des données à un ensemble d'utilisateurs et est libéré à la fin de la transmission. Les deux fonctions liées à ce mode sont : le **MSC** qui gère les appels à commutations de circuits et le **GMSC** qui met en relation les réseaux externes et internes.[9], [10]

**I.3.4. HSDPA (3,5G)** : Le terme "**High-Speed Downlink Packet Access**" est une abréviation pour désigner un nouveau protocole de téléphonie mobile. Il propose un débit encore plus élevé de 14,4 Mbps sur la liaison descendante et 2 Mbps sur la liaison montante (7 fois plus rapide que la 3G).[11]

**I.3.5. HSUPA (3,75G)** : est une abréviation de **High-Speed Uplink Packet Access**, est une version conçue pour des vitesses de liaison montante élevées .il propose des vitesses allant jusqu'à 5,8 Mbps afin d'assurer un transfert plus rapide des données.[12]

### I.3.6. Le réseau 4G :

La 4G correspond à la LTE-Advanced, Elle se distingue par une augmentation considérable du débit de données, pouvant atteindre jusqu'à 150 Mb/s dans des conditions favorables, prenant ainsi le relais direct de la 3G et de la 3G+.

Le réseau 4G est caractérisé par des débits supérieurs à ceux de l'ADSL, la 4G et la 4G+ atteignent des vitesses allant de 10 à 80 Mbit/s par utilisateur. Cela représente une puissance dix fois supérieure à celle de la 3G+. Par conséquent, leur rapport qualité-prix est considérablement amélioré.

Ainsi la rapidité de la 4G facilite l'accès rapide à vos outils bureautiques et permet le transfert instantané de vidéos, de photos et de textes en quelques secondes seulement. Cela se traduit par un gain de temps significatif, améliorant ainsi considérablement les conditions de travail des salariés et des entrepreneurs. [2]

#### I.3.6.1. Normes de la 4G :

- **LTE** : Le LTE (Long-TermEvolution) est une norme sans fil de la 4G qui a été définie par le consortium 3GPP, il offre une capacité et une vitesse de réseau accrues pour les téléphones portables et autres appareils cellulaires par rapport à la technologie de troisième génération (3G).
- **Wimax** : Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) désigne une norme de communication sans fil basée sur IEEE 802.16. Il s'agit d'une technologie récente pour les réseaux sans fil point à multipoint, ce qui implique qu'elle définit la manière dont différents appareils sans fil communiquent par l'intermédiaire de signaux radio sur une vaste zone géographique. Il existe deux types de WiMAX sont :
  - WiMAX sans fil fixe : Dans cette spécification de WiMAX sans fil fixe, un individu peut accéder à l'Internet depuis un ordinateur de bureau à domicile.
  - WiMAX sans fil mobile : Dans cette spécification de WiMAX sans fil mobile, un individu peut accéder au réseau WiMAX à l'aide d'ordinateurs portables et d'appareils mobiles tels que des smartphones.[2]
- **UMB** : Ultra Mobile Broadband (UMB) fait référence à une technologie de communications mobiles de quatrième génération (4G) qui succède à la norme de technologie mobile Code Division Multiple Access 2000 (CDMA2000). UMB atteint des débits de données rapides avec des vitesses descendant allant jusqu'à 275 Mbps et montant jusqu'à 75 Mbps.[13]

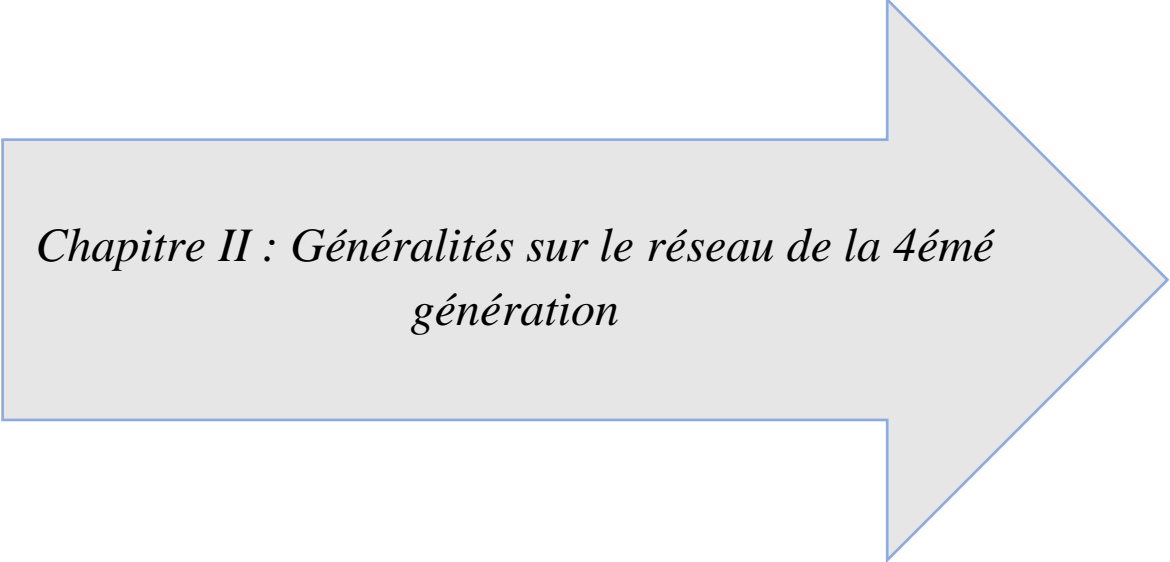
### **I.3.7. La cinquième génération (5G) :**

La « 5G » est une évolution technologique majeure dans le domaine des télécommunications sans fil, qui s'inscrit dans la continuité des générations précédentes de la téléphonie mobile. Elle s'engage à bouleverser la manière dont le monde communique. L'objectif de cette nouvelle génération (5G) est d'accroître la rapidité et la réactivité des réseaux sans fil. Selon certaines estimations, la vitesse de transmission des données sur les connexions sans fil haut débit pourrait atteindre 20Gbit/s, ce qui est supérieur à celle des réseaux filaires, et une latence inférieure à 1ms pour les usages à boucle de retour en temps réel. Grâce à sa bande passante et à sa technologie d'antenne avancée, la 5G offre également la possibilité d'une croissance exponentielle des données transmises sur les systèmes sans fil.[14]

### **I.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre d'introduction aux réseaux cellulaires, nous avons présenté les différentes générations avec une vue générale sur l'évolution des réseaux mobiles.

En premier nous avons vu la première génération qui est basé sur l'analogique suivie de la deuxième génération ainsi son architecture et ses deux évolutions, Pour la troisième partie nous avons parlé de l'UMTS et son architecture et l'évolution de la 3ème génération. Pour finir nous avons défini la quatrième génération et les normes de cette dernière.



*Chapitre II : Généralités sur le réseau de la 4<sup>ème</sup>  
génération*

## II.1. Introduction :

Actuellement, la communication mobile est devenue un élément essentiel dans le monde entier, et grâce aux progrès technologiques, nous sommes passés de la communication analogique traditionnelle à la communication numérique, et aujourd'hui nous disposons de la technologie 4G, la plus rapide et la plus récente qui offre un accès internet à haut débit et des fonctionnalités multimédias améliorées. Cette technologie a été Lancée pour la première fois en 2009 en Suède et en Norvège et depuis lors, elle est devenue la technologie standard pour la communication mobile à l'échelle mondiale, La principale différence entre la 4G et les générations précédentes de technologie est la vitesse et l'efficacité du transfert de données.

Dans ce chapitre, nous discuterons de ce qu'est la technologie 4G et de son fonctionnement, ainsi ces caractéristiques et ces paramètres.

## II.2. Caractéristique d'accès LTE :

Le LTE est élaboré pour diminuer la latence (Cela fait référence à la durée requise pour que les données se déplacent à travers le réseau) ce qui est essentiel pour les applications nécessitant une communication en temps réel, comme la voix sur IP (VoIP), la vidéoconférence et les jeux en ligne. Ainsi il augmente la bande passante, ce qui revêt une importance particulière pour Internet. La capacité de transmission peut être étendue jusqu'à 100 Mbit/s en téléchargement et jusqu'à 50 Mbit/s en téléversement.

LTE offre aussi des mécanismes de sécurité avancés pour protéger les communications des utilisateurs contre les attaques et les intrusions, notamment le chiffrement des données, l'authentification forte et la gestion des identités. [15]

## II.3. L'architecture du réseau LTE(4G) :

L'architecture de cette quatrième génération est basée sur un réseau vraiment différent par rapport aux générations précédentes mais garde toujours un peu d'esprit de ces dernières. Ce changement s'appuie sur un nouveau réseau appelé « Evolved Packet Core ».

Ce réseau 4G se compose principalement des trois éléments suivants comme la montre la figure II.1 :

- L'équipement utilisateur (UE).
- Le réseau d'accès radio terrestre UMTS évolué (E-UTRAN).

- Le réseau cœur (EPC).

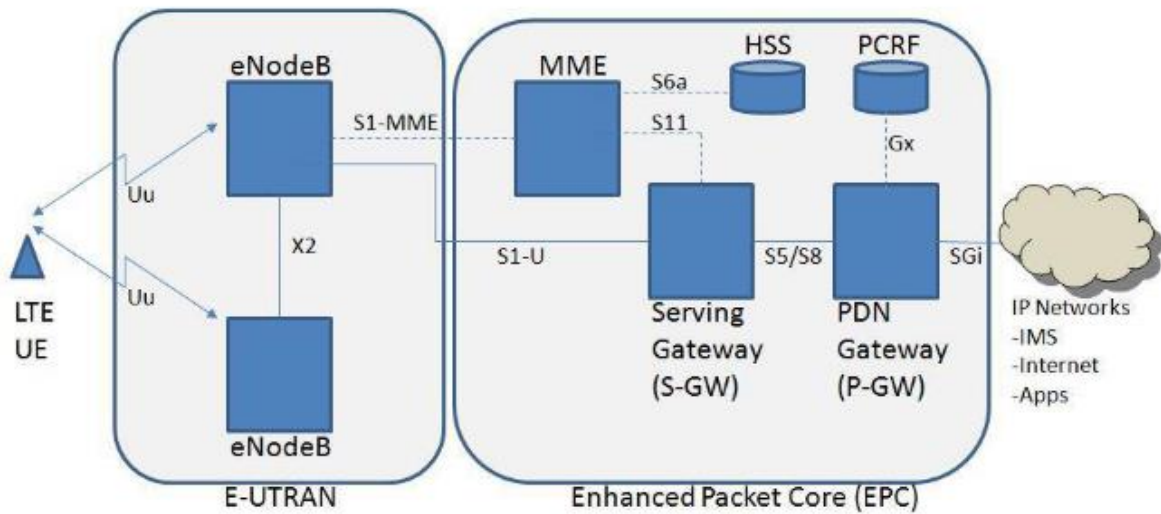


Figure II.1: Architecture de la 4G LTE.[16]

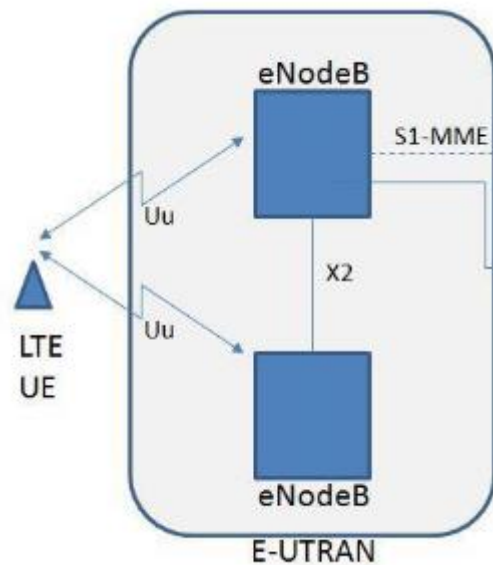
### II.3.1. L'équipement utilisateur (UE) :

La structure interne de l'équipement utilisateur pour le réseau LTE est vraiment identique à celle de l'UMTS et du GSM, qui est l'équipement mobile (ME). Ce dernier se compose des éléments de base suivants :

- La terminaison d'emploi mobile (MT) est responsable de toutes les tâches de communication.
- Les flux de données sont achevés dans l'équipement terminal (TE).
- La carte SIM employée dans les dispositifs LTE est appelée Universal Integrated Circuit Card (UICC). Les renseignements des abonnés enregistrés sur une carte USIM ressemblent à ceux d'une carte SIM 3G, incluant le numéro de téléphone de l'abonné, l'identité du réseau domestique et les clés de chiffrement.

### II.3.2. Le réseau d'accès radio terrestre UMTS évolué(E-UTRAN) :

Le système d'accès radio du réseau LTE est simplifié par rapport aux générations précédentes, ne comprenant que des eNodeB qui assurent la communication radio avec l'E-UTRAN. D'après la figure II.2 ci-dessous.



**Figure II.2:** La partie d'accès radio (E-UTRAN).[16]

**A. Les stations de base (L'eNodeB) :** L'eNodeB est une station de base utilisée dans les réseaux 4G, équivalente à la BTS dans les réseaux 2G et NodeB dans l'industrie UMTS. L'eNodeB est responsable de la gestion des dispositifs mobiles dans une ou plusieurs cellules et garantit la communication radio entre un noyau de paquets évolué ou EPC et les dispositifs mobiles.

- Lorsqu'un eNodeB est connecté à un dispositif mobile LTE, il peut effectuer deux fonctions principales : En utilisant les fonctions de traitement de signal analogique et numérique de l'interface air LTE.
- L'eNodeB peut envoyer et recevoir des signaux radio vers et depuis tous les appareils mobiles.
- Les instructions de transfert sont transmises à tous les appareils de l'eNodeB à un niveau inférieur, ce qui permet de contrôler leur fonctionnement.[17]

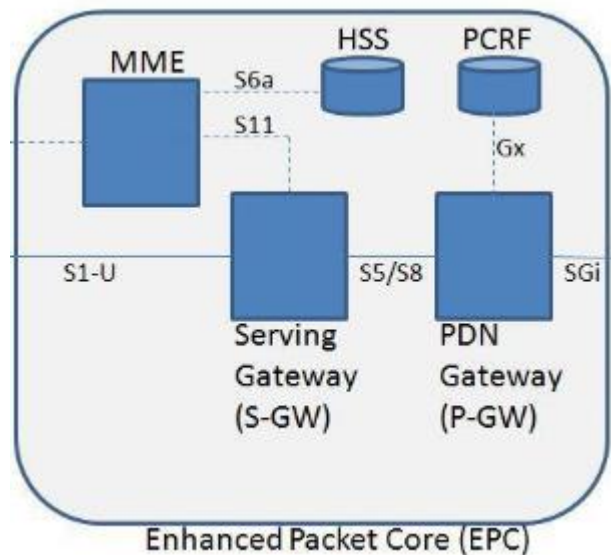
**B. Les interfaces :**

- **L'interface S1 :** C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, afin de transférer les paquets et aussi pour la signalisation.
- **L'interface Uu :** représente l'interface entre l'équipement utilisateurs et le réseau d'accès E-UTRAN.

- **L'interface X2** : C'est une interface logique qui permet de relier deux ou plusieurs eNodeB dans l'E-UTRAN. Il sert à signaler et à transmettre des données entre les eNodeB adjacents.[17]

### II.3.3. Le réseau cœur (Evolved Packet Core) :

L'architecture de réseau Evolved Packet Core (EPC) est conçue pour les réseaux mobiles et offre la possibilité de proposer des services multimédia IP. Il s'agit de la plateforme principale du système LTE, qui est la technologie principale employée dans les communications mobiles 4G. L'EPC garantit le transport sécurisé des informations des utilisateurs, l'authentification et la gestion de la mobilité entre l'équipement utilisateur (UE) et le prestataire de services. La **figure II.3** ci-dessous explique mieux les composants principaux de ce dernier.[18]



**Figure II.3** : l'architecture de réseau cœur (EPC).[16]

#### A. Les entités du réseau cœur EPC :

- **MME (Mobility Management Entity)** : L'entité MME est située entre le réseau central et le réseau radio, à la limite de LTE EPC. La MME est chargée de gérer les signaux entre les UE actifs et le réseau dans le cadre de l'architecture LTE EPC. Il gère également la communication entre les eNodeB et le réseau central. En communiquant avec le HSS pour garantir la fonctionnalité continue, MME authentifie les UE, tandis que la fonction de mobilité permet à l'UE d'accéder au réseau tout en enregistrant son emplacement et son état.

- **HSS (Home Subscriber Server) :** Le HSS représente la base de données principale qui renferme tous les renseignements pertinents concernant les informations et l'authentification d'un abonné. Le serveur de connexion à domicile fournit également des données concernant les appels et la session IP. Ce serveur facilite la gestion des informations de leurs abonnés en temps réel pour les fournisseurs de services. Il est possible qu'un réseau mobile régulier nécessite un seul HSS, mais il peut en avoir plusieurs. Si deux ou plusieurs sont présents, ils doivent interagir et vérifier la mise à jour de leurs bases de données, car les serveurs doivent avoir une base de données synchronisée afin de fonctionner de manière optimale.
- **SGW (Serving Gateway) :** La gestion du trafic de données utilisateur est assurée par un nœud de passerelle de desserte, mais il n'est pas responsable des données de signalisation utilisées. Les données IP provenant des Unions européennes sont envoyées au réseau LTE de base. Les paquets IP entrants et sortants sont également transmis par le SGW afin d'améliorer la collaboration système et de servir d'ancrage pour l'UE lorsqu'il se déplace d'un eNodeB à un autre.
- **PGW (Packet Data Network Gateway) :** Le nœud de réseau PGW permet de relier l'EPC aux réseaux IP externes. La PGW accomplit cette tâche en transportant les paquets vers et depuis des réseaux IP externes. En plus de cela, il attribue également une adresse IP à l'ensemble des Unions européennes et met en place diverses politiques sur le trafic utilisateur IP, comme le filtrage de paquets.
- **Fonction de politique et de réglementation de tarification (PCRF) :** Le PCRF s'occupe de détecter les flux de données de services et contribue à l'application des politiques et à la tarification basée sur les flux. Il a aussi la charge de gérer la qualité de service et de définir le système de charge. L'objectif de ce nœud est de garantir que les utilisateurs bénéficient de services et soient facturés en accord avec le contrat.[19]

### **B. Les interfaces :**

- **L'interface S6a :** représente l'interface entre MME et HSS et sert à transférer l'abonnement et les informations d'authentification nécessaires pour authentifier l'accès de ceux-ci.
- **L'interface S5/S8 :** l'interface S5 permet de relier S-GW et P-GW pour offrir des fonctionnalités de gestion de tunnel. On utilise aussi S8 entre SGW et P-GW c'est principalement la même interface à l'exception du fait que le S5 est connecté à un réseau

LTE, tandis que le S8 est une interface de travail Internet, utilisée lors de l'itinérance entre différents réseaux. En d'autres termes, S8 garantit les échanges entre S-GW dans le réseau visité et P-GW.

- **L'interface S11** : sert à connecter la MME aux S-GW. Grâce à cette interface, il est possible de superviser la mise en place des canaux supports dans le réseau central.
- **L'interface Gx** : assure le lien entre le P-GW et le PCRF afin de transmettre la politique et les règles de tarification du PCRF au P-GW.
- **L'interface SGi** : Cette interface sert à relier le P-GW à un réseau de données par paquets, qu'il soit interne ou externe à l'opérateur LTE.[19]

### II.4. Les canaux LTE :

Le standard 3GPP a établi trois types de canaux normalisés dans LTE pour segmenter les divers types de données et faciliter leur transport ordonné à travers le réseau d'accès radio. Ces canaux comprennent :

- **Les canaux logiques** : offrent des services au niveau de la couche MAC à l'intérieur de la structure protocolaire de la LTE.
- **Les canaux physiques** : sont chargés de transporter à la fois les données utilisateur et les messages de contrôle.
- **Les canaux de transport** : fournissent les données de transfert à la couche de contrôle d'accès au support (MAC) ainsi qu'aux couches supérieures.[7]

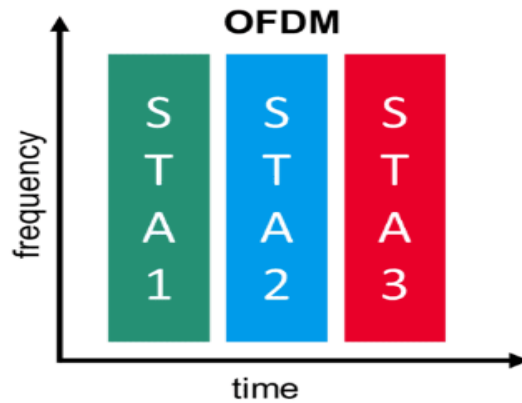
### II.5. Les techniques d'accès dans le réseau 4G LTE :

#### II.5.1. L'OFDM :

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une forme de modulation multi-porteuse, elle fractionne la bande passante en plusieurs sous porteuses étroitement espacées, 15Khz entre chaque sous porteuses et sont orthogonales entre elles.

Ensuite, cette propriété d'orthogonalité permet d'éliminer le besoin de bandes de garde, car elles ne provoquent pas d'interférences entre elles, ce qui lui permet d'utiliser efficacement la bande passante disponible. [20]

L'un des paramètres clés associés à l'utilisation de OFDM dans LTE est le choix de la largeur de bande et plus la largeur de bande est grande, plus la capacité du canal est grande. Les largeurs de bande de canal choisies pour LTE sont les suivantes : [1.4, 3, 5, 10, 15, 20] MHz.



**Figure II.4 :** Principe de fonctionnement de la technique OFDM.

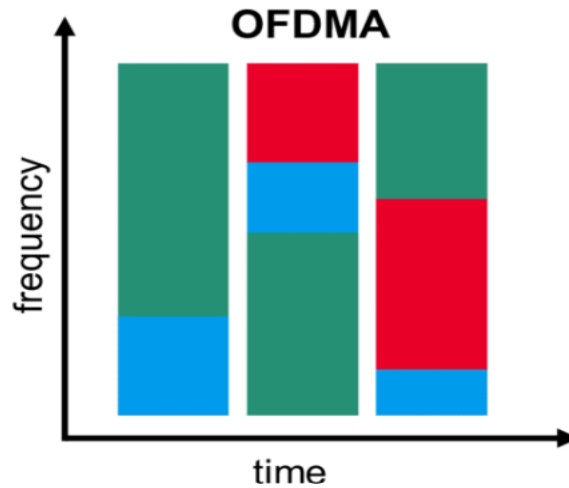
### II.5.1.1. Préfixe cyclique :

Dans les zones où l'interférence entre symboles est prévisible, elle peut être évitée en insérant une période de garde dans le timing au début de chaque symbole de données. Ainsi, une section de la fin du symbole peut être copiée et placée au début. Cette technique est appelée préfixe cyclique, ou CP.

La longueur du préfixe cyclique CP revêt une importance significative. S'il n'est pas suffisamment long, il ne pourra pas compenser la propagation des retards de réflexion multi-trajets. S'il est trop long, il réduira la capacité de débit de données. Pour LTE, la longueur standard du préfixe cyclique a été fixée à 4,69  $\mu$ s. Cela permet au système de prendre en charge des variations de trajet allant jusqu'à 1,4 km. Avec la longueur de symbole dans LTE fixée à 66,7  $\mu$ s. [21]

### II.5.2. OFDMA :

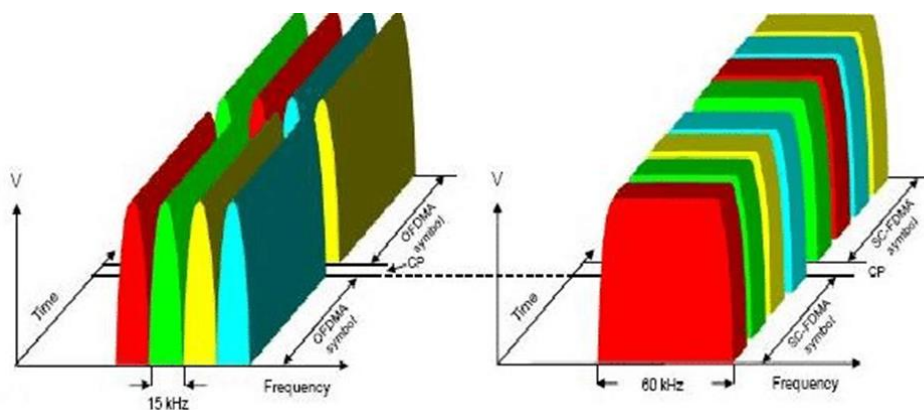
L'OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access est le mode de multiplexage utilisé pour la transmission descendante, la différence entre l'OFDM et l'OFDMA est l'OFDM capable de prendre en charge un utilisateur à tout moment donné et L'OFDMA peut faciliter la communication avec plusieurs utilisateurs simultanément dans la direction de liaison descendante. [15]



**Figure II.5 :** Diagramme de fonctionnement de la technique OFDMA.

### II.5.3. SC-FDMA :

SC-FDMA ou Single Carrier Frequency Division Multiple Access est une variante de la technique d'accès multiple basée sur l'OFDM qui utilise une seule porteuse, contrairement à l'OFDMA, qui utilise plusieurs porteuses et elle est utilisée dans la transmission montante en raison de son efficacité énergétique, ce qui assure une meilleure autonomie de la batterie pour les téléphones mobiles. Dans le SC-FDMA, les symboles sont pré-codés par une Transformée de Fourier Discrète (DFT) avant d'appliquer la Transformée de Fourier Inverse (IFT), ce qui réduit le rapport puissance crête sur moyenne. [15]



**Figure II.6 :** diagramme représente la différence entre L'OFDM et SC-OFDM.[7]

### II.6. La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) :

Dans le domaine des communications sans fil, la technologie MIMO implique l'utilisation de diverses antennes pour transmettre et recevoir des signaux. Les émetteurs et les récepteurs disposent de plusieurs antennes, ce qui permet d'améliorer considérablement les performances

de communication (amélioration du débit, réduction de la probabilité de coupure du lien radio, amélioration de l'efficacité spectrale...). Selon les conditions et les divers environnements sans fil, quatre modes de travail MIMO sont couramment utilisés. Les modes de ce système sont mieux représentés dans la figure suivante.[19]

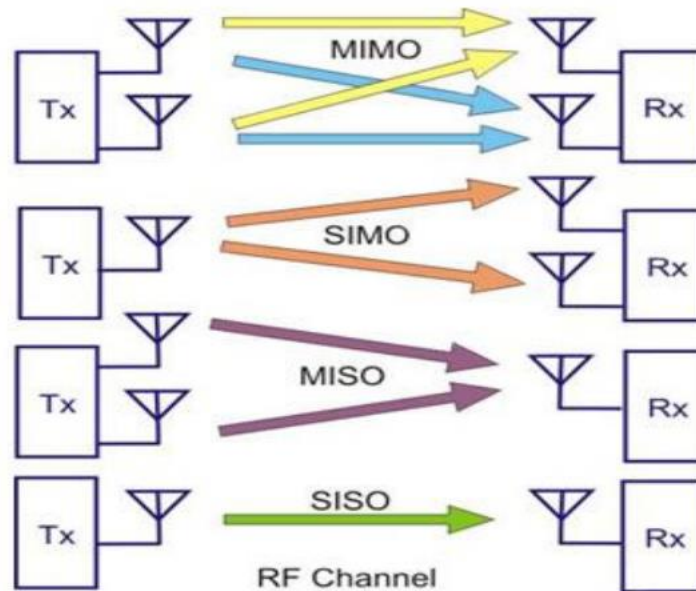


Figure II.7 : Les modes d'un système MIMO.[15]

### II.7. LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced) :

La LTE Advanced ou la LTE-A est une version avancée de la norme de réseau mobile, supérieure à celle de son prédécesseur LTE. Des données peuvent être transmises à des vitesses allant jusqu'à 1 Gbit/s grâce aux réseaux LTE-Advanced. Cependant, les réseaux LTE ne sont pas en mesure d'atteindre 300 Mbit/s. Toutefois, l'augmentation de la demande de bande passante mobile permet aux opérateurs d'utiliser la technologie LTE-Advanced afin d'accroître la capacité. La technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) est employée par les réseaux LTE-Advanced afin de transmettre des données de manière plus rapide avec plusieurs signaux. Pour recevoir ces signaux, la technologie MIMO requiert la présence de plusieurs antennes. Cela explique la nécessité de plusieurs antennes pour recevoir ces signaux sur les smartphones et les tablettes.[22]

### II.8. LTE-Advanced Pro (Long Term Evolution-Advanced Pro) :

Après le LTE (4G) et le LTE-Advanced (LTE-A), la LTE Advanced Pro est la nouvelle norme de la prochaine phase de développement des mobiles. Cette dernière présente des caractéristiques améliorées :

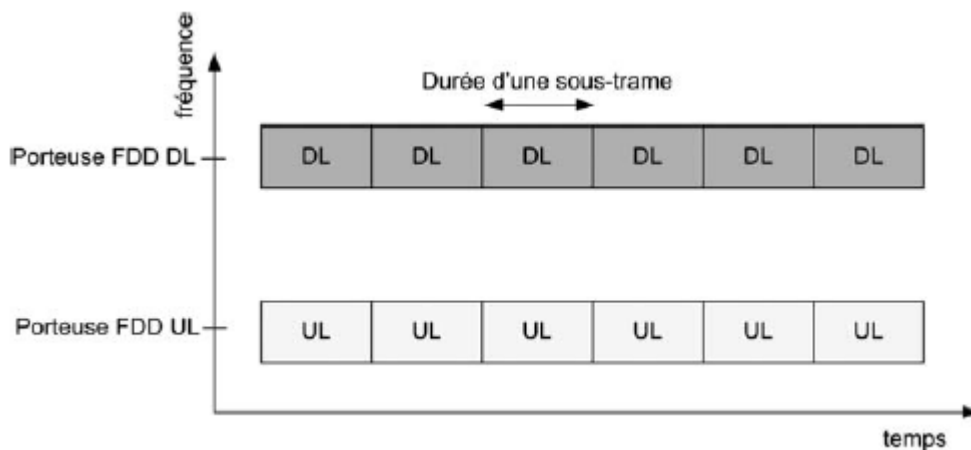
- Des débits de données dépassant les 3Gbps. Tandis que le LTE-Advanced permettait un débit maximal de 1Gbps.
- Une bande passante porteuse de 640 MHz. Tandis que le LTE-Advanced utilisait une bande de 100 MHz.
- Une latence de 2ms. Tandis que cette latence était de 10ms pour le LTE-Advanced.[22]

## II.9. Structure de la trame LTE :

La durée de la trame générale du LTE est de 10 ms, divisée en 20 slots de 0,5 ms chacun, numérotés de 0 à 19.

On peut procéder à un duplexage pour attribuer les slots d'émission et de réception. Le LTE offre deux types de duplexage : le FDD (Frequency Division-Duplexing), qui consiste en un duplexage en fréquence, et le TDD (Time Division-Duplexing), qui consiste en un duplexage en temps.[22]

En utilisant le FDD, toute la trame est alternativement consacrée à la réception et à l'émission.



**Figure II.8 :** Méthode de Duplexage en Fréquence (FDD).[22]

D'autre part, avec le TDD, une partie du temps est consacrée à la réception et à l'émission de manière autonome. Une sous-trame se compose de deux slots successifs. La réception (DL) est toujours la première sous-trame.[22]

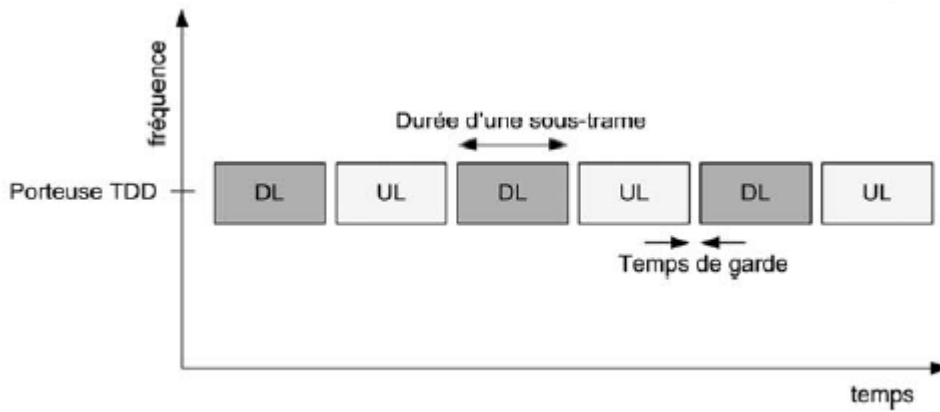


Figure II.9 : Méthode de Duplexage en Temps (TDD).[22]

### II.10. La qualité de service (QoS) :

Certains abonnés cherchent toujours à bénéficier d'une expérience utilisateur optimale sur leur appareil 4G LTE. Non seulement les abonnés, mais certains services eux-mêmes ont besoin d'un meilleur traitement prioritaire dans le réseau (par exemple, les appels VoIP). Pour répondre à cela, la qualité de service (QoS) joue un rôle essentiel.

Dans le réseau LTE, la QoS est établie entre l'UE (Équipement Utilisateur) et la passerelle PDN (Packet Data Network) et est appliquée à un ensemble de supports. Le concept de "support" désigne une abstraction qui englobe un ensemble de configurations réseau spécifiquement conçues pour traiter de manière particulière un ensemble de trafic donné. Par exemple : les paquets VoIP sont prioritaires par rapport au trafic du navigateur web. Dans LTE, la QoS est appliquée sur le support radio, le support S1 et le support S5/S8, collectivement appelés support EPS, comme indiqué dans le schéma ci-dessous.[23]

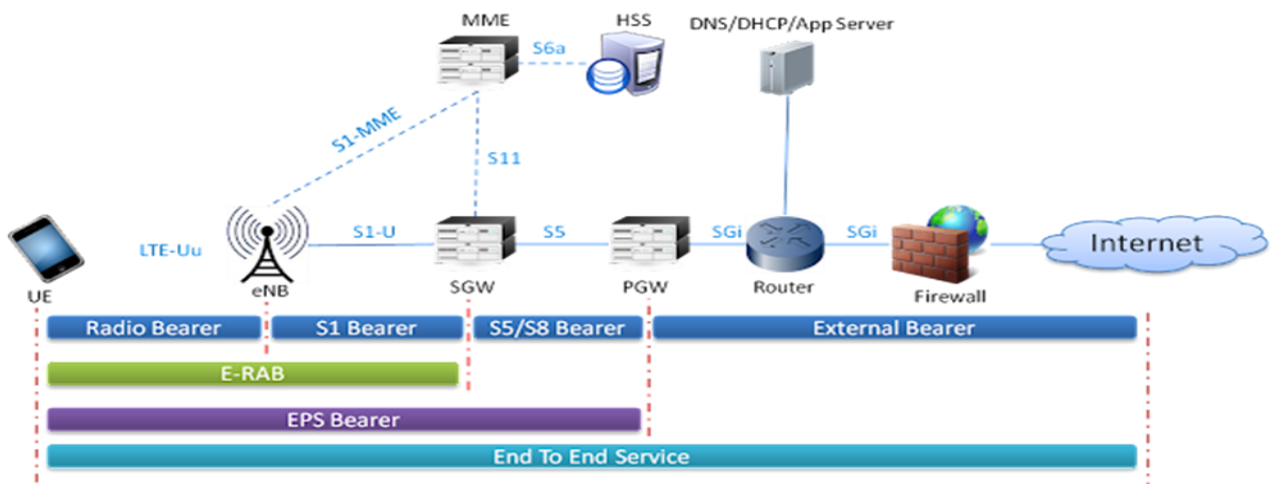
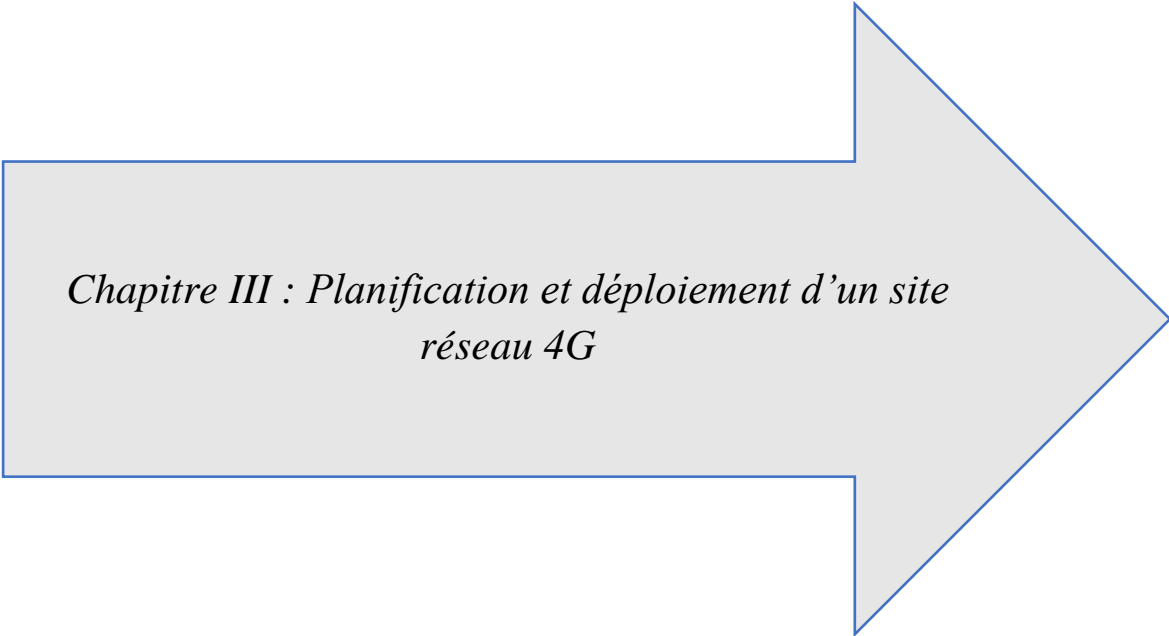


Figure II.10 : l'application de la qualité de service.[23]

### **II.11. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons exposé une vue d'ensemble des divers éléments et caractéristiques, architecture de la technologie LTE pour ensuite clarifier la terminologie des termes employés dans cette technologie.

Le prochain chapitre expose les diverses technologies de transmission employées dans la technologie LTE. De plus, nous examinerons les différentes approches pour planifier un réseau 4G/LTE, afin de conclure avec les résultats de notre étude de planification d'un réseau 4G au sein d'ALGERIE TELECOM.



*Chapitre III : Planification et déploiement d'un site  
réseau 4G*

### **III.1. Introduction :**

Avec l'avancement rapide des technologies de communication et l'extension constante des réseaux mobiles, Le choix stratégique des emplacements pour le déploiement des équipements de télécommunication est désormais essentiel pour assurer une connectivité fiable et performante. Dans ce contexte, nous visons à fournir une étude claire des considérations clés pour le choix d'un site dans une zone rurale telle que Tizi Bouchene qui situe à la daïra de Azazga à la wilaya de Tizi Ouzou en collaboration avec l'établissement Algérie Télécom, afin de garantir le déploiement efficace et réussi d'un réseau de télécommunication hautement performant dans cette région en pleine croissance.

### **III.2. Les objectifs et les buts de la planification :**

L'objectif principal de la planification du site est de définir les endroits stratégiques où installer les stations de base afin d'assurer une connectivité fiable à tous les résidents et utilisateurs de la région, en garantissant un accès à Internet à haut débit et des services de communication de qualité, et bien sûr que l'organisation du site doit tenir compte des particularités propres à la zone, telles que la topographie, la densité de population, les infrastructures existantes et les habitudes d'utilisation des services de communication. Cela permet de répondre de manière appropriée aux besoins spécifiques de la communauté locale.

### **III.3. Les supports de transmissions :**

Les progrès importants dans le domaine des télécommunications, tels que les supports de transmission, auraient permis une grande partie de la croissance des télécommunications, pour permettre aux signaux de se déplacer de la source à la destination. Chaque support a des caractéristiques propres en termes d'impédance, de bande passante, de débit et de portée qui conditionnent son utilisation. Le choix du support dépend des besoins en termes de débit, de distance, de coût et de facilité de mise en œuvre on distingue deux grandes catégories de supports :

#### **A. Les supports guidés (câblés) :**

- **Paires torsadées** : câbles en cuivre composés de deux conducteurs isolés et enroulés en hélice, utilisés pour les réseaux locaux (LAN) jusqu'à 10 Gb/s.
- **Câbles coaxiaux** : composés d'un conducteur central entouré d'un isolant puis d'un blindage, utilisés pour la télévision et les réseaux câblés.

- **Fibres optiques** : composées d'un cœur de verre ou de plastique transparent, transmettent des impulsions lumineuses sur de grandes distances avec un très haut débit.[24]

**B. Les supports non guidés (sans fil) :**

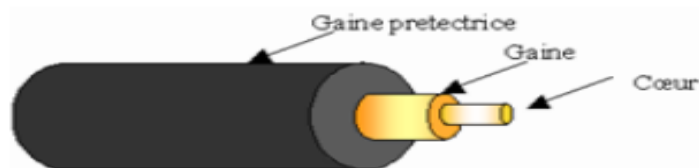
- **Ondes radio** : utilisées pour la radio, la télévision, la téléphonie mobile, les réseaux locaux sans fil (WiFi), etc.
- **Liaisons infrarouges** : utilisent la lumière infrarouge pour des liaisons sur de courtes distances.
- **Faisceaux hertziens** : utilisent des ondes électromagnétiques à très haute fréquence pour des liaisons point-à-point.[24]

Dans notre cas pratique, on va s'intéresser beaucoup plus à la fibre optique et aux faisceaux hertziens qu'on va voir d'une façon plus détaillée.

### III.3.1. La fibre optique :

La fibre optique est une forme de guide optique moins coûteuse et plus adaptée aux communications longue distance en raison de son moindre frottement et de sa meilleure adaptabilité. Il s'agit désormais du principal support pour les communications terrestres de grande capacité, y compris les liaisons intercontinentales, de commutation, de réseau métropolitain, par satellite et entre systèmes non terrestres, ainsi que les liaisons à débit fixe. Les informations échangées entre l'émetteur et le récepteur se font à l'aide de signaux électriques qui seront convertis en signaux lumineux avant d'être transmis sur un câble optique.

La fibre optique se compose d'une gaine protectrice qui représente la couche extérieure du câble. En raison de sa capacité d'isolation, elle préserve les couches inférieures. Entre le cœur et la gaine plastique se trouve la gaine optique. Sa fonction est d'empêcher la propagation de la lumière. Les signaux lumineux circulent à travers le cœur, la couche la plus profonde du câble.[25]



**Figure III.1** : La fibre optique[25]

D'après la longueur d'ondes employée et le diamètre du cœur, on peut distinguer deux catégories de fibres optiques :

- La fibre optique monomode.
- La fibre optique multimode.[25]

### III.3.2. Les faisceaux hertziens :

Le faisceau hertzien (FH) est une méthode de communication point à point (P2P), Originellement conçu pour les usages militaires, il est maintenant couramment employé dans les réseaux mobiles pour connecter les sites (Backhaul). Cette dernière est composée d'une antenne émettrice qui produit des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'espace, et d'une antenne réceptrice qui capte une partie de la puissance des ondes émises, ce qui permet de transmettre des informations à distance.

Les transmissions à haute fréquence nécessitent une visibilité directe et une distance de quelques mètres à quelques kilomètres entre l'émetteur et le récepteur.[25]

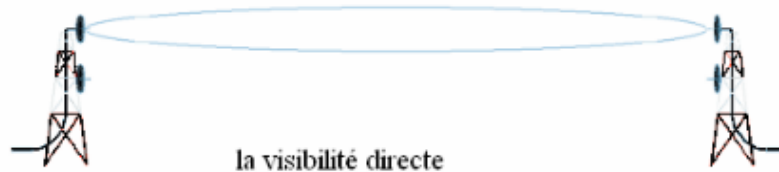


Figure III.2 : liaison hertzienne avec une visibilité directe. [25]

Les transmissions sur de longues distances nécessitent une amplification des ondes électromagnétiques émises pour compenser l'atténuation et les pertes lors de la propagation. Des relais constitués d'un récepteur/émetteur amplifient le signal émis à chaque distance, comme illustré dans la figure ci-dessous :

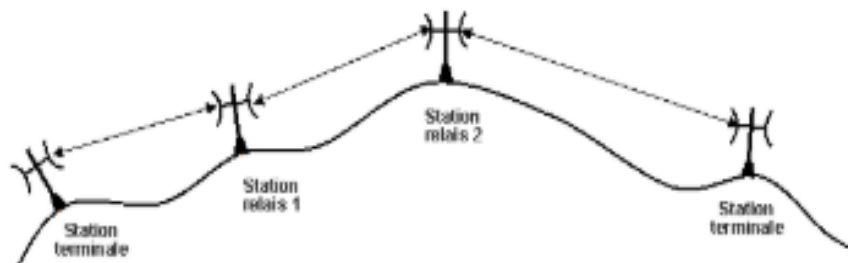
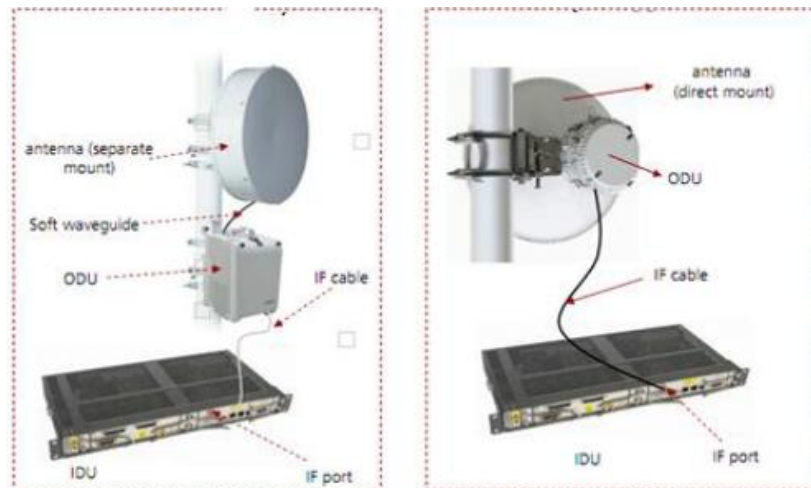


Figure III.3 : liaison hertzienne avec relais[25]

### III.3.2.1. Equipements d'une liaison hertzienne :

Les systèmes à base de faisceau hertzien sont entièrement numériques utilisent des équipements sont spécifiquement constitués de deux unités et d'une antenne directive. Les deux unités sont l'unité externe (ODU) et l'unité interne (IDU), comme illustré dans la **figure (III.4)**. [26]



**Figure III.4 :** Equipement générale. [26]

- **L'IDU (InDoor Unit) :** L'IDU (Unité intérieure) est un dispositif qui a pour objectif principal de moduler et de démoduler le signal qu'il reçoit. Il permet de produire des E1 (MIC) avec un débit habituellement de 2Mbit/s. On peut le prendre en compte en 1+0 (sans protection) ou en 1+1 (avec défenses). L'IDU (1+1) offre la possibilité de produire deux signaux identiques, l'un en fonctionnement normal et l'autre en relais, grâce à une commutation automatique de canaux lorsque la première liaison est endommagée.
- **L'ODU (OutDoor Unit) :** L'ODU est le dispositif chargé de transmettre le signal fourni par l'IDU et de recevoir le signal HF. La polarisation est définie en fonction de la position. Comme son nom l'indique, l'ODU est situé en dehors du SHELTER (maisonnette qui sert d'abri pour des équipements du réseau ). [26]

### III.4. Les antennes :

Un appareil passif convertit les données électriques d'un conducteur ou d'une ligne de transmission en données électriques dans l'espace. Dans le bloc d'émission, le courant haute fréquence de sortie est converti en ondes électriques, tandis que dans le bloc de réception, le courant est converti en ondes électriques. [27]

On distingue deux types d'antennes sont : paraboliques et sectorielles.

#### **III.4.1. Antenne parabolique :**

La parabole est un réflecteur de forme parabolique, comme son nom l'indique. Les systèmes de radiocommunication hertziens sont constitués de deux antennes paraboliques, l'une à l'émission et l'autre à l'équipement de réception.[28]



**Figure III.5 : antenne parabolique.**[28]

#### **III.4.2. Antenne sectorielle :**

Les antennes sectorielles peuvent être construites à l'aide d'un dipôle polarisé verticalement et d'un réflecteur en forme de V, généralement positionnés en hauteur et légèrement inclinés pour desservir la zone environnante. Le paramètre principal de ce type d'antenne est l'angle horizontal, qui détermine la zone couverte. Trois antennes à  $120^\circ$  ou six antennes à  $60^\circ$  peuvent réaliser une couverture omnidirectionnelle.[29]



**Figure III.6 :** Antenne sectorielle.[29]

### III.4.3. Les supports d'antennes:

Un mat et un pylône sont deux structures utilisées dans la construction d'infrastructures, notamment dans le domaine des télécommunications pour supporter des antennes et d'autres équipements. Voici des descriptions de chaque structure :

**Tableau N° 01: la différence entre le Pylône et le Mat.**

Le Pylône	Le Mat
Un pylône peut avoir une hauteur moyenne d'environ 30 à 70 mètres.	Le Mat peut avoir une hauteur moyenne d'environ 15 mètres.
L'installation d'un pylône ou d'une tour de télécommunication dédiée peut être coûteuse en raison des frais de construction de l'infrastructure.	L'installation d'antennes sur des bâtiments existants peut être moins coûteuse.
Les pylônes sont utilisés dans les zones rurales pour fournir une couverture sur de vastes distances.	Les mats sont souvent utilisés pour des installations de taille plus modeste ou dans des endroits où l'espace est limité comme les zones urbaines.



**Figure III.7** : un MAT installées sur un bâtiment.



**Figure III.8** : un pylône.

### **III.5. Les conditions et les critères pour choisir un site 4G :**

Le choix d'un bon site pour le déploiement d'équipements de télécommunication, notamment dans le cadre d'un réseau 4G LTE en zone rurale, dépend de plusieurs conditions et critères, parmi les conditions importantes à prendre en compte lors de la sélection d'un site sont :

- ✓ La couverture : Le site sélectionné devrait être déterminé par sa capacité à offrir une couverture maximale à la zone visée, En tenant compte des caractéristiques topographiques telles que les vallées et les obstacles naturels susceptibles d'influencer la propagation des signaux. Ensuite il est essentiel de considérer la densité de la population dans la région, en repérant les zones où la demande en services de réseau est plus forte, afin de donner la priorité aux emplacements qui répondront le mieux à ces besoins. Une analyse minutieuse de la topographie et de la répartition de la population peut aider à déterminer les sites les plus stratégiques pour assurer une couverture maximale et une connectivité fiable pour les utilisateurs.
- ✓ L'accessibilité routière : L'accessibilité routière est un facteur déterminant pour faciliter l'installation efficace et la maintenance régulière des équipements de télécommunication, puis il est important de sélectionner des sites offrant un accès aisé aux routes principales afin de faciliter le transport des équipements lourds et volumineux nécessaires à l'installation des stations de base. De plus, une bonne

accessibilité routière permettra aux équipes de maintenance d'intervenir rapidement en cas de de besoin de réparation sur le site.

- ✓ Accès à l'alimentation électrique : Garantir un accès fiable à une alimentation électrique adéquate est essentiel pour assurer le bon fonctionnement des équipements. Il est important de s'assurer que le site dispose d'une source d'électricité stable et suffisante pour répondre aux besoins énergétiques des équipements, y compris les stations de base, les antennes et les systèmes de refroidissement. Effectivement Cela nécessite souvent d'évaluer la proximité des principales lignes électriques et la faisabilité de se connecter au réseau électrique local. De plus, Il est conseillé d'envisager des solutions de secours comme des générateurs diesel ou des batteries de secours afin d'assurer une alimentation ininterrompue en cas de panne électrique.
- ✓ Il est très important de garantir une connectivité réseau solide et fiable pour assurer la transmission de données sans interruption, en prenant en considération la disponibilité des liaisons de fibre optique ou d'autres infrastructures de connectivité.
- ✓ Respecter les réglementations locales et nationales concernant le déploiement d'infrastructures de télécommunication, telles que les exigences en matière de zonage et de permis de construction, car dans des nombreux région, l'installation d'infrastructures de télécommunication nécessite l'obtention d'autorisations gouvernementales. Ces permis peuvent être délivrés par les autorités locales ou nationales et peuvent inclure des exigences spécifiques en matière de sécurité.
- ✓ Évaluer les risques associés aux conditions environnementales, comme les conditions météorologiques extrêmes, les dangers naturels, et les possibles impacts sur l'environnement.

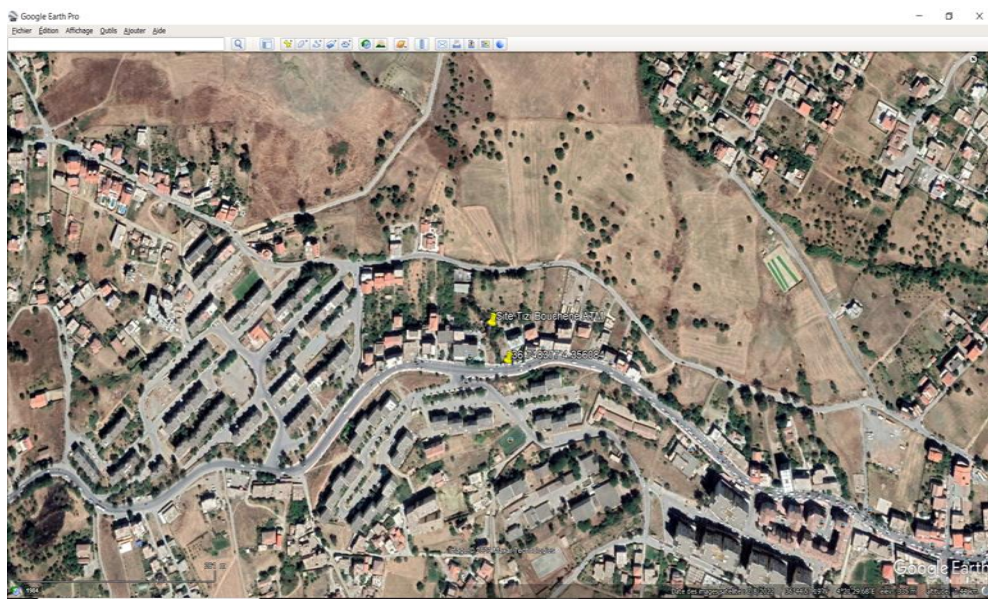
### **III.6. Les étapes de la planification :**

1. Avant de commencer l'étude de planification, il est essentiel de procéder à des visites sur le terrain pour évaluer les sites potentiels. Ces visites sont importantes car elles permettent aux planificateurs de sites de recueillir des informations précieuses sur les caractéristiques physiques et environnementales des emplacements, ainsi que sur les infrastructures existantes. Dans notre situation, nous avons effectué une visite sur le site pour obtenir ses coordonnées GPS et prendre des photos panoramique du site. Par la suite, nous avons transmis les coordonnées GPS au département de planification et

d'optimisation réseau radio pour qu'il réalise une étude approfondie sur la couverture du site et nous donne son avis. À la conclusion de cette étude, le département a validé le site. Ensuite, il nous a demandé de créer un polygone par Google Earth afin de sélectionner la zone de couverture.

2. Après avoir terminé les étapes préliminaires, nous avons rédigé le rapport TSSR en utilisant les données recueillies lors de l'enquête technique sur le site. Ce rapport comprendra une analyse approfondie des conditions du site. Comme il est indiqué ci-dessous :

**Localisation géographique du site :**



<b>L'altitude</b>	xx.xxxxxx	36°44'55.53"N
<b>Longitude</b>	xx.xxxxxx	4°21'21.07"E
<b>Altitude</b>	/	346m

“Cette partie du rapport TSSR représente la localisation géographique avec les références de positionnement GPS du site”

**Tableau N° 02: Informations sur le site.**

Qté	Informations existantes		Observations
<b>Informations de base du site</b>			
1	Nom du site	Tizi Bouchene	
2	Longitude(E):	4°21'21.07"E	
3	Latitude(N):	36°44'55.53"N	
4	Altitude (m):	346 m	
5	Emplacement du site	Village	
6	Type du site	Existant	Greenfield/existant
7	Hauteur de la bâtisse	/	
8	Emplacement de la BTS	Outdoor	Site Mobilis
9	Infrastructure existante	Pylône existant	35m
10	Propriété du pylône ou MAT	Opérateur	
11	Besoin d'une autorisation	Oui	Accord de principe
12	Hauteur du pylône/Mat :	35	
13	L'autorisation d'installation de l'EnodB est acquise	Oui	
<b>Informations d'accès au site</b>			
1	Accès au site	Rendez-vous seulement	
2	Possibilité d'accès la nuit	Oui	
3	Numéro de contact pour l'accès au site	/	
4	Nécessité de grue	Non	Uniquement pour les sites sur les toits

5	Largeur des escaliers	/	Uniquement pour les sites sur les toits
6	Remarque		
<b>Transmission</b>			
1	Disponibilité du support de transmission FO/FH	FH	Fibre optique ou FH ou non disponible
2	Disponibilité de l'ODF (en cas de fibre optique)	Non	
3	Disponibilité port sur ODF existant	Non	
4	Raccordement de l'Enodb au metro	Méto Azazga	
5	Estimation de la longueur Fo site-Metro de rattachement	/	
<b>Informations AC existantes (uniquement pour les sites nécessitant une extension de puissance)</b>			
1	Courant alternatif	Three phase	
2	Capacité du disjoncteur principal	1x63A	
3	Départ libre sur le disjoncteur Existant/capacité	2x63A+2x16A	
4	Remarque		
<b>Climatisation dans le cas indoor</b>			
1	Climatisation existante	Non	Capacité BTU

2	Nouveau climatiseur	Non	Outdoor
<b>Roxtec</b>			
1	Roxtec disponible	Non	
2	Si disponible précisez le nombre de hole libre	/	

<b>Information de mise à la terre existantes</b>			
1	Barette de terre existante	Oui	
2	Longueur du câble de la mise à la terre		
3	Remarque		
<b>Informations sur la plateforme en béton destinée à recevoir l'EnodB (uniquement pour les sites extérieurs)</b>			
1	L'espace en "m²" disponible pour y poser l'EnodB	2m2	Pour les sites outdoor
2	Remarque		
<b>Sécurité</b>			
1	Site sécurisé	Oui	

“ Cette partie du rapport contient des informations de base sur le site, notamment le nom et les coordonnées GPS, ainsi que les infrastructures existantes aussi la disponibilité des conditions de transmission et de la sécurité. Dans notre cas, nous avons trouvé un pylône de l'opérateur Mobilis juste à côté. Nous avons donc décidé de l'utiliser pour réduire les coûts d'équipement, gagner du temps, et éviter de surcharger la zone avec de nombreux pylônes. De plus, Algérie Télécom a une convention avec Mobilis.”

**Tableau N° 03: Informations proposées.**

Qté	Informations proposées		Observations
<b>Prérequis en matériel</b>			
1	Type de l'EnodB	Outdoor	
2	Cabinet de l'EnodB proposé à installer	Protection existante	
3	Longueur du câble DC (m) De Unité Base Bande au module radio	40m	Pour le indoor
4	Longueur du câble d'alimentation AC pour l'armoire extérieure "m"	20m	Outdoor
5	Longueur de câble de mise à la terre pour l'unité Base Bande "m"	8m	Indoor
6	Longueur de câble de mise à la terre pour le module Radio "m"	20m	Pour tous les modules radios
7	Longueur du câble de mise à la terre pour armoire extérieure "m"	15m	outdoor
8	Plateforme en béton pour poser et fixer l'Enodb	Oui	
9	Roxtec	Non	
10	Précisez le type du support de transmission à réaliser	FH	
11	Besoin d'installer un ODF	Non	
12	Le type d'infrastructure proposez Mat/Pylone	Pylône	HBA 28m
13	Besoin en "ML" d'échelle pour accéder à la terrasse	/	

14	Disjoncteur AC	Avoir besoin	
15	Boîte de distribution AC	Avoir besoin	
16	Coupe circuit	Avoir besoin	
17	Barrette de terre	Avoir besoin	
18	Chemin de câbles intérieur	Avoir besoin	
19	Chemin de câbles extérieur	Avoir besoin	
20	Support d'antenne "bras de deport"	Avoir besoin	
<b>Chemin de câbles nécessaire</b>			
1	Indoor	Longueur de câble Horizontal : 0 m Largeur : 200 mm Longueur de câble vertical : 0m	
2	Outdoor	Longueur de câble Horizontal : 10 m Largeur : 200mm Longueur de câble vertical : 8 m	

<b>Informations sur le système d'antenne LTE proposé et les unités du module Radio</b>				
	Item	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3
1	Antenne	Nouveau	Nouveau	Nouveau
2	LTE bande	1800 MHZ	1800 MHZ	1800 MHZ
3	Type d'antenne	2T4R	2T4R	2T4R
4	Quantité des Antennes	1	1	1
5	Azimut	0°	180°	280°
6	Azimut avec obstacle jusqu'à 500m	/	/	/

7	Mécanique Tilt	Après l'installation	Après l'installation	Après l'installation
8	Électrique Tilt	Après l'installation	Après l'installation	Après l'installation
9	Longueur du Jumper d'antenne (m)	Après l'installation	Après l'installation	Après l'installation
10	Longueur Fibre CPRI (fibre de transmission reliant l'unité base band au module radio) "m"	50m	50m	50m
11	Longueur du câble d'alimentatio DC	40m	40m	40m

“cette partie contient des informations proposées, notamment le type d’infrastructure proposé avec le HBA (Hauteur de Bas d’Antenne) qui signifie la distance entre le sol et le bas de l'antenne, et le type de l’eNodeB, ainsi les câbles et les composants électrique nécessaires”

### **Rapport visite technique du site**

#### **Vue générale du site**



**Photos panoramiques des azimuts**



**0°**



**30°**



**60°**



**90°**



**120°**



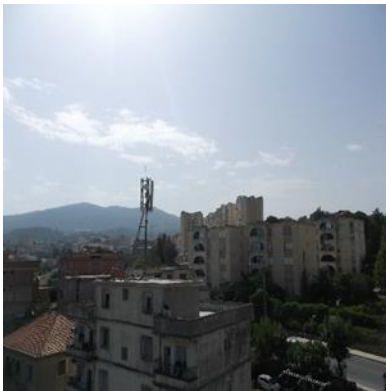
**150°**



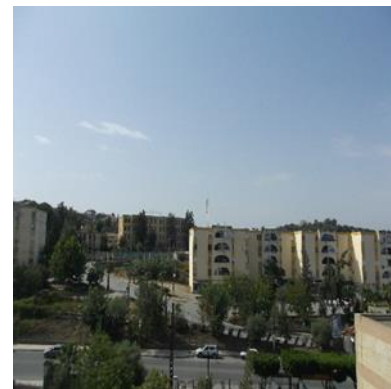
180°



210°



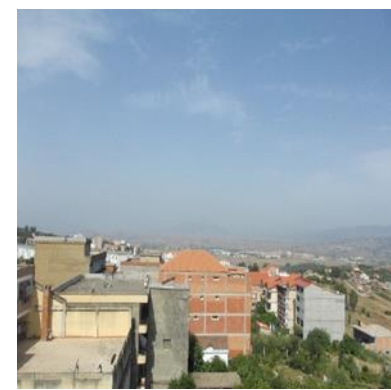
240°



270°



300°



230°

‘L’AZIMUT: représente une orientation horizontale de la face avant de l’antenne. Il est essentiel de procéder à un ajustement minutieux afin d’améliorer la qualité de la radio.’

**Photo panoramique l'azimut planifier**



**Secteur 1**

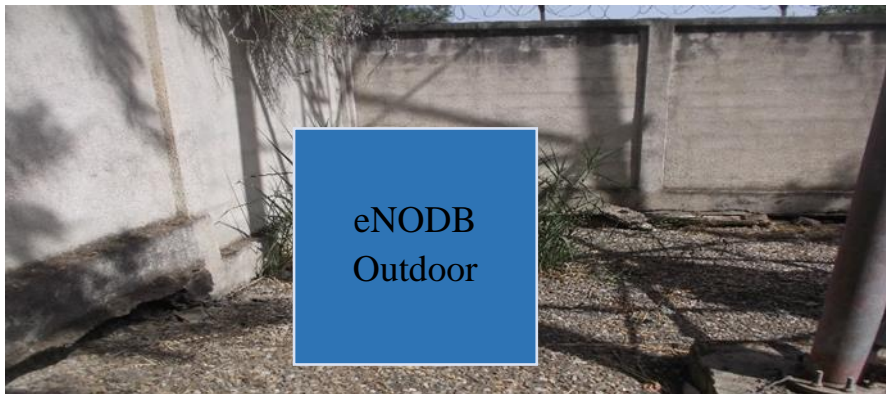


**Secteur 2**



**Secteur 3**

**Emplacement et fixation de l'eNodeB (Rack)**



**Emplacement du (MAT/Pylône)**



### Chemin de câble externe & interne



### L'énergie primaire



### Transmission



### Accès au site



3. Une fois le rapport TSSR terminé, celui-ci est transmis au département de l'infrastructure du réseau radio. Ce service est responsable de la planification, de la conception, du déploiement et de l'entretien de l'infrastructure du réseau radio. En se basant sur les informations fournies dans le rapport TSSR, le département

d'infrastructure du réseau radio élabore le plan de déploiement des sites radio. Cette démarche implique l'identification des équipements requis, la gestion des ressources et l'établissement des budgets nécessaires.

4. Dès que les équipements sont disponibles, le département d'infrastructure du réseau radio prend en charge la supervision de l'installation des sites radio et les met en service pour garantir la fourniture des services de communication. Cela peut nécessiter des travaux de génie civil, tels que la construction des fondations pour les pylônes, ainsi que l'installation des équipements eux-mêmes.
5. Après l'installation des équipements, ils sont configurés et des tests sont exécutés afin de vérifier leur bon fonctionnement et leur conformité aux spécifications du projet.
6. Après des tests réussis, les sites radio sont intégrés dans le réseau existant et activés pour fournir des services de communication.

### **III.7. Conclusion :**

Dans ce chapitre, Nous avons établi et mis en place un réseau LTE dans une région spécifique, en présentant des captures d'écran qui illustrent les différentes étapes réalisées et nous avons examiné les méthodes de planification les plus couramment employées par les opérateurs mobiles, notamment Algérie Télécom. La compréhension de ces méthodes et des étapes nous a permis d'améliorer la gestion des ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, afin d'offrir une meilleure qualité de service.

## Conclusion et perspectives

Notre étude sur la planification d'un site 4G LTE dans la région Tizi Bouchene située à Azazga, a révélé les difficultés et les possibilités liées à l'implémentation de réseaux cellulaires avancées dans une zone montagneuse. Au cours de notre stage pratique au sein de la direction d'Algérie Télécom de tizi Ouzou, nous avons pu appréhender et prendre part aux diverses étapes de planification et d'installation d'un site 4G, depuis l'étude initiale du site jusqu'à la mise en service finale.

Par la suite, Ce projet a abordé plusieurs aspects tels que l'analyse des besoins en couverture, l'évaluation des sites potentiels, la prise en considération des contraintes topographiques et environnementales, ainsi que la gestion des autorisations réglementaires. Il est primordial de mettre en place ces éléments afin d'assurer une couverture réseau optimale et fiable, répondant ainsi aux attentes des usagers.

En conclusion, la planification et le déploiement d'un site 4G dans une zone rurale sont des étapes essentielles pour réduire la fracture numérique et promouvoir le développement régional. Grâce aux efforts continus et à l'innovation, il est possible de fournir des services de télécommunication de qualité à toutes les régions, indépendamment de leur localisation géographique, ainsi que l'étude technique a permis de sélectionner le site le plus approprié pour l'installation du pylône, en tenant compte de la densité de la population, de l'accessibilité routière, et de la disponibilité des infrastructures électriques. Effectivement le déploiement réussi d'un site 4G dans une zone rurale peut considérablement améliorer la connectivité et favoriser le développement socio-économique de la région.

Après les travaux réalisés, il reste encore plusieurs aspects à développer et à améliorer. Parmi eux, on peut citer :

- Explorer l'utilisation des énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire et éolienne, pour alimenter les sites de télécommunication. Cela peut réduire la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles et assurer une alimentation électrique continue.
- Renforcer la collaboration avec les gouvernements locaux, les entreprises technologiques et les organisations internationales pour obtenir des financements et partager des ressources. Les partenariats public-privé peuvent jouer un rôle crucial dans l'expansion et l'amélioration des réseaux de télécommunication.

## Références

- [1] *Samuel pierre*, “Réseaux et systèmes informatiques mobiles ”, architectures et applications. 2003.
- [2] *Y.Bougen, E.Hardouin, E.wolff, F.Pujolle, and A.Maloberti*, “LTE et les réseaux 4G”, Groupe Eyrolles. Paris, 2012.
- [3] *Hacini Kamel and Khelifi Reda*, “Transition 2G/3G/4G en communication mobile : cas site université d’ATM Mobilis,” université Mohammed Seddik Benyahia de jijel, 2019.
- [4] *Madhusanka Liyanage*, “A Comprehensive Guide to 5G Security, First Edition. Edited Evolution of Cellular Systems,” 2018.
- [5] *Mr Abidi Hatem*, “Architecture d’un réseau radio mobile GSM,” tunisie, 2010.
- [6] *Hamza Kheddar*, “From 2G To 4G Network : Architecture and key performance indicators.,” Département of Electrical engineering, University of Medea, 2022.
- [7] *Mosbah Abd Elmoniem and Boushaki Oussama*, “Dimensionnement et planification d’un réseau LTE,” Université Saad Dahleb Blida 1, 2020.
- [8] *Zerriouh Soumia Et Saimi Ghizlen Sihem*, “Étude et optimisation de la liaison radio des réseaux 3G/4G” Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE, 2019.
- [9] *A. Miah and K. Tan*, “An Overview of 3G Mobile Network Infrastructure,” 2002.
- [10] *MERRAD Menad, GACEM Rached*, “ Evolution technologique du réseau 3G vers 4G”,2014.
- [11] *M. Jurvansuu, J. Prokkola, M. Hanski, and P. Perälä*, “HSDPA Performance in Live Networks.”
- [12] IEEE Staff and IEEE Staff, 2008 IEEE International Networking and Communications Conference.
- [13] *Margaret Rouse*, “Ultra Mobile Broadband,” Feb. 2013.
- [14] *BOUHAFS ABDERREZZAQ · ICHOU ABDELKADER* “Etude et conception d’un réseau d’antenne pour des applications 5G.” 2020.
- [15] *Diarra Maimouna*, “Planification et dimensionnement d’un réseau LTE,” université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2019.
- [16] *KABORE Karim et PEREIRA Jose Liborio*, “Etude de Passage de la 4G vers la 5G” Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2021.
- [17] *G. A. Abed, M. Ismail, and K. Jumari*, “The Evolution to 4G Cellular Systems: Architecture and Key Features of LTE-Advanced Networks,” 2012

- [18] *Alexander Kukushkin*, "4G-Long Term Evolution (LTE) System", in *Introduction to Mobile Network Engineering : GSM, 3G-WCDMA, LTE and the Road to 5G*, Wiley, 2018,
- [19] *Mehmet Ulema*; "Long-Term Evolution (LTE)", in *Fundamentals of Public Safety Networks and Critical Communications Systems : Technologies, Deployment, and Management* , IEEE, 2019.
- [20] huawei, "Principe de la technologie de communication OFDM."
- [21] *Safwan El Assad and Dominique Barba*, "Communication numérique 1", ISTE Editions. 2020.
- [22] *U. Abdelhamid I. Badis De Mostaganem*, « Planification et Dimensionnement d'un Réseau LTE », 2017.
- [23] *Bouchelkia Mohamed and Ameziani Lounis*, "La qualité de service dans les réseaux 4G LTE," Université Mouloud Mammeri -Tizi Ouzou-, 2018.
- [24] *SAAD TASSADIT, TALEB THIZIRI*, "Dimensionnement et planification d'un réseau 4G/LTE",2017.
- [25] *BOUBRIK NACER, CHAMEK SAID, FERHANI SAMIA*, "Etude et Application de la transmission SDH via fibre optique" Université Mouloud Mammeri -Tizi Ouzou-,2008.
- [26] *Nouradine Saïd Ali*, "Etude de Transmission pour les réseaux LTE/4G(Mobilis)", Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2016.
- [27] *BELAID Katia et BOUMEDDANE Taoues*, "Etude des antennes planaires avec le modèle de la cavité et le modèle de la ligne de Transmission", UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU,2013.
- [28] *BACHA Salem et BASSAID Nadia*, "Etude et mise en Service d'une Liaison Faisceau Hertzien numérique dans le MSAN", UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 2015.
- [29] *M. Hajj*, "Conception, réalisation et caractérisation de nouveaux types d'antennes sectorielles à base de matériaux BIE métalliques pour télécommunications terrestres,"2009.