



# Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en  
Réseaux et Télécommunications

*Thème*

L'apport de la 4<sup>ème</sup> génération  
dans la téléphonie mobile

Réalisé par :

BOUKHALFA Samir  
SAIBI Hamid

Devant le jury composé de :

Mr : M. LAZRI	Maitre de conférences A	UMMTO	Président
Mr : Y. ATTAF	Maitre de conférences B	UMMTO	Promoteur
Mr : H. ZENASNI	Maitre de conférences B	UMMTO	Examineur

*Promotion 2016-2017*

# *Remerciements*

*On tient à remercier tout d'abord le bon Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

*On tient encore à remercier notre encadreur: Monsieur ATTAJ. Y, pour son aide et orientation.*

*On tient à remercier les membres de jury Mr LAZRI. M Président et Mr ZINASNI. H examinateur.*

*On tient à exprimer nos sincères sentiments, envers tous les membres de nos familles ainsi que tous nos amis (es) qui nous a prêté de l'aide et confort.*

## Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre 1 : Généralités sur la téléphonie mobile</b>	
1.1 Introduction .....	3
1.2 Les différentes normes téléphoniques .....	3
1.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G).....	3
1.2.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G) .....	4
1.2.2.1 Le réseau GSM .....	4
A/ Le sous system radio, ou BSS .....	5
B/ Le sous-système réseau, ou NSS .....	5
C/ Le sous- système d'exploitation et de maintenance, ou OSS .....	5
1.2.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) .....	6
A. Le nœud de service (SGSN).....	7
B. Le nœud de passerelle (GGSN).....	7
C. Le module BG pour la sécurité.....	7
D. Les équipements GSM utilisés .....	7
1.2.3 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS).....	8
1.2.3.1 Architecture du réseau UMTS .....	9
A. Les fréquences de l UMTS .....	10
B. Le débit de l'UMTS.....	10
1.2.3.2 Le mode de transmission dans le réseau UMTS.....	11
1.2.4 La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE).....	11
1.2.4.1 Définition des réseaux LTE .....	12
1.2.4.2 Historique sur la 4G.....	12
1.3 Conclusion.....	14

## **Chapitre 2 : La WLL**

2.1 Introduction .....	15
2.2 La boucle locale radio .....	15
2.2.1 Définition de la boucle radio .....	15
2.2.2 Architecture générale .....	15
2.2.3 Les types de boucles locale radio .....	17
2.2.4 Les systèmes utilisés pour la BLR .....	17
2.2.5 Les techniques utilisées dans la BLR .....	19
A. La FDMA .....	19
B. La TADMA .....	19
C. La CDMA .....	19
D. La OFDM .....	20
2.2.6 Les communications dans la BLR .....	20
2.2.7 Comment se fait l'appel dans la boucle locale radio .....	21
2.2.8 Les objectifs de la boucle locale radio .....	21
2.2.9 Les avantages et les inconvénients de la BLR .....	22
a) Les avantages .....	22
b) Les inconvénients .....	23
2.2.10 La BLR vis-à-vis des autres systèmes de communication .....	23
2.3 Conclusion.....	25

## **Chapitre 3 : Étude détaillée sur la 4G**

3.1. Introduction .....	26
3.2. Définition de la quatrième génération (4G).....	26
3.3. Les conditions techniques pour réaliser la 4G.....	27
3.4. Le but de la 4G .....	28
3.5. Architecture de la 4G.....	28
3.5.1. Les modules complémentaires de la 4G.....	30
3.6. Les technologies de la 4G.....	31

3.6.1. Réseau WLAN .....	31
3.6.1.1. IEEE 802.11 .....	31
3.6.1.2. IEEE 802.11 <sup>e</sup> .....	32
3.6.2. Le réseau WIMAX .....	33
3.6.2.1. Introduction .....	33
3.6.2.2. Les couches protocolaires .....	33
3.6.2.3. WIMAX mobile .....	35
3.7. Les caractéristiques des systèmes sans fils 4G .....	36
3.7.1. Débit sur interface radio .....	36
3.7.2. Mobilité .....	37
3.7.3. L'agilité en fréquence .....	37
3.7.4. Délai pour transmission de données .....	37
3.7.5. Codage et sécurité .....	38
3.7.6. Le multiplexage .....	38
3.7.7. Structure d'une trame LTE .....	38
3.7.7.1. La trame physique LTE .....	39
3.7.7.2. Codage de canal .....	39
3.7.8. Modulation adaptative et codage .....	40
3.7.9. Les types de transmission .....	41
3.7.9.1. OFDMA .....	42
3.7.9.2. SC-FDMA .....	44
3.7.9.3. Comparaison entre l OFDMA et le SC-FDMA .....	45
3.8. La qualité de service .....	46
3.8.1. Définition .....	46
3.8.2. Le But de la QoS .....	46
3.8.3. Les Paramètres de la QoS .....	47
3.8.3.1. Le Débit .....	47

3.8.3.2. La perte de paquets .....	47
3.8.3.3. Le délai de transit (latence) .....	47
3.8.3.4. La gigue .....	48
3.8.3.5. La bande passante .....	48
3.8.3.6. Priorité des paquets.....	48
3.8.4. Les informations utilisées pour assurer la QoS.....	48
3.8.5. La gestion de la qualité de service .....	49
3.8.5.1. DiffServ .....	49
3.8.5.2. IntServ .....	49
3.8.6. Qualité de service dans le réseau 4G .....	50
3.9. Conclusion .....	51

## **Chapitre 4 : Simulation de la 4G et interprétation**

4.1 Introduction .....	52
4.2 Choix du simulateur .....	52
4.2.1 LTE-SIM .....	53
4.2.2 OPNET .....	53
4.2.3 NS-2 .....	53
4.2.4 NS-3 .....	54
4.3 Terminologie et abstractions .....	54
4.3.1 Un nœud “Node“ .....	54
4.3.2 Une application “Application“ .....	55
4.3.3 Un canal de communication “Channel“ .....	55
4.3.4 Une interface de communication .....	55
4.4 Installation du simulateur NS-3.....	55
4.5 Déroulement du simulateur .....	58

4.6 Les indicateurs utilisés dans notre simulation .....	60
4.6.1 Le CQI .....	60
4.6.2 Le SINR .....	60
4.6.3 Le TB .....	61
4.7 Résultats de simulation .....	61
4.8 Conclusion.....	66
Conclusion générale .....	67
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Références bibliographiques	

# **Introduction générale**

### Introduction générale :

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS). D'autre part, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive des câbles. Bien que les connexions à haut-débit de type ADSL se multiplient dans le monde, elles ne permettent pas la souplesse d'utilisation que procure un réseau radio sans fil.

Les évolutions se poursuivent de partout, tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, étiquettes intelligentes, etc...) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms classiques avec HS(D)PA, monde des réseaux sans fil avec le WiMAX voire le monde de diffusion de la télévision terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S). La future génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritable tournant dans le foisonnement et la disparité des solutions existantes. L'objectif cette fois sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité. 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 mémoire on présentera dans le premier chapitre les différentes normes (générations) de la téléphonie mobile, ensuite on passera au deuxième chapitre qui se résume au boucle local radio et leur avantages par rapport aux réseaux filaires, et dans le chapitre trois on fera une étude plus détaillé sur la quatrième génération et ses performances.

Ce travail est effectué sous le simulateur NS3 qui est très utilisé dans la simulation des performances de la 4G.

On termine ce mémoire par une conclusion générale et les références bibliographiques.

# **Chapitre 1 :**

## **Généralités sur la téléphonie mobile**

## **1.1 Introduction**

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

Les réseaux de la 1ère génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunication dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours. Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75. Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la seconde génération de norme permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation du WAP permettant d'accéder à Internet, tant dit que pour la 3<sup>ème</sup> génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données. En ce qui concerne la nouvelle génération 4G(LTE), déployer jusque-là que par quelque pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans le prochain chapitre.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires.[1]

## **1.2 Les différentes normes téléphoniques**

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

### **1.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)**

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur).[1]

1.2.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

Avant l'arrivée du système GSM, les pays européens utilisaient plusieurs technologies de téléphonie cellulaire de première génération incompatible .le system GSM a été conçu à l'origine dans le but que les pays européens l'adoptent comme solution commune de téléphonie numériques de deuxième génération .depuis son introduction en 1990 le système GSM a rencontré un grand succès en Europe et dans le monde entier, et constitue aujourd'hui un standard de référence pour les nouvelles implémentations des systèmes similaires ont été déployés par la suite en Amérique du nord et de sud, en Asie, en Afrique du Nord en moyen orient .la GSM association annonçait début 2004 plus d'un milliard d'abonnés dans le monde la plupart se trouve en Europe et en Asie pacifique mais l'Amérique du nord et sud constituent une part de marche grandissante.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, dans ce concept, ils ont pensés à développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroitre le débit pour la nouvelle génération.[2]

1.2.2.1 Le réseau GSM

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC .réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio.

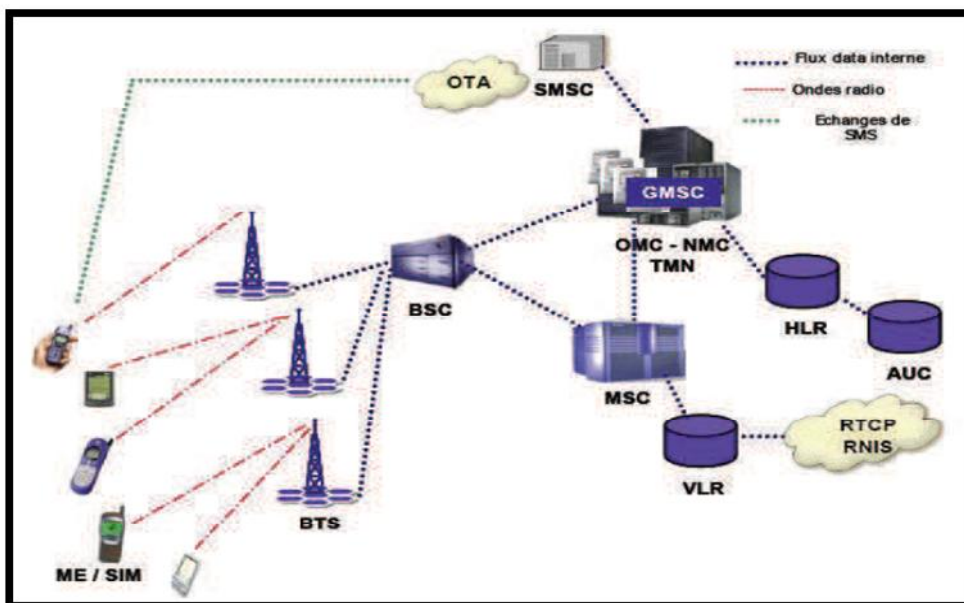


Figure 1 : Présente l'architecture du Réseau GSM.

Ainsi le réseau GSM se sépare en trois ensembles distincts :

**A/ Le sous-système radio, ou BSS**

Le sous system radio regroupe tous les équipements impliqué plus ou moins directement dans la transmission sur l'interface air (radioélectriques) et gère l'accès à l'interface radio qui est composé des éléments suivant :

- MS (mobile station), ou terminaux mobiles.
- BTS (base transceiver station), ou station de base.
- BSC (base station Controller), ou contrôleurs de BTS.[3]

**B/ Le sous-système réseau, ou NSS**

Le sous-système réseau s'occupe de l'interconnexion avec les réseaux fixes, publics ou privés, auxquels est rattaché au réseau mobile, et gère aussi l'établissement des communications avec les utilisateurs mobiles, dont ils détiennent un profil. Le NSS est composé des éléments suivants :

- MSC (mobile-services / switching center), ou commutateur de service.
- HLR (home location register), ou base de données de localisation nominale.
- VLR (visitor location register), ou base de données de localisation locale.
- AUC (authentication center database).
- EIR (equipment identity register).[3]

**C/ Le sous- système d'exploitation et de maintenance, ou OSS**

OSS (Operation Sub-System) n'est pas représenté sur la figure (1).il supervise le tout et permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe.[1]

**▪ Présentation de l'OMC et du NMC**

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC (Operations and Maintenance Center) et les NMC (Network and Management Centre).

Cette organisation a été définie afin de permettre aux opérateurs télécoms de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs ...) et des fournisseurs.

Le NMC permet une administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé, ainsi que les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC /MSC / VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau. Les différents OMC assurent une fonction de médiation. RTC existant.

1.2.2.2 Le réseau GPRS (2.5G)

Le GPRS peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération on rajoutant certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi son but est de conservé l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.[2]

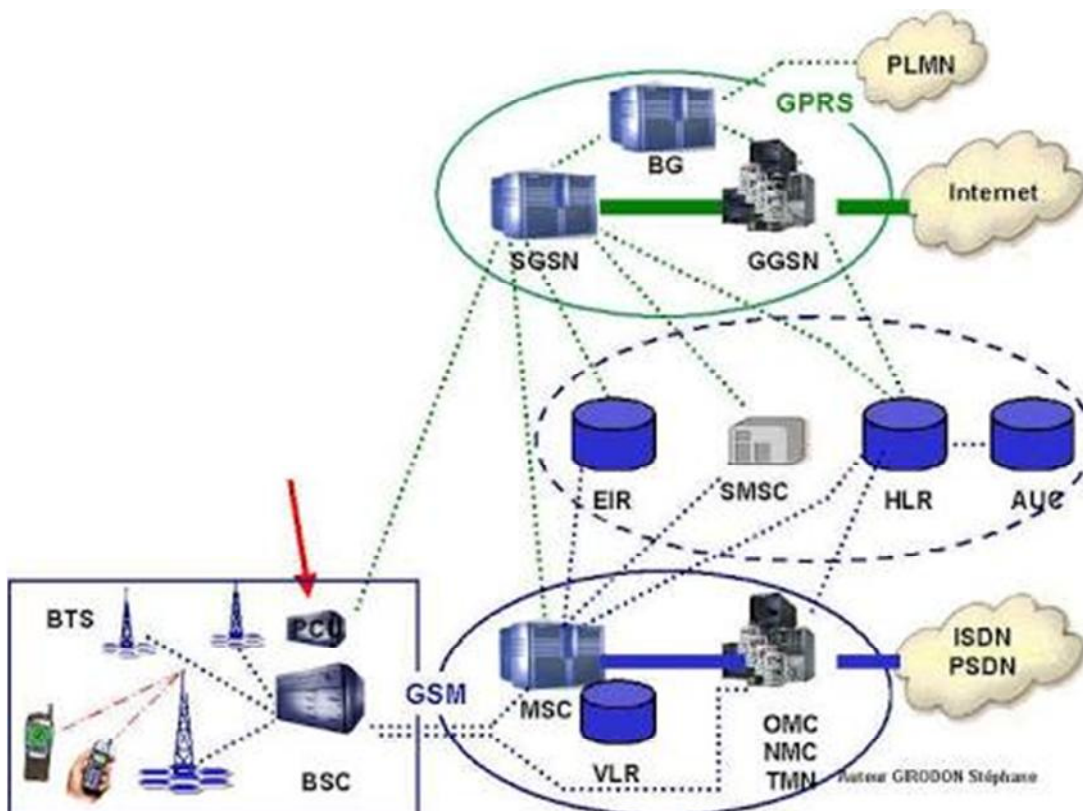


Figure 2 : Présente l'architecture du réseau GPRS (2.5G).

Un réseau GPRS est un réseau IP. Qui est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

#### **A. Le nœud de service (SGSN)**

Le nœud de service dénommé SGSN (Serving GPRS Support Node) est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio : BTS, BSC, HLR ...

Le SGSN joue un rôle de routeur, et gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. Le SGSN est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

#### **B. Le nœud de passerelle (GGSN)**

Le nœud de passerelle dans le GPRS dénommé GGSN (Gateway GPRS Support Node) est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS...). Le GGSN est un routeur qui permet de gérer les transmissions de paquets de données :

- Paquets entrants d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire.
- Paquets sortants vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

#### **C. Le module BG pour la sécurité**

Les recommandations introduisent le concept de BG (Border Gateway) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux.

Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (par exemple entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents).

#### **D. Les équipements GSM utilisés**

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les éléments du réseau GSM :

- Les BTS et BSC permettent de couvrir un territoire national pour localiser les terminaux.
- Le MSC et le VLR permettent également de gérer les problématiques d'itinérance des abonnés sur les réseaux GSM et GPRS.

- Le SMSC et le GMSC permettent la communication interne au réseau par l'envoi de messages courts à destination du terminal GPRS.
- Le HLR permet de gérer les problématiques liées à la localisation des individus (en mode GPRS, fournir une carte de la ville où se trouve l'abonné).
- L'EIR permet de gérer les problématiques liées au terminal visé.

Le réseau GPRS est totalement dépendant du bon fonctionnement des infrastructures du réseau GSM. Le réseau GSM constitue donc en effet une base pour la mise en place du réseau GPRS.

L'ensemble des éléments GSM et GPRS sont associés pour fournir un service GPRS.

Deux protocoles sont alors utilisés :

- Le traditionnel protocole IP qui assure une ouverture vers les terminaux fixes extérieurs au réseau.
- Le protocole SS7 (Signal Sémaphore 7) qui est un protocole interne au réseau GPRS.

### **Le type de transmission dans le réseau GPRS**

Ce standard utilise un mode de transmission par paquet. Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le BSS (BTS + BSC) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire.

Le routage vers des terminaux (terminal mobile vers terminal mobile ou terminal fixe vers terminal mobile) utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels. Les données reçues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le mobile destinataire.

### **1.2.3 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)**

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées sont la possibilité de regarder YouTube, de la visiophonie,... Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre est de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

L'idée est d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation.

Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit. [3]

### 1.2.3.1 Architecture du réseau UMTS

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau GPRS.

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia.

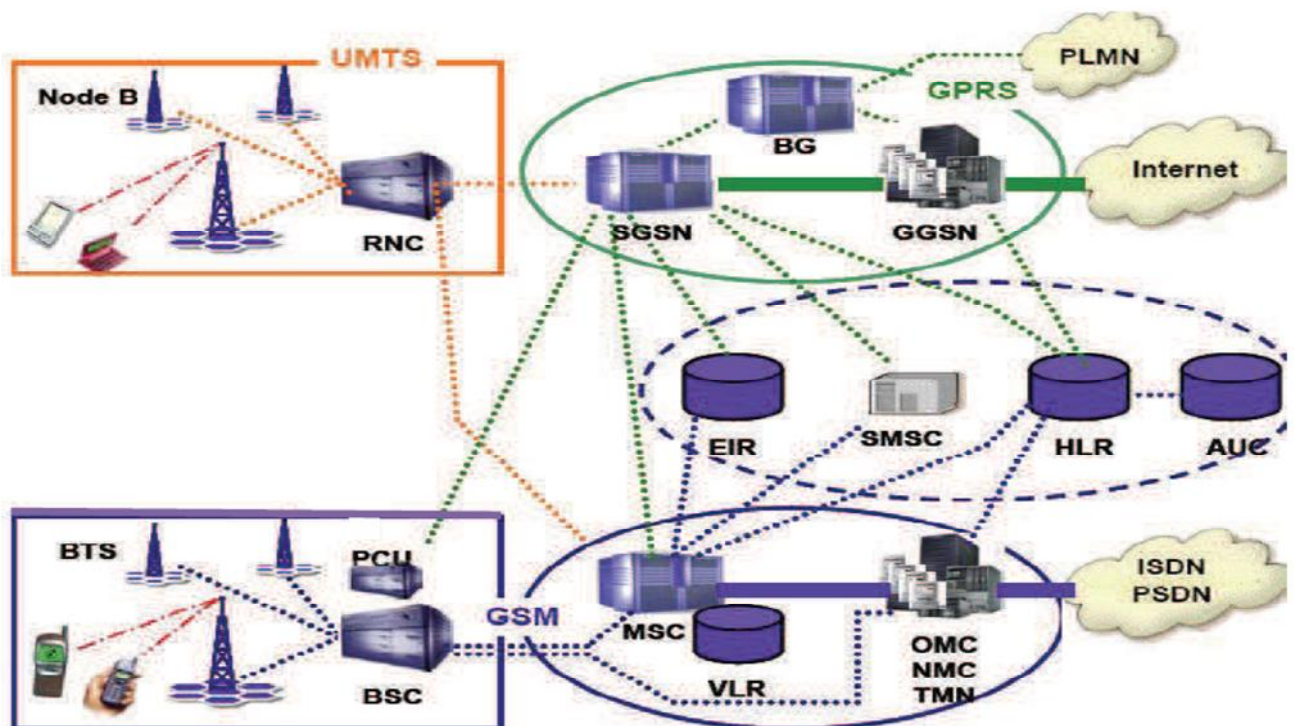


Figure 3 : Présente l'architecture du réseau UMTS.

**A. Les fréquences de l'UMTS**

Les fréquences allouées pour l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35Mz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz).
- Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz (uplink bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz).
- Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (downlink de 30 MHz).
- La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

**B. Le débit de l'UMTS**

L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbit/s, mais fin 2004 les débits offerts 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 est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de l'utilisateur :

- En zone rurale : 144 kbit/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.) ;
- En zone urbaine : 384 kbit/s pour une utilisation piétonne ;
- En zone bâtiment : 2000 kbit/s depuis un point fixe.

Grâce à son débit, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux. L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo.

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande, Télévision.

**1.2.3.2 Le mode de transmission dans le réseau UMTS**

Ce réseau repose sur deux modes :

- **Le mode circuit**

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit sera de 384 Kbits/s.

L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GSM: MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe.

- **Le mode paquet**

Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur Internet, de la gestion de jeux en réseaux ainsi que l'accès et l'utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC / VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

**1.2.4 La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE)**

La 4G est la quatrième génération de réseau mobile. Elle est la norme succédant à la 3G, on étudiera ce nouveau système plus en détail dans le prochain chapitre.

Pour résumer, la 4G c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme.

**1.2.4.1 Définition des réseaux LTE**

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux.

Ces fréquences sont destinées au déploiement de réseaux mobiles à très haut débit, pour apporter aux consommateurs une capacité et une qualité de services supérieures aux offres actuelles d'internet mobile. La technologie LTE «Long Term Evolution» offre aux utilisateurs des débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G et 3G+ actuellement déployées, ainsi que des latences plus faibles favorisant une meilleure interactivité.

Avec la 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations. Voix et données par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias.

Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.

Selon les critères de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, la vraie 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire.

**1.2.4.2 Historique sur la 4G**

En 2002, la vision stratégique pour la 4G, que l'UIT a désigné comme IMT-Advanced, a été aménagée.

En 2005, la technologie de transmission OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access) est choisie comme candidat pour la liaison descendante HSOPA, rebaptisée plus tard 3GPP Long Term Evolution (LTE) de l'air l'interface E-UTRA. En Novembre 2005, KT démontre le service mobile WiMAX à Busan, Corée du Sud.

La société japonaise NTT DoCoMo (Nippon Telegraph & Telephone) a testé, en Février 2007, un prototype de communication 4G système MIMO 4x4 appelé VSF-OFCDM à

100 Mbit/s tout en se déplaçant, et 1 Gbit/s à l'arrêt. Un an plus tard, le commissaire européen Viviane Reding a proposé de réaffecter des 500-800 MHz pour les communications sans fil.

En Avril 2008, juste après avoir reçu la lettre circulaire, le 3GPP a organisé un atelier sur les IMT-Advanced où il a été décidé que LTE-Advanced, une évolution de la norme LTE en cours permettra de répondre, voire dépasser les exigences IMT-Advanced qui suit l'ordre du jour de l'UIT-R.

En Décembre 2009, Sprint a commencé à annoncer "4G" de service dans certaines villes des États-Unis, en dépit de la moyenne des vitesses de téléchargement de seulement 3-6 Mbit / s avec une vitesse de pointe de 10 Mbit / s (pas disponible sur tous les marchés).

Le 25 Février 2010, l'Estonie a ouvert EMT LTE "4G" travail en réseau dans le régime d'essai. Le 5 Juin 2010, Sprint Nextel a publié le premier Smartphone 4G, l'Evo HTC 4G.

En Juillet 2010, MTS Ouzbékistan à Tachkent déployé LTE. Le 25 août 2010, la Lettonie a ouvert LMT LTE "4G" travail en réseau dans le régime d'essai de 50% du territoire.

**1.3 Conclusion**

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire.

Ainsi, la mise en œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutent au réseau GSM déjà existants. L'évolution du GSM vers GPRS prépare à l'introduction des Réseaux de 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 de logiciels.

Le GPRS constitue une évolution majeure vers la troisième génération (UMTS). Il est conçu pour la transmission de données en mode paquet pour assurer l'accès simple au réseau Internet.

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

# **Chapitre 2 :**

## **La WLL**

## **2.1 Introduction**

Il existe aujourd'hui des techniques sans fil qui précisent le service de transmission à mettre en place par l'intermédiaire d'une interface radio entre des utilisateurs de la boucle local et un opérateur. Les WLL permettent d'établir des connections entre les utilisateurs et un opérateur par voie hertzienne.

Les opérateurs nationaux ont optés pour le recours à la technologie d'accès CDMA\_WLL.

Etant donnée les nombreux avantages que présentent les systèmes CDMA\_WLL tant sur le plan technique qu'économique par rapport au câblage traditionnel, cette technique constitue la solution qui permet aux opérateurs d'offrir des services plus performants de développer et rentabiliser leur réseaux.

## **2.2 La boucle locale radio**

Dans le domaine des télécommunications, on appelle boucle local sans fil, l'ensemble des techniques hertziennes permettant de connecter un utilisateur distant au réseau d'un opérateur par l'intermédiaire d'un réseau d'accès sans fil au lieu d'utiliser les fils de cuivres.

### **2.2.1 Définition de la boucle radio**

La boucle locale radio est un moyen technologique de connexion :

- sans fil : le support physique de transmission est un faisceau d'onde.
- symétrique : pour un accès internet, le débit est le même que si on envoie et qu'on reçoit les données.
- bidirectionnelle : liaison duplex (utilisateur /opérateur et opérateur /utilisateur).
- cellulaire : comme pour les réseaux GSM, on peut déployer un réseau WLL selon les différents motifs cellulaires.[4]

### **2.2.2 Architecture générale**

L'Architecture générale d'une Boucle Locale Radio contient les différentes interfaces qui doivent acheminer les services offerts par ce réseau. Ces services peuvent être : la téléphonie, la vidéo compressée ou la transmission de données (en RNIS, Frame Relay ou ATM). Les principaux éléments du système sont : Le système central qui doit contenir des modems de base, des modems optiques, des multiplexeurs/démultiplexeurs et tous les équipements qui permettent

d'optimiser l'acheminement des données. Dans le cas général, l'équipement de base est relié au réseau téléphonique via des fibres optiques qui assurent une transmission à faibles pertes à des distances pouvant aller à des centaines de kilomètres. Le nœud qui permet la conversion de la transmission filaire en transmission radio. C'est l'élément de base de la BLR. Il contient des modems, des multiplexeurs/démultiplexeurs, des modulateurs/ démodulateurs, des amplificateurs et tous les éléments habituels d'un système radio. Il permet la transmission point à multipoint des ondes radio. L'équipement de l'abonné est le dernier élément du réseau. Il est localisé chez l'abonné et il est muni d'une antenne externe fixe et des équipements radio lui permettant la connexion avec le nœud.[6]

La figure 3.1 montre les deux types d'architecture en couche [9]: couche unique où les abonnés sont connectés directement à la macro station et celle de deux couches où ils sont connectés à des micros stations liées à la macro station par une liaison de faisceau hertzien.

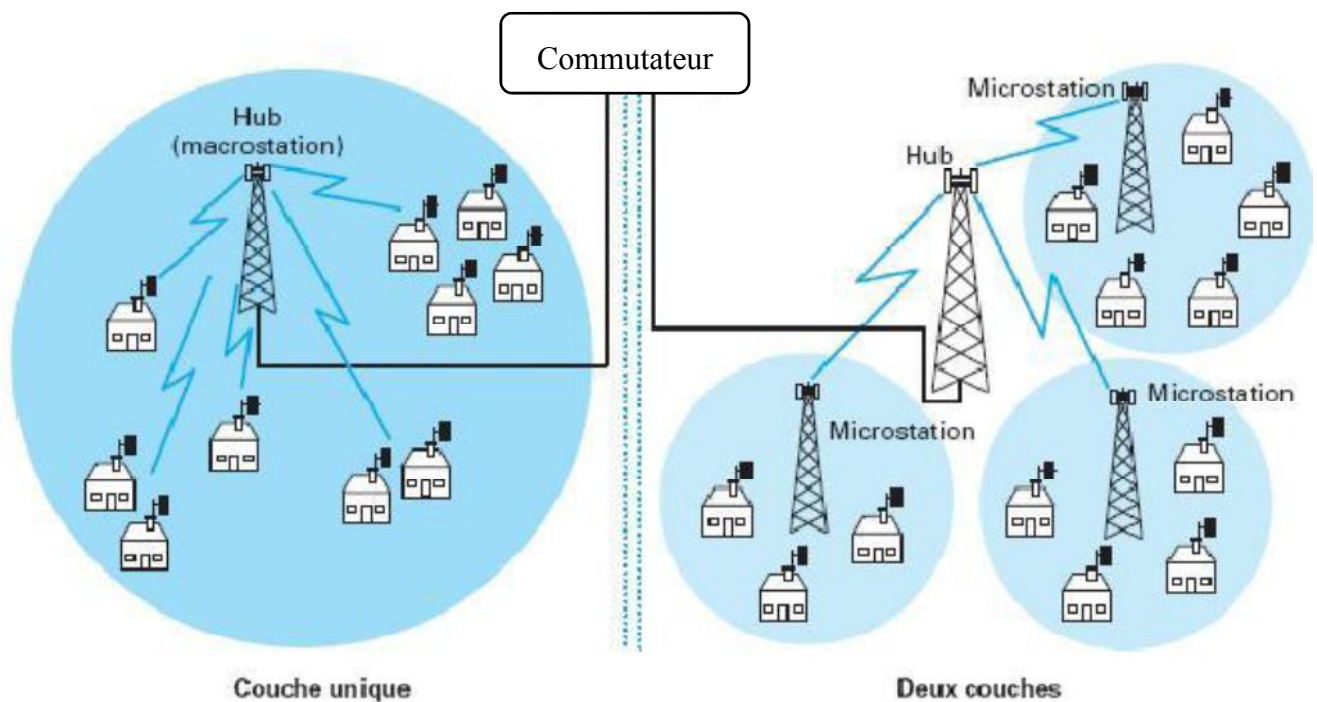


Figure 4 : Architecture générale BLR.

### 2.2.3 Les types de boucles locale radio

De nombreuses technologies sont disponibles mais l'économie de la boucle locale est beaucoup plus incertaine que celle du réseau de transport. Elle dépend en effet de la géographie, de la densité, de la population, du génie civil et de la possibilité de réutiliser des infrastructures existantes. La concurrence sur une même technologie y est exceptionnelle. On distingue plusieurs boucles locales radio :

- Cellulaire ;
- Réseaux sans fils ;
- Satellitaire.[6]

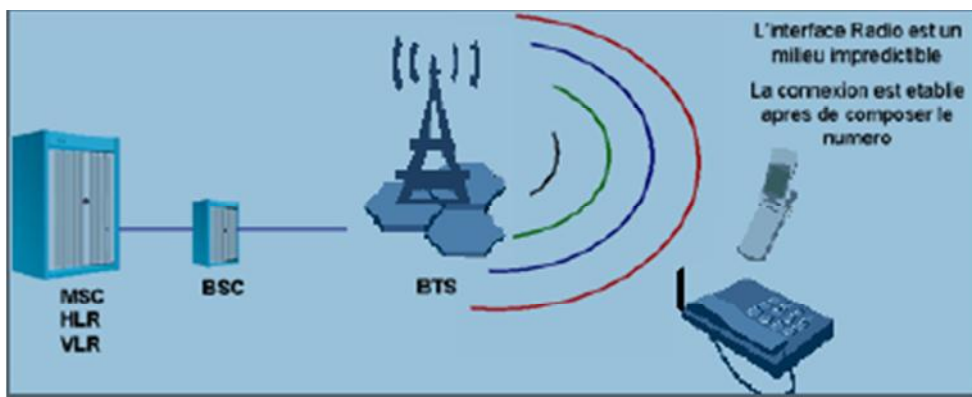


Figure 5 : Les types de boucles locale radio.

### 2.2.4 Les systèmes utilisés pour la BLR [6]

Différents systèmes ont vu le jour pour la réalisation de la BLR, nous allons ici énumérer les principaux :

- **DECT (*Digital Enhanced Cordless Telephone*)**

Le DECT (Téléphone sans-fil numérique amélioré) est assez ancien. C'est le système européen développé par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) en 1990. Ce système visait à instaurer une téléphonie sans fil de proximité, autour d'un autocommutateur d'entreprise, voire d'un poste résidentiel de base. Le DECT n'entre pas en concurrence avec les normes de téléphonie mobile, notamment GSM, car il ne définit pas d'architecture de réseau. Spécifications techniques du DECT: Le système DECT opère dans la bande 1880 à 1900 MHz et utilise la méthode d'accès TDMA avec 10 porteuses espacées de 1726 kHz acheminant chacune 24 intervalles de temps et offrant 12 canaux duplex simultanés

en partage duplex temporel TDD. La capacité totale du système DECT est donc de 120 canaux duplex. Le DECT utilise l'allocation des canaux dynamique et, contrairement aux autres systèmes mobiles, il autorise l'utilisation des canaux adjacents dans la même cellule.

La puissance crête des stations émettrices est de 250 mW. Cette puissance peut être réduite par le mécanisme de contrôle de puissance jusqu'à 60 mW. Le débit brut de transmission par porteuse est 1152 kbit/s. La couverture peut atteindre 5 km, la mobilité est très restreinte (vitesse de marche de l'utilisateur) et le débit de transmission de données peut atteindre 522 kbit/s par utilisateur.

- **PHS (*Personal Handy phone System*)**

Le système PHS est un système développé au Japon pour assurer la téléphonie mobile à moindre coût. Il a été développé par ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*). Le PHS est basé sur une technologie sans fil à travers une architecture micro-cellulaire. Cette norme reste essentiellement utilisée au Japon. Le PHS utilise le système de TDMA /TDD (*Time Division Multiple Access/Time Division Duplex*). Il est considéré comme étant un système micro cellulaire, vu sa puissance d'émission maximale qui ne dépasse pas 500 mW, le rayon de couverture est ainsi petit, ceci est nettement avantageux pour les régions qui exigent une capacité importante en terme de trafic. En augmentant le nombre de canaux disponibles dans les secteurs ayant un besoin en terme de trafic (villes par exemple) en augmentant le nombre de stations et ainsi la capacité est donc augmentée mais le nombre de stations de base sera beaucoup plus important.

- **WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)**

C'est une famille de normes, certaines encore en chantier, définissant les connexions à haut-débit par voie hertzienne. WiMAX utilise des technologies hertziennes destinées principalement à des architectures point-multipoint ce qui fait que le WiMAX est une technologie bien convenable pour réaliser des BLRs. La fréquence utilisée porte pratiquement sur la portion 2-11 GHz, même si le WiMAX définit une bande de fréquence entre 2 et 66 GHz. La norme de référence est 802.16 REVd. La largeur de canal varie entre 1,75 MHz et 20 MHz en fonction des bandes de fréquence. L'efficacité spectrale: 3bit/s/Hz avec la modulation est plus efficace. Les techniques MIMO pourraient permettre de multiplier ce chiffre par 2. (MIMO : Techniques consistant à utiliser plusieurs antennes en émission et en réception, à la station).

**2.2.5 Les techniques utilisées dans la BLR [7][8]****A. La FDMA**

L'accès multiple à répartition dans les fréquences (FDMA) est la méthode la plus ancienne, celle-ci a été utilisée en analogique. Son but est de faire véhiculer un appel unique dans un seul sens par l'intermédiaire de canaux dans un seul sens. Cette méthode permet une transmission continue, elle n'a besoin que d'un faible entête. En fonction des besoins de signalisation un ou plusieurs canaux de contrôle sont utilisés. Cette méthode ne nécessite pas la complexité des mobiles, mais demande un coût d'équipement fixe élevé (nécessité d'utiliser un duplexeur).

**B. La TDMA**

L'accès multiple à répartition dans le temps (TDMA) est la première alternative au FDMA, elle a été mise en œuvre dans les systèmes numériques. Elle permet de transmettre des débits d'information plus importants que le FDMA. La porteuse (canal de fréquence donnée) est partagée en N intervalles de temps (IT) ou time slots (slots).

En théorie N terminaux pourraient utiliser ces slots (un chacun). Mais en pratique le nombre de slots par porteuse est choisi en fonction de plusieurs facteurs, tel que la technique de modulation, la bande de fréquence disponible.

**C. La CDMA**

Le CDMA, qui est actuellement employé dans de nombreux systèmes de communication, permet à un grand nombre d'utilisateurs d'utiliser la même onde porteuse sans interférer les uns les autres. Il consiste à répartir l'information radioélectrique émise sur une bande de fréquences plus large que celle réellement nécessaire à la transmission du signal utile. Ce dernier apparaît alors comme un bruit et sa densité spectrale est constante sur l'intégralité de la bande occupée.

On trouve deux techniques principales, celle de répartition par séquence directe (*Direct Sequence*) et celle par saut de fréquence (*Frequency Hopping*).

Il s'agit de multiplier au sens mathématiques du terme (OU exclusif) chaque bit à transmettre par un code pseudo-aléatoire PN (*Pseudo random Noise code*) propre à chaque utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour

un utilisateur donné, et constitue la clef de codage ; elle est conservée si le symbole de donnée valait 1, inversée sinon. On appelle facteur d'étalement SF (*Spreading Factor*) la longueur  $L$  du code.

Si chaque symbole a une durée  $T_b$ , on a 1 chip toutes les  $T_b/N$  secondes. Le nouveau signal modulé a un débit  $N$  fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquence  $N$  fois plus étendue.

#### **D. La OFDM**

Un des éléments clés du LTE (*Long Term Evolution*) est l'utilisation de la technologie OFDM en tant que porteuse du signal, ainsi que l'utilisation de ses systèmes d'accès associés, l'OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*) et la SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*). L'OFDM est une méthode de Modulation Multi-Porteuse (MMP), MCM - *Multi Carrier Modulation*) utilisée grâce à ses propriétés intéressantes, particulièrement pour les systèmes de transmissions mobiles à haut débit de données tel que le WLAN, WiMax et bien sûr le 4G LTE. L'OFDM présente de nombreux avantages, y compris sa robustesse contre l'évanouissement du signal par trajets multiples et contre les interférences. Cette technologie a été utilisée depuis les années 60 par les militaires pour leurs systèmes de communications câblés. Malgré son excellent comportement spectral, l'OFDM n'a été commercialisé que récemment, principalement à cause du coût élevé de son implémentation. Le développement technologique, surtout dans le domaine de la microélectronique a rendu son implémentation commerciale possible.

#### **2.2.6 Les communications dans la BLR**

La BLR permet de mettre en communication l'opérateur et ses clients par une connexion hertzienne. Les antennes utilisent des fréquences affectées à cette usage par les organismes locaux ou internationaux d'attribution des bandes du spectre hertzien .les bandes sont donc liées à une licence d'exploitation, que les opérateurs doivent acheter auprès de leur gouvernement.

Les distances entre la station de base et l'antenne du client varient en fonction de différentes entre d'opération.[2]

Les antennes réceptrices d'un diamètre d'environ 20 cm, doivent être en vue directe de l'antenne du fournisseur, sans obstacle entre les deux .en 3.5GHZ, les ondes réussissent toutes

fois à traverser les bosquets d'arbres et à être à peu près insensibles à la pluie .les distances moyennes rues pour la bande des 3.5GHZ, beaucoup moins sensible que celle des 26GHZ, sont récapitulées au tableau suivant :

<b>Zone d'habitation</b>	<b>Distance</b>
Urbaine (ville)	3 km
Suburbaine (banlieue)	5 km
Rurale (compagne)	9 km

### **2.2.7 Comment se fait l'appel dans la boucle locale radio**

En formant le numéro, l'information sera codée et transmise de MS vers une BTS et cela par des ondes électromagnétiques. La BTS traite l'appel et surveille sa fréquence puis l'envoie vers le central dans l'équipement BSC (contrôleur de station de base) qui contrôle cette appel et le décode, en fin, il sera envoyé dans un autre équipement du centre, c'est le MSC .ce dernier s'occupera de transmettre l'appel dans la région voulue.[4]

### **2.2.8 Les objectifs de la boucle locale radio**

Les centres d'opérateurs de télécommunications publics PTO (Public Télécommunication Operateur) précisent, pour la BLR, les objectifs suivants :

- Des services téléphoniques de base à plus faible coût.
- Flexibilité dans la création de nouveaux services de communication.
- Amélioration des services de communication dans les zones rurales.
- Un accès mobile créant un trafic additionnel au réseau PTO.
- Une solution complémentaire pour certaines parties du réseau filaire.[5]

**2.2.9 Les avantages et les inconvénients de la BLR****a) Les avantages**

La boucle locale radio permet aux opérateurs de télécommunications d'éviter les investissements du déploiement d'infrastructures filaires jusqu'à l'abonné. A travers le monde, le marché de la boucle locale radio est porté par l'ouverture à la concurrence du marché des télécommunications, ceci encourage l'apparition de nouveaux opérateurs ne disposant pas de BLR. Dans les pays émergents, de tels systèmes sont susceptibles d'accélérer le déploiement des infrastructures indispensables à l'activité économique. Actuellement, les technologies radio deviennent une solution de rechange au raccordement téléphonique filaire en permettant un déploiement rapide et à coût raisonnable tout en offrant des services aussi perfectionnés que ceux proposés par les réseaux filaires : voix, Internet à haut débit et vidéocommunication. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un lien radio dans tout le chemin de l'abonné jusqu'au centre de commutation pour réaliser la boucle locale radio, le lien radio est souvent utilisé dans la dernière partie de la boucle.

Le lien complet jusqu'au centre de commutation est réalisé moyennant d'autres liens qui peuvent être des câbles métalliques, des fibres optiques ou des faisceaux hertziens. En résumé La boucle locale radio présente essentiellement les avantages suivants pour les opérateurs de réseaux publics :

- La capacité d'atteindre des régions à accès difficile par câble (montagnes déserts...).
- Le coût de déploiement très faible comparé à celui des autres technologies (pas besoin de travaux de génie civil).
- La flexibilité et la rapidité d'installation.
- Le faible coût de maintenance.

La possibilité de profiter de la mobilité offerte par la radio. Plusieurs systèmes radio sont utilisés pour réaliser la boucle locale radio. Ces systèmes peuvent être des réseaux sans fils, des systèmes cellulaires utilisés pour la téléphonie mobile ou bien des systèmes utilisant les hautes fréquences et nécessitant une visibilité directe entre l'abonné et le point de distribution. Ces systèmes sont différents par leur mode de fonctionnement, leur qualité vocale, leur flexibilité et facilité de déploiement, leur bande de fréquence et leur capacité à offrir des services multimédia. Cependant, les besoins de plus en plus exigeants en termes de services multimédia et par conséquent en débit de transmission de données ont poussé au

développement des systèmes offrant d'une part une qualité vocale équivalente ou meilleure que celle de la boucle locale traditionnelle et d'autre part des débits de transmission assez élevés satisfaisant les besoins multimédia des abonnés.[6]

### **b) Les inconvénients**

Les conditions météorologiques (fortes pluies, brouillard) ralentissent énormément la propagation des ondes radio causant ainsi une diminution de débit de la liaison ou une interruption de la connexion si ces conditions s'aggravent .outre ces aléas climatiques, il faudrait prendre en compte les démarches nécessaires auprès des agences de régulations pour l'attribution des fréquences à utiliser (pour l'opérateur).

Nous ajouterons aux inconvénients les conséquences des ondes radio à hautes fréquences (plusieurs GHZ) sur l'organisme. Bien que ce problème prête encore discussion.[5]

#### **2.2.10 La BLR vis-à-vis des autres systèmes de communication**

La BLR présente une alternative aux liaisons par fibres optiques, câbles coaxiaux et lignes asynchrones transmettant des hauts débits (ADSL/VDSL) et offre une capacité supérieure comparée aux autres solutions radio interactives comme les systèmes satellites et les plates-formes stratosphériques.

Les différentes technologies contribuant à l'accès large bande présentent des avantages et des inconvénients.

Il existe essentiellement deux groupes de technologie : technologie filaire représentée par les fibres optiques et les paires torsadées et technologie radio représentée par les satellites, les plates-formes stratosphériques et la BLR.

Généralement, toutes les technologies radio possèdent un potentiel de transmission large bande.

Ce potentiel les rend toutes convenables pour la distribution de télévision et de données.

Les systèmes satellite, qui présentent une faible capacité allouée à chaque utilisateur dans leur zone de couverture, possèdent l'avantage d'une couverture totale indépendante de la densité locale. Ils sont donc adaptés à la transmission large bande.

La BLR est une alternative complémentaire aux systèmes de transmission par satellite pour la distribution locale et le système satellite serait utile pour la liaison entre les différentes cellules de la BLR.

Les plates-formes stratosphériques doivent encore démontrer leurs performances. Avec leurs positions élevées, elles doivent avoir une bonne couverture. Les effets d'atténuation seront approximativement identiques à ceux de la BLR. La capacité par kilomètre carré sera plus faible.

La BLR est une solution favorable dans les zones urbaines, et elle constitue une solution supplémentaire aux réseaux interactifs câblés.

Autre que la largeur de bande, un autre paramètre important est la capacité par Km<sup>2</sup>. La BLR aurait, suivant les diamètres des cellules et la bande de fréquence qui lui est allouée, une capacité de 150-1500 Mb/s/Km<sup>2</sup>, alors que les autres technologies radio telles que les satellites LEO et les plates-formes stratosphériques possèdent respectivement des capacités de 100 Kb/s et 1 Mb/s/Km<sup>2</sup>. La taille réduite des cellules réduit par contre la possibilité d'une transmission large bande à l'extérieur du domaine local, et rend cette transmission localement très efficace.

La BLR présente un potentiel pour jouer un rôle central dans les réseaux d'accès à hauts débits qui se développent actuellement. Les différentes technologies comme la xDSL, les systèmes câblés interactifs, les systèmes satellite multimédia, les systèmes à fibres optiques et la BLR seront en coopération et en compétition afin d'être un élément important du réseau de communication.

Dans les systèmes mobiles de troisième génération, où les cellules sont plus petites que celles de la BLR, la capacité de la BLR la rend une bonne solution pour les connexions aux stations de base du système UMTS.[5]

### **2.3 Conclusion**

Contrairement à une connexion classique à partir d'un téléphone, avec la BLR vous ne serez plus facturé en fonction du temps de communication. En fait, vous serez relié à l'internet en permanence, sans surcoût. Un avantage certain en ce qui concerne les mails, réceptionnés en temps réel.

Par ailleurs La BLR propose des débits pouvant dépasser 2 Mbit/s, contre seulement 56 Kbit/s pour un modem classique V90, connecté à une ligne téléphonique traditionnelle. De plus le déploiement de la BLR ne nécessite pas de travaux de génie civil importants contrairement à la technologie filaire. La rapidité de déploiement est l'un de ses atouts majeurs. En effet, les investissements sont faibles et la couverture du territoire est possible en un temps record, à la demande de la clientèle et indépendamment de l'opérateur historique. La BLR permettra d'acheminer aussi bien les données internet que la voix sur deux canaux différents, sans être obligé de se déconnecter et sans chute de débit. Côtés tarifs, Landtel promet un abonnement téléphonique 40% moins cher que celui de France Télécom, voir les communications locale gratuite.

La Boucle Locale Radio fixe est, à court terme, le meilleur moyen de mettre fin au monopole de l'opérateur historique pour accéder directement aux abonnés.

Malgré ses quelques faiblesses, c'est une technologie intéressante, surtout pour les entreprises, de par sa rapidité de déploiement, ses faibles coûts, sa souplesse et sa capacité à fournir du haut débit

**Chapitre 3 :**  
**Étude détaillée sur la 4G**

**3.1. Introduction**

Le système 4G permet la mise à niveau des réseaux de communication. Il devrait fournir une solution IP complète et sécuriser pour les installations multimédias, telles que la voix et les données multimédias qui seront fournies aux utilisateurs; dans un esprit de «Anytime, Anywhere», avec une qualité de service beaucoup plus élevée par rapport aux générations précédentes. [5]

L'initiative, nommée LTE/SAE (System Architecture Evolution), résulte de la version 8 des spécifications 3GPP (Third Generation Partnership Project). En plus d'un débit de 100 Mb/s, le nouveau standard devrait permettre aux opérateurs de réduire leurs coûts. Ce dernier critère est crucial pour le développement d'une technologie, et ainsi il permettrait aux utilisateurs de bénéficier de meilleures performances et d'un temps de latence diminué.

**3.2. Définition de la quatrième génération (4G)**

La 4G LTE désigne la quatrième génération des standards pour la téléphonie mobile qui introduit du très haut débit pouvant aller, en théorie, jusqu'à 150Mbit/s, la spécificité de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents (2G et 3G) est le passage à une structure IP pour le transport des communications vocales et SMS sous forme de paquets de données, et de ne plus offrir de mode commuté, dans la figure suivante :

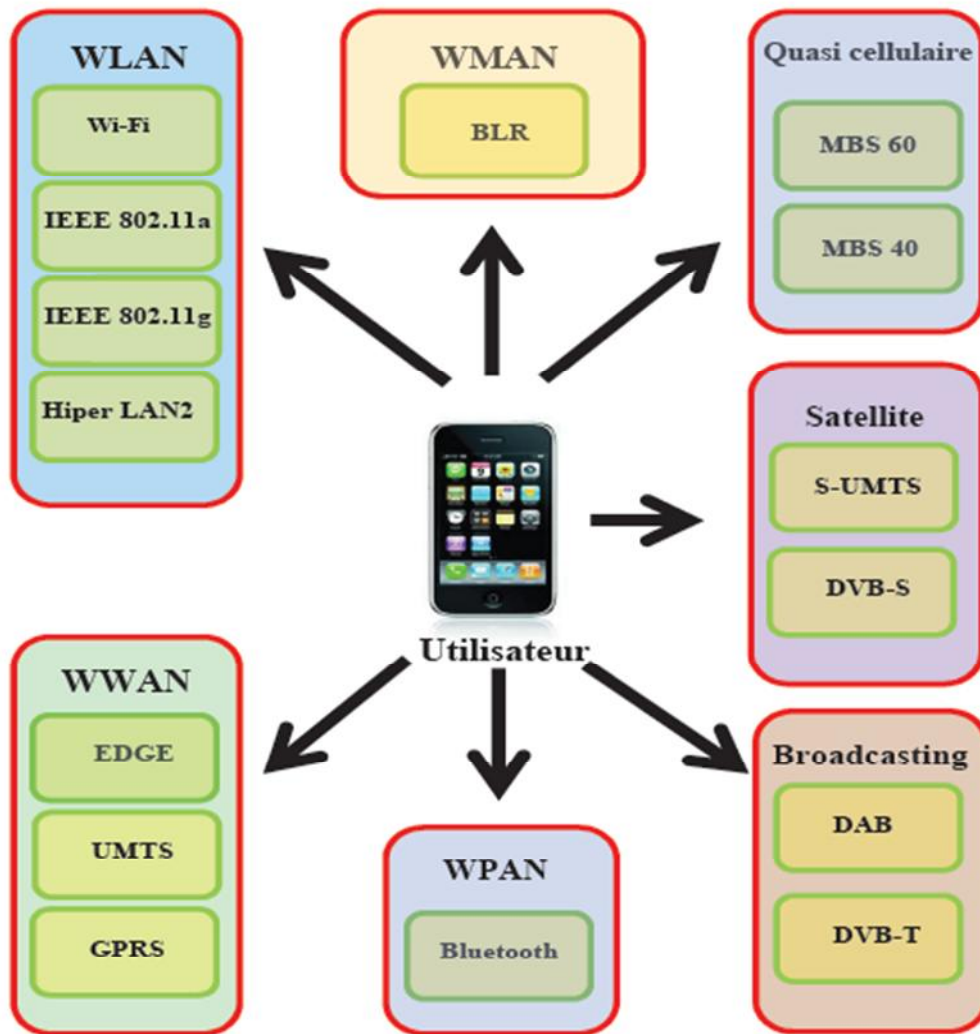


Figure 6 : Les différentes technologies d'accès sans fils.

### 3.3. Les conditions techniques pour réaliser la 4G

Afin de répondre aux différents besoins des utilisateurs, la quatrième génération de mobiles doit satisfaire les conditions techniques suivantes :

- La majorité de personnes peut accéder à la voix ou aux bases de données de services qui sont fournis par les réseaux mobiles (ceci exige une gestion de ressources efficaces).
- Le réseau mobile peut être attaché entièrement à l'Internet en raison de son concept de base (de cette façon, la technologie IP serait employée par le réseau mobile (exemple: VoIP).

- Le réseau peut s'auto-organiser (il contrôle plusieurs backbones et il utilise le meilleur).
- Le système peut maintenir les paramètres de QoS (qualité de services).
- Le paramètre de la disponibilité de communication dans le réseau doit converger vers 100%.
- Une interface universelle de software/hardware pourrait être normalisée ce qui devrait faciliter le développement de nouveaux services sans aucun problème. [1]

### **3.4. Le but de la 4G**

La 4<sup>ème</sup> génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir 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 transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4<sup>ème</sup> 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. [1]

### **3.5. Architecture de la 4G**

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 7 présente l'architecture du réseau LTE. [10]

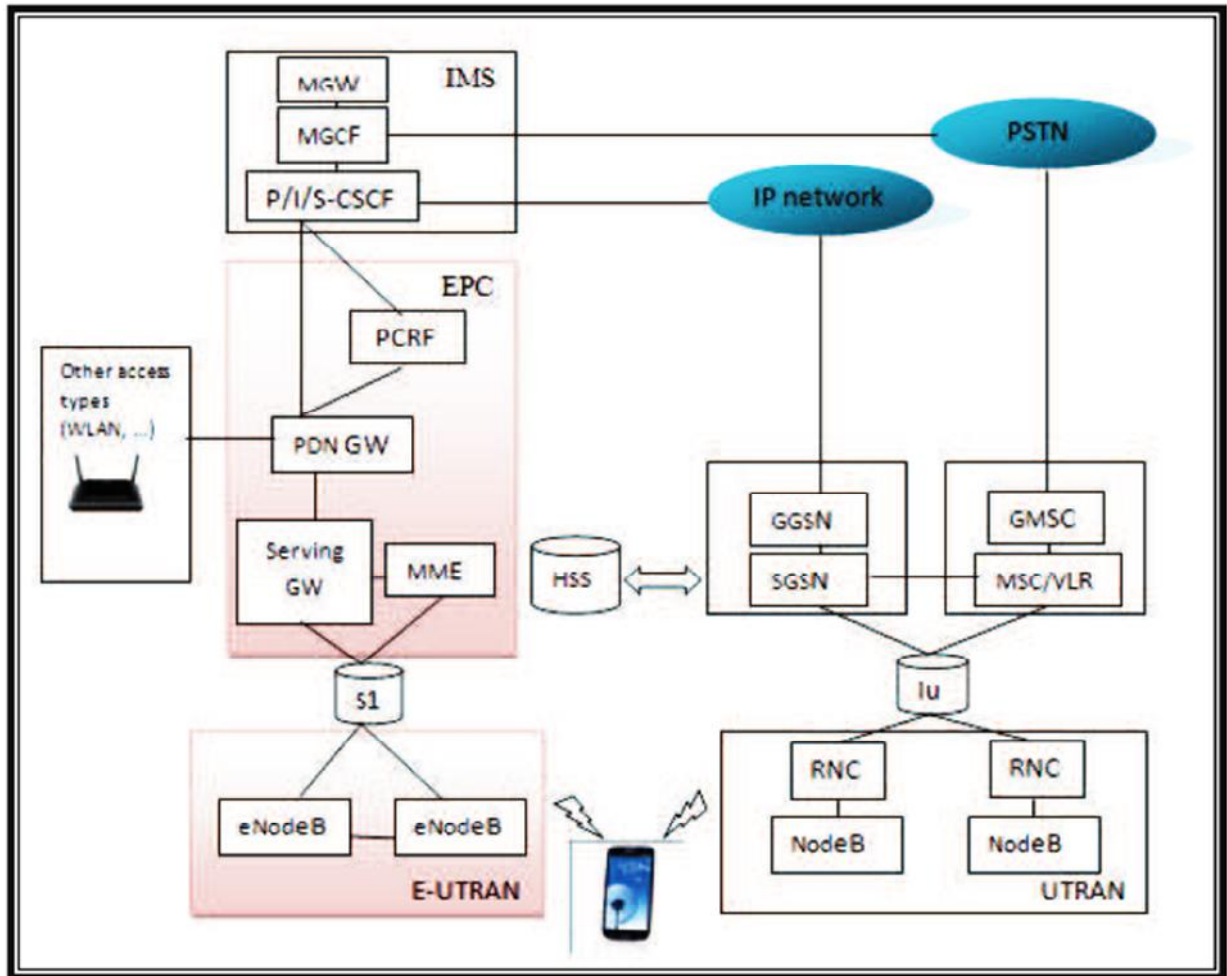


Figure 7 : L'architecture de la 4G.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La figure 8 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

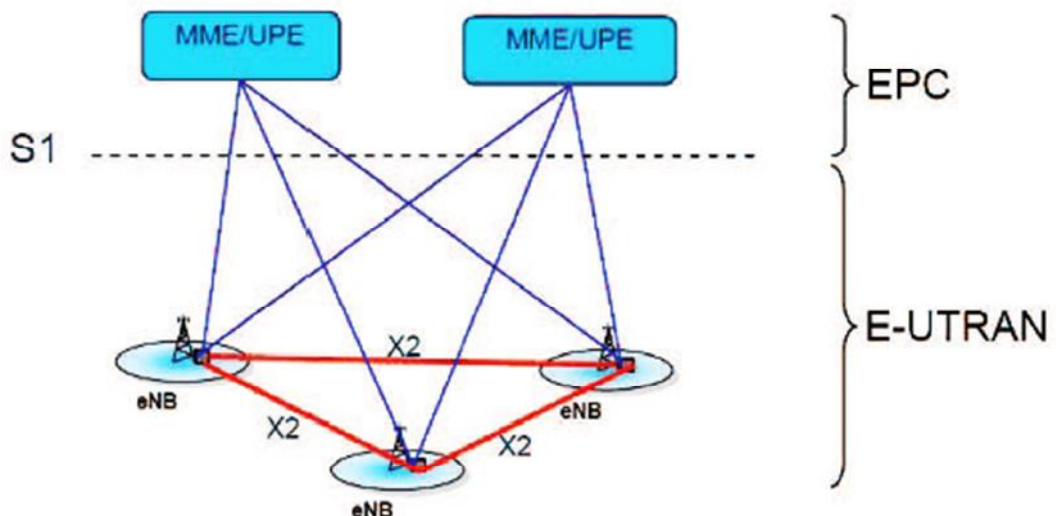


Figure 8 : L'architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE

**3.5.1. Les modules complémentaires de la 4G :****❖ MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8) :**

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion.

Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

**❖ HSS : Home Subscriber Service :**

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

**❖ PDN-GW: Packet Data Network GateWay (3GPP Release8):**

Est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments :

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

**❖ PCRF: Policy and Charging Rules Function (3GPP Release7):**

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

**❖ SGW: Serving Gateway (3GPP Release 8):**

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving GetWay (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

**❖ P-GW: Packet-Switch GetWay :**

Packet-Switch GetWay (P-GW) Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.

**❖ SGSN : Serving GRPS Support Nom :**

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

**3.6. Les technologies de la 4G****3.6.1. Réseau WLAN****3.6.1.1. IEEE 802.11**

IEEE 802.11 [6] ou WIFI est un standard international décrivant les caractéristiques du réseau LAN sans fil (WLAN). Il connecte des ordinateurs portables, des équipements de bureau, des équipements personnels (PDA)... en créant un réseau sans fil couvrant un rayon d'une dizaine de mètres et tolérant une mobilité à très petite vitesse.

IEEE 802.11 définit deux technologies, le mode infrastructure divisé en deux architectures :

- **L'architecture BSS (Basic Service Set):** composée d'une seule cellule couverte par un seul point d'accès (AP) qui est l'intermédiaire permettant l'échange d'informations entre plusieurs stations.
- **L'architecture ESS (Extended Service Set):** composée de plusieurs points d'accès connectés par un système de distribution, et formant un large réseau composé de plusieurs cellules.

Le deuxième mode défini par le WIFI est le mode Ad-Hoc qui permet l'échange direct des informations entre les stations sans obligation de passage par le point d'accès.[10]

L'architecture du mode infrastructure est illustrée dans la figure ci-dessous :

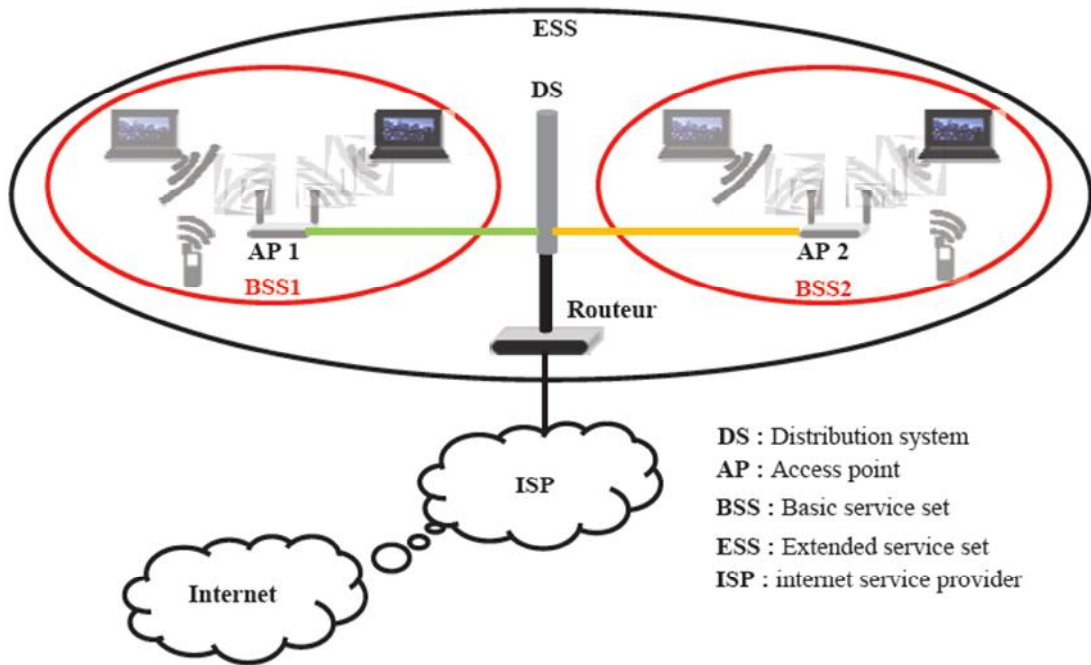


Figure 9 : L'architecture du mode infrastructure.

### 3.6.1.2. IEEE 802.11e

IEEE 802.11e est une version améliorée de l'IEEE 802.11 introduisant la QoS au niveau de la couche MAC pour le transport des trafics de type voix, audio et vidéo à travers le réseau WLAN.

Avec l'IEEE 802.11 la fonction de coordination distribuée (DCF Distributed Coordination Function) qui est une variante améliorée de la méthode d'accès CSMA/CA et qui permet d'éviter les collisions durant la transmission par le ralentissement aléatoire après chaque trame (backoff), présente quelques problèmes : elle ne prend en charge que le service Best-Effort, elle ne garantit pas le délai et la gigue, elle dégrade le débit quand la charge est importante.

Avec l'IEEE 802.11, la fonction PCF (Point Coordination Function) permettant l'accès au medium sans fil sans contrainte, présente également quelques problèmes: le schéma de Polling central est inefficace, un délai imprévisible du Beacon Frame due à la coopération incompatible entre les modes CP (Contention Period) et CFP (Contention Free Period), et enfin un temps de transmission des stations scrutées (Polled Stations) inconnue.

L'IEEE 802.11e définit plusieurs classes de service, et définit deux nouveaux mécanismes :

- **EDCF** (Enhanced DCF) qui définit différents paramètres pour différentes catégories de trafic et remplace DIFS (DCF Inter Frame Space) par AIFS (Arbitration IFS) (AIFS>DIFS), sachant que AIFS est plus court pour les trafics audio et vidéo.
- **HCF** (Hybrid CF) qui fournit le Policing, détermine l'accès au canal en contrôlant le canal à travers le HC (Hybrid Coordinator) et fonctionne avec les modes CFP et CP.

### **3.6.2. Le réseau WIMAX[10]**

#### **3.6.2.1. Introduction**

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), est une solution pour des réseaux MAN sans fil. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mb/s avec une distance de 50 km. WiMAX se sert de la technologie micro-onde avec plusieurs bandes de fréquences, par rapport au modèle OSI, IEEE 802.16 se focalise comme tous les standards IEEE sur la couche 1 et 2. WiMAX prend en charge les transferts de type ATM et IP, pour cela il utilise une sous-couche de convergence qui permet la conversion des informations afin de les rendre exploitable par la couche MAC. WiMAX couvre des zones géographiques importantes sans la contrainte d'installation d'infrastructures coûteuses pour faire parvenir la connexion jusqu'à l'utilisateur. Le premier élément de l'architecture WMAN est la station de base (BS) qui couvre une certaine zone géographique où se situent des utilisateurs immobiles ou en mouvement relativement lent qui communiquent avec la BS selon le principe du point à multipoint. Ce réseau peut fournir des débits importants et un passage à l'échelle en raison des capacités de canal flexibles. Il offre une couverture importante, des services avec des exigences de QoS, ainsi qu'une sécurité importante. Le standard IEEE802.16 couvre l'utilisation des bandes de fréquences de 10 à 66 GHz.

#### **3.6.2.2. Les couches protocolaires**

Dans la structure de la pile protocolaire du WiMAX, il existe une couche physique et trois sous-couches MAC :

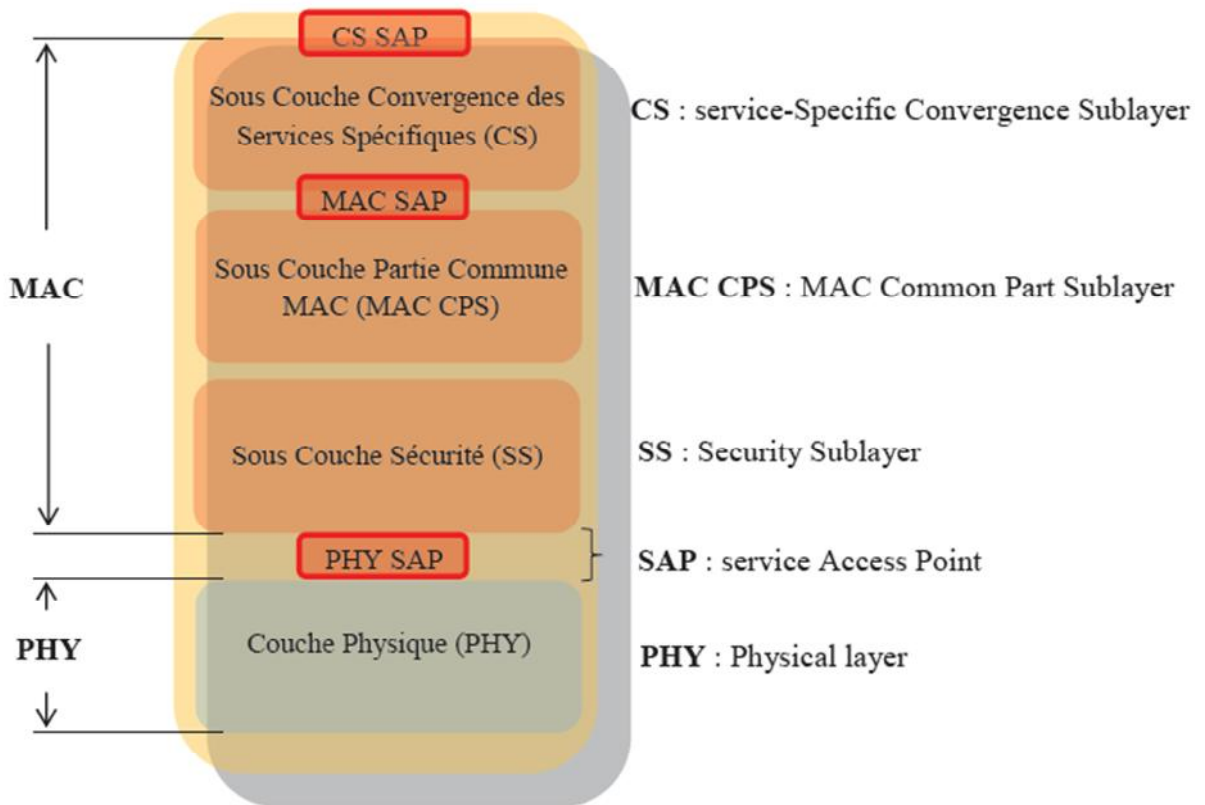


Figure 10 : Les couches protocolaires.

### 1- Service Specific Convergence Sublayer (1<sup>ère</sup> sous couche MAC)

Joue le rôle d'interface avec les couches supérieures ou bien avec les systèmes externes. Elle a entre autre la charge de classer les paquets selon leur provenance et leur destination afin de les répartir sur la bonne connexion MAC.

### 2- Common Part Sublayer (2<sup>ème</sup> sous couche MAC)

Elle contient les fonctions clés de la couche MAC. Elle détermine de quelle manière le médium va être partagé. C'est le cœur de la couche MAC à savoir qu'elle s'occupe de l'allocation de ressource, de l'établissement et de la maintenance des connexions, etc...

### 3- Sous couche de protection (3<sup>ème</sup> sous couche MAC)

Celle-ci contient les informations d'authentification et de cryptage. Elle s'occupe aussi du cryptage des données, de l'échange des clefs, etc...

#### 4- Couche physique

- **Modulation** : Selon les besoins, différentes couches physiques peuvent être utilisées par la couche MAC. Au niveau physique, on utilisera par exemple différentes méthodes de modulation (QPSK, QAM 16, QAM 64) pour gérer l'envoi des bits sur le support.
- **Multiplexage** : Pour gérer le partage des porteuses sur les voies montantes et descendantes, des techniques de multiplexage sont utilisées: TDD (Time Division Duplex) et FDD (Frequency Division Duplex).
- **Méthodes d'accès** : Il est nécessaire de partager un support unique entre plusieurs utilisateurs. Une politique d'accès au support est donc mise en place, en l'occurrence, le WiMAX utilise TDM/TDMA (Time Division Multiplexing / Time Division Multiple Access).

##### 3.6.2.3. WIMAX mobile

Le WiMAX mobile (Standard IEEE 802.16e) [9] est la version qui apporte la mobilité au WiMAX fixe tout en restant interopérable avec celui-ci. A partir d'une station de base (BS) vers des clients mobiles (MS) se déplaçant à moins de 120 km/h en passant d'une antenne à l'autre, l'IEEE 802.16e prévoit la transmission de données à des débits allant jusqu'à 30 Mb/s sur une zone de couverture d'un rayon inférieur à 3,5 km. Pour bénéficier des services de cette technologie, les équipements mobiles devront intégrer un composant dédié. Au niveau de l'interface physique, IEEE 802.16e utilise la méthode d'accès **OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qui permet d'adapter les canaux de manière dynamique.

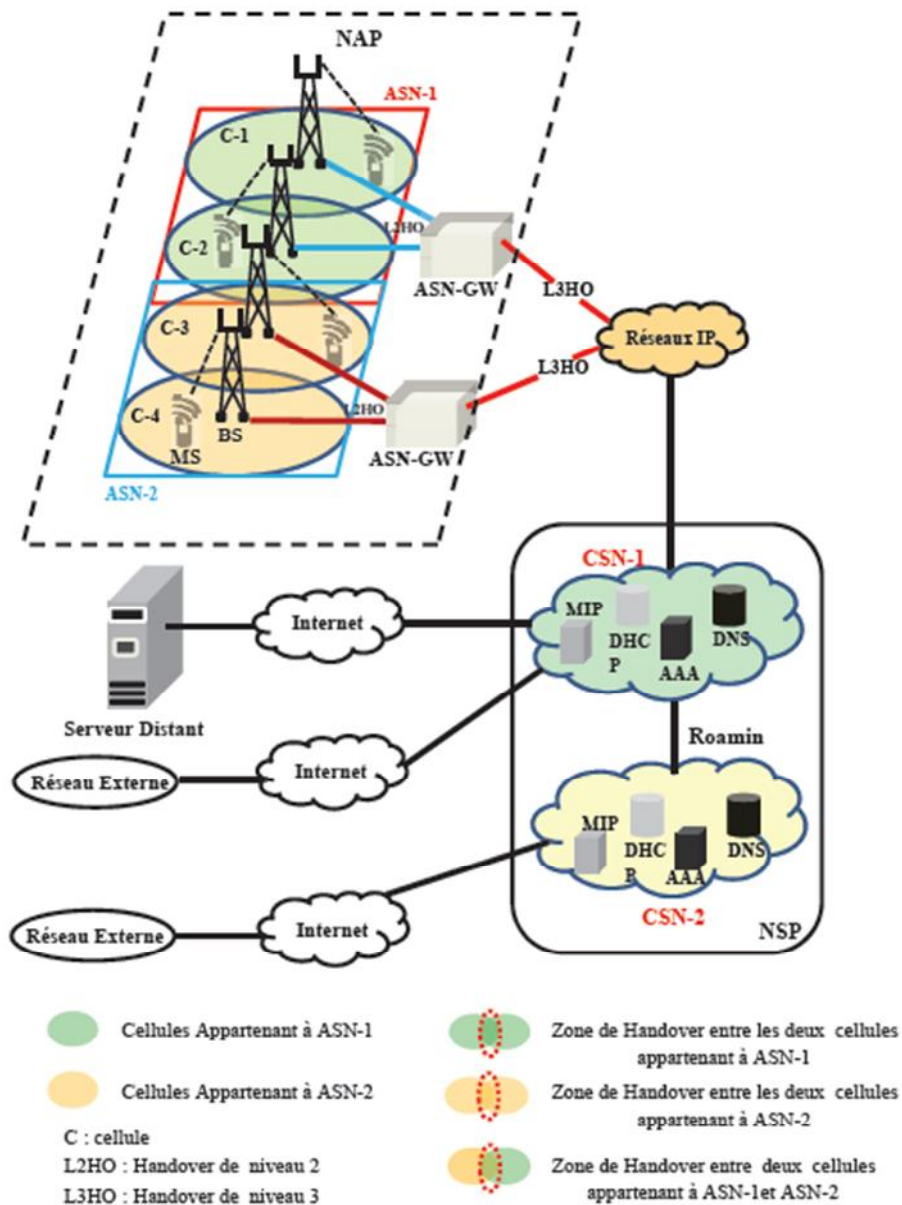


Figure 11 : Présente le WIMAX mobile.

### 3.7. Les caractéristiques des systèmes sans fils 4G

#### 3.7.1. Débit sur interface radio

La technologie LTE offre un débit de 100 Mbit/s pour le flux descendant et de 50 Mbit/s pour le flux ascendant. Pour ce qui est de l'interface radio E-UTRAN, elle doit avoir la possibilité de supporter un débit maximum. L'allocation d'une bande passante 20 MHz supporte un débit de 100 Mbit/s pour le sens descendant et de 50 Mbit/s pour le sens ascendant. Les technologies utilisées pour atteindre ces objectifs sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens ascendant. [9]

Par exemple, l'efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens ascendant avec une bande passante de 20 MHz permet d'atteindre des débits de 100 Mbit/s et 50 Mbit/s.

On considère la technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) lorsque l'efficacité spectrale est de 2,9 bit/s/Hz dans le sens descendant pour atteindre une vitesse de 14,4 Mbit/s. On est obligé d'allouer une bande passante de 5 MHz. Par contre, la technologie LTE, nous donne la possibilité d'opérer avec une bande de fréquence comprise entre: 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz. L'intention de cette flexibilité est de permettre un déploiement en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.

### **3.7.2. Mobilité**

La mobilité est une fonction clé pour les réseaux mobiles. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale est moins qu'en GSM, ou équivalent. Le système intègre également des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra-système.[1]

### **3.7.3. L'agilité en fréquence**

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

### **3.7.4. Délai pour transmission des données**

Le délai pour la transmission de données est de moins de 5 ms entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud de réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et des paquets IP de petite taille.[1]

### **3.7.5. Codage et sécurité**

L'utilisation du codage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS).

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO.[1]

### **3.7.6. Le multiplexage**

Il existe deux modes de multiplexage de fréquences :

Les spécifications LTE prévoient le fonctionnement en mode dual : multiplexage de fréquences (FDD) et multiplexage temporel (TDD). En mode FDD (Frequency Division Duplexing), l'émission et la réception se font à des fréquences différentes. En mode TDD, l'émission et la réception transitent à une même fréquence, mais à des instants différents.

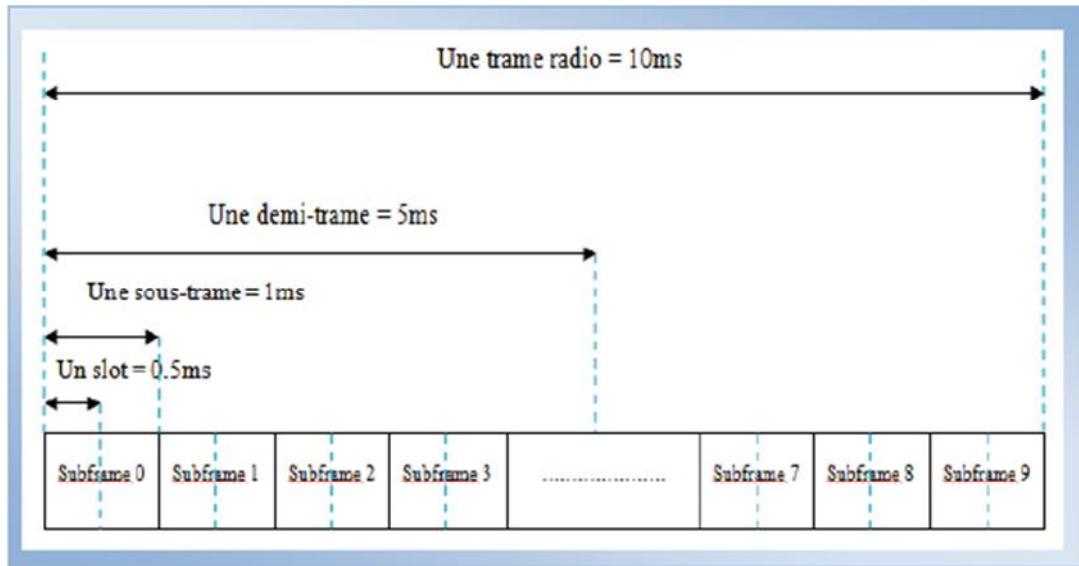
C'est le premier mode (FDD) qui fait l'objet de l'appel à candidature en France. C'est aussi celui qui est actuellement mis en œuvre dans les équipements télécoms et déployé dans la plupart des premiers réseaux 4G LTE autorisés. Le deuxième mode (TDD) fonctionne sur des bandes de fréquences distinctes qui feront l'objet d'attributions ultérieures.[1]

### **3.7.7. Structure d'une trame LTE**

La couche physique utilise la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le flux descendant (d'eNodeB vers UE) et la technique SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) pour le flux ascendant. Elle offre aussi la possibilité d'utiliser trois modes de transmission: Full Duplex FDD (Frequency Division Duplex), HalfDuplex FDD et TDD (Time Division Duplex).[9]

### 3.7.7.1. La trame physique LTE

Pour chaque mode, une trame physique est définie. La trame LTE de type-1 est utilisée pour les deux modes de FDD, elle possède la structure suivante :



**Figure 12 : Structure d'une trame LTE.**

Parmi ses caractéristiques:

- La trame LTE de type-1 possède 20 intervalles de temps (Slot) chacun de 0.5 ms;
- Chaque deux intervalles de temps adjacents constituent une sous-trame (subframe);
- Les modulations possibles sont: QPSK, 16QAM et 64QAM;
- Le canal de diffusion utilise QPSK seulement;
- Le CRC-24 est utilisé pour la détection des erreurs;
- La taille maximale d'un bloc d'information est de 6144 bits;
- Les techniques de brouillage et d'entrelacement sont possibles;
- Le mappage des couches et le pré-codage sont utilisés dans MIMO.

### 3.7.7.2. Codage de canal

Le codage du canal est utilisé après la vérification du CRC en tenant compte de la taille du bloc à transmettre, la modulation et l'allocation des ressources. La technique de retransmission HARQ est utilisée pour contrôler le codage.

L'ordonnanceur de la couche MAC intervient aussi dans le codage, il est responsable du mappage des blocs de ressources alloués avec les ports des antennes.

### 3.7.8. Modulation adaptative et codage

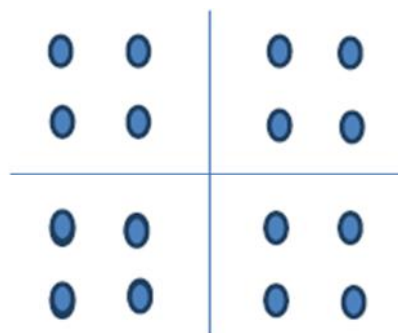
Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance  $2 = 4$  états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance  $4 = 16$  états d'information. Chacune de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM

#### 1- La modulation 16QAM :

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) est une forme de modulation d'une porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature (une onde déphasée de  $90^\circ$  avec la porteuse) selon l'information transportée par deux signaux d'entrée.



**Figure 13 : La modulation 16QAM.**

L'amplitude et la phase de la porteuse sont simultanément modifiées en fonction de l'information à transmettre.

La figure 2.9 montre la constellation, qu'elle est en conséquence le nombre de bits pouvant être transmis en une fois, peut être augmentée pour un meilleur débit binaire, ou diminuée pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreurs binaires. Le nombre de points de la constellation est indiqué avant le type de modulation QAM.

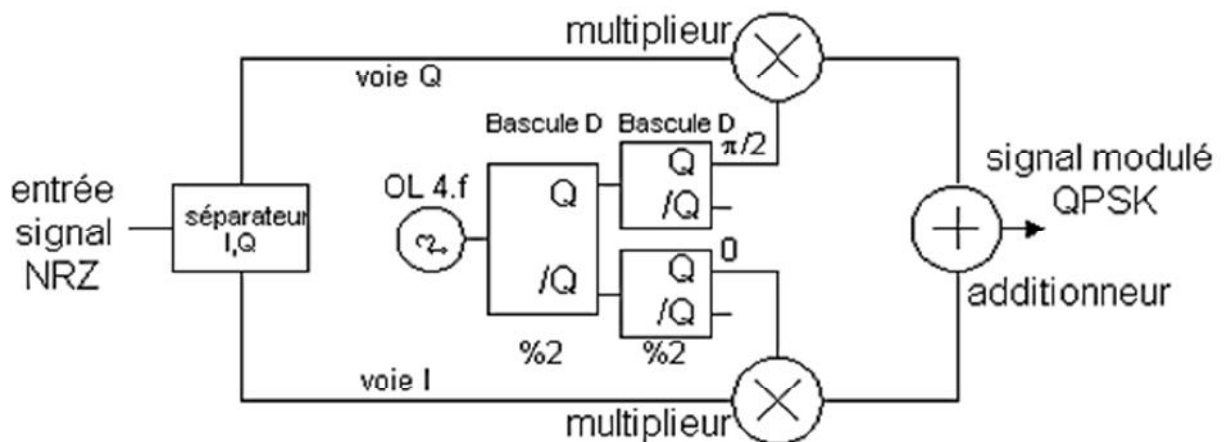
Le format de modulation QAM est étudié de plus en plus sérieusement dans le domaine des télécommunications par fibre optique afin de répondre à l'augmentation du débit.

**2- La modulation QPSK :**

Deux signaux FI en quadrature sont générés à partir d'un oscillateur local à la fréquence quadruple. Le train de donnée binaire est séparé en deux "sous trains" appelés I et Q. La paire de valeur, constitue ce que l'on appelle un symbole.

Pour des considérations électroniques, les signaux I et Q sont centrés sur 0V. On peut donc considérer que I et Q prennent symboliquement deux niveaux +1, -1 correspondant aux états binaires.

Chacun attaque un multiplieur. Le résultat de chaque multiplication est sommé en sortie de façon à obtenir un signal modulé  $v_s(t) : V_s(t) = I \cos\omega t + Q \sin\omega t$



**Figure 14 : La modulation QPSK.**

Les états de phase du signal modulé se représentent en coordonnées polaires dans le plan I, Q. Suivant les combinaisons de ces derniers, on obtient alors le diagramme de communément constellation.

**3.7.9. Les types de transmission**

Un des éléments clés de la LTE est l'utilisation de ces deux techniques OFDMA et SC-FDMA, qu'on présentera par la suite, en tant que porteur du signal et des régimes d'accès.

**3.7.9.1. OFDMA**

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type «Accès multiple par répartition en fréquence» qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4<sup>ème</sup> génération LTE. Elle est également utilisée par d'autres systèmes de radiocommunication, tels les versions évoluées des normes de réseaux locaux sans fil WIFI (IEEE 802.11 versions, IEEE 802.22 et WiBro) ainsi que par certaines normes de télévision numérique. Comme pour d'autres techniques de codage permettant l'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA), l'objectif est de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) et d'en attribuer dynamiquement des parties à plusieurs utilisateurs.

**- Origine et Avantages :**

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, ainsi qu'il est compatible avec la technique des antennes MIMO.

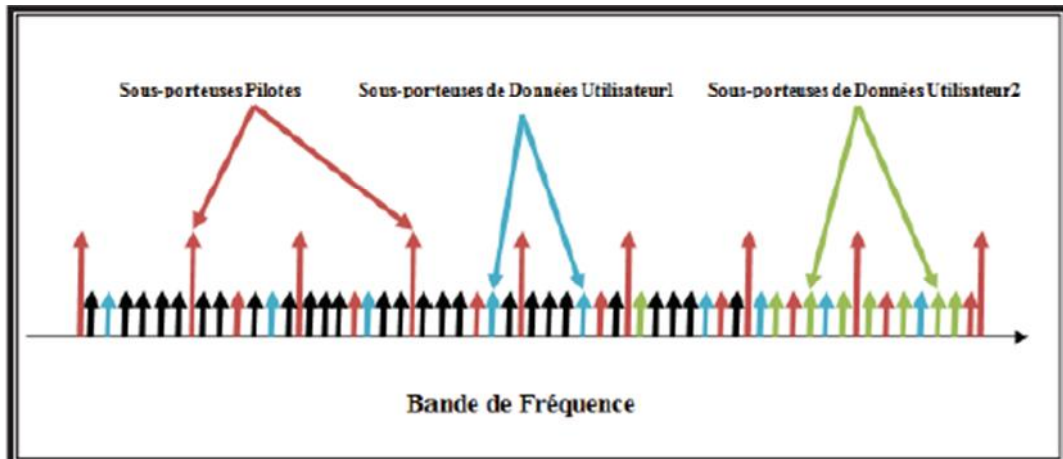
L'OFDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA qui est utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de transmission downlink des réseaux mobiles, car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) et à sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec échos et trajets multiples des ondes radio. Ce codage (tout comme le CDMA utilisé dans les réseaux mobiles 3G) permet un facteur de réutilisation des fréquences égal à « 1 », c'est-à-dire que des cellules radio adjacentes peuvent réutiliser les mêmes fréquences hertziennes.

**- Principe :**

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antennes radio ; réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus

long ( $66.7 \mu\text{s}$  pour le LTE) ; cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portées (quand le débit binaire sur une porteuse est élevé, l'écho d'un symbole arrivant en retard à cause d'une propagation multi-trajets perturbe le ou les symboles suivants) :



**Figure 15 : Présente la bande de fréquence.**

Un filtrage séparé de chaque sous-porteuse n'est pas nécessaire pour le décodage dans le terminal récepteur, une « Transformée de Fourier » FFT est suffisante pour séparer les sous-porteuses l'une de l'autre. Dans le cas du LTE, il y a jusqu'à 1200 porteuses indépendantes.

Orthogonalité (le « O » de OFDMA) : en utilisant des signaux orthogonaux les uns aux autres pour les sous-porteuses contiguës, il évite les interférences mutuelles. Ce résultat est obtenu en ayant un écart de fréquence entre les sous-porteuses qui est égal à la fréquence des symboles sur chaque sous-porteuse. Cela signifie que lorsque les signaux sont démodulés, ils ont un nombre entier de cycles dans la durée du symbole et leur contribution aux interférences est égale à zéro; en d'autres termes, le produit scalaire entre chacune des sous-porteuses est nul pendant la durée de transmission d'un symbole ( $66.7 \mu\text{s}$  en LTE, soit une fréquence de 15 KHz, ce qui correspond à l'écart de fréquence entre 2 sous-porteuses).

Un CP (préfixe cyclique) est utilisé dans les transmissions OFDMA, afin de conserver l'orthogonalité et les propriétés sinusoïdales du signal pour les canaux à trajets multiples. Ce préfixe cyclique est ajouté au début des symboles émis. En LTE, deux longueurs différentes de préfixe cyclique sont prévues pour s'adapter à des temps différents de propagation du canal de transmission qui dépendent de la taille de la cellule radio et de l'environnement : un

préfixe cyclique normal de 4,7% et un préfixe cyclique étendu de 16,6% utilisé dans les très grandes cellules radio (ce préfixe représente de 7 à 25 % de la durée d'un symbole).

Ce codage est associé dans les réseaux LTE à des modulations de type QPSK ou QAM utilisées sur chacun des canaux, pour s'adapter aux conditions radio locales et à la distance séparant l'antenne de chaque terminal.

### 3.7.9.2. SC-FDMA

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4<sup>ème</sup> génération LTE.

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « **DFT** » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où son **PAPR** (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile).

Il a été adopté pour les liaisons uplink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé. Codage radio OFDMA et SC-FDMA: conversion numérique/analogique.

3.7.9.3. Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA

La figure suivante permet de relever les points communs entre l'OFDMA et le SCFDMA:

- Une transmission de données en blocs.
- Un multiplexage des données en fréquence dans le cas où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales.
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel.
- Une complexité globalement équivalente.

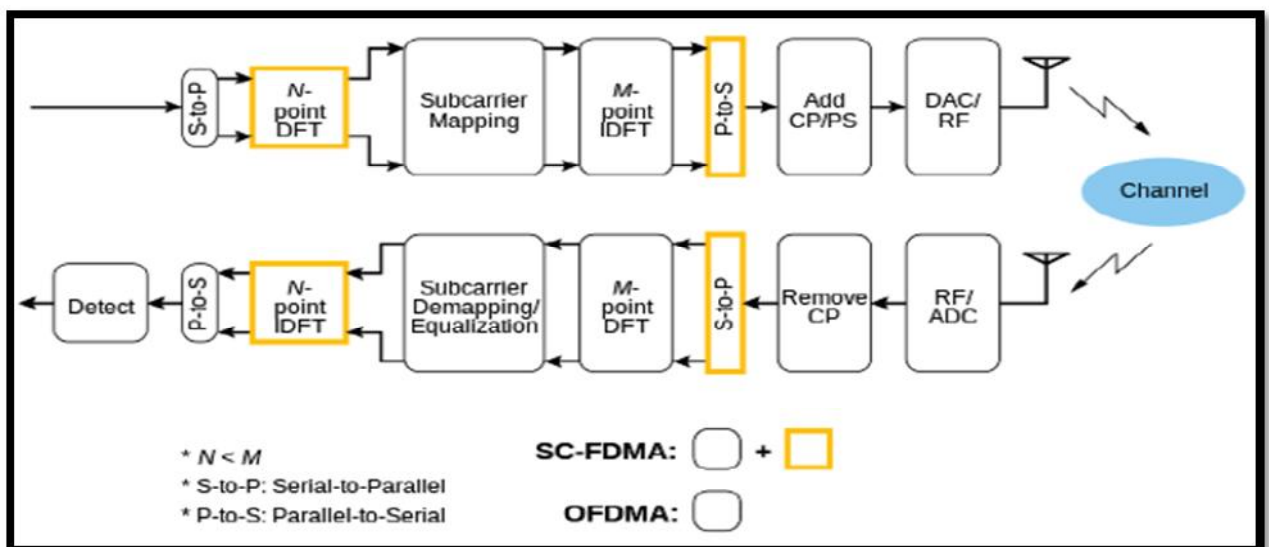


Figure 16 : Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA.

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse.

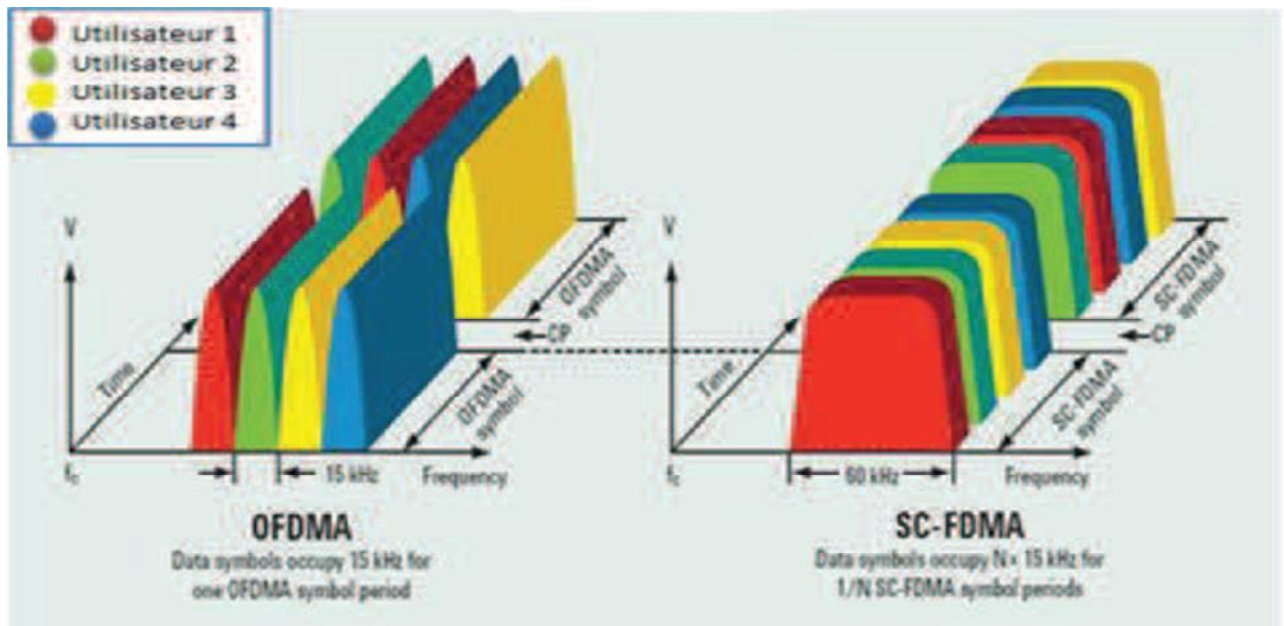


Figure 17 : La différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA.

### 3.8. La qualité de service

#### 3.8.1. Définition

La qualité de service (QoS) ou Quality of service (QoS) est la capacité de transmission dans de bonnes conditions un certain nombre de paquet dans une connexion entre un émetteur et un récepteur, et cela peut être présenté sous plusieurs termes tel que la disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets.

Elle regroupe un ensemble de technologies mise en œuvre pour assurer des débits suffisants et constants sur tous les types de réseaux.[9]

#### 3.8.2. Le But de la QoS

Le but de la QoS est donc d'optimiser les ressources du réseau et de garantir de bonnes performances aux applications. La qualité de service sur les réseaux permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciés par application suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la couche réseau.

Elle permet ainsi aux fournisseurs de services de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP.

Selon les types d'un service envisagé, la qualité pourra résider :

- Le débit (téléchargement ou diffusion vidéo).
- Le délai (pour les applications ou la téléphonie).
- La disponibilité (accès à un service partagé).
- Le taux de pertes de paquets.[9]

### **3.8.3. Les Paramètres de la QoS**

Au sein d'un réseau donné, la qualité de service est évaluée en fonction des différents équipements qui composent ce réseau, ainsi que du trafic qui y circule, 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 multimédia nécessitent un niveau minimal de qualité de service en termes de bande passante, de délai, de gigue ou de taux de pertes de paquets.[9]

#### **3.8.3.1. Le Débit**

Il définit le volume maximal pouvant être atteint pour la transmission de l'information (bits) par unité de temps (s) dans une communication entre un émetteur et un récepteur.

#### **3.8.3.2. La perte de paquets**

Elle correspond aux octets perdus lors de la transmission des paquets. Elle s'exprime en taux de perte. Plutôt rare, Elle correspond au nombre de paquet de données qui n'ont pas été reçus par la destination lors d'une communication. Cela peut être causé par plusieurs facteurs, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.

#### **3.8.3.3. Le délai de transit (latence)**

C'est le délai de traversée du réseau, d'un bout à l'autre, par un paquet. Les différentes applications présentes dans un réseau n'auront pas le même degré d'exigence en fonction de leur nature : faible, s'il s'agit d'une messagerie électronique ou de fichiers échangés, ce degré d'exigence sera fort s'il s'agit de données "voix". La latence dépend du temps de propagation (fonction du type de média de transmission), du temps de traitement (fonction du nombre d'équipements traversés) et de la taille des paquets (temps de sérialisation).

**3.8.3.4. La gigue**

Désigne les variations de latence des paquets. La présence de gigue dans les flux peut provenir des changements d'intensité de trafic sur les liens de sorties des commutateurs. Plus globalement, elle dépend du volume de trafic et du nombre d'équipements sur le réseau.

**3.8.3.5. 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.

**3.8.3.6. Priorité des paquets**

Afin d'arbitrer entre les modes "burst" et "streaming" précédemment cités, une gestion du trafic peut soit être installée au sein du réseau, soit à ses extrémités. S'il s'agit de l'intérieur du réseau, les nœuds de ce réseau opèrent alors comme étant des éléments de classification et de priorisation des paquets qui y circulent. Si le dispositif se trouve à l'extérieur, les équipements constituant le réseau se trouvent déchargés de toute QoS. Deux mécanismes sont alors à l'œuvre : le contrôle de débit TCP, qui modifie le débit des applications TCP en fonction des conditions de charge du réseau et du niveau de priorité des applications, et la gestion des files d'attente personnalisées, qui affecte les flux entrants aux files d'attentes qui leur correspondent.

**3.8.4. Les informations utilisées pour assurer la QoS**

Pour mettre en place la qualité de service, il est nécessaire de se positionné sur la reconnaissance des différents services qui sont les suivants :

- La source et la destination du paquet.
- Le protocole utilisé (UDP/TCP/etc.).
- Les ports de source et de destination dans le cas TCP et UDP.
- La validité du routage (par ex. gestion des pannes dans un routage en cas de routes multiples).

- La bande passante consommée.
- Le temps de latence.[9]

### **3.8.5. La gestion de la qualité de service**

Aujourd'hui le protocole IP tend à s'imposer dans la plupart des infrastructures réseaux, que ce soit dans les réseaux locaux des entreprises, l'Internet bien sûr qui l'a vu naître, mais aussi les backbones des providers.

L'autre tendance concerne l'arrivée imminente (lorsque ce n'est pas déjà le cas) des applications multimédia dans les foyers comme dans les entreprises (visioconférence, VoIP, audio, vidéo, jeux en réseaux). Or pour un fonctionnement normal et une satisfaction des utilisateurs, ces applications ont besoin de reposer sur un réseau performant et fiable. C'est notamment le cas des applications audio qui nécessitent le respect des délais de transmission strictes.

Or actuellement le protocole IP assure le même traitement pour tous les paquets qu'il voit transiter (notamment dans l'Internet), sans tenir compte des spécificités des applications émettrices, ni de leur contraintes (en bande passante, délai) : il s'agit du fameux BEST EFFORT.

Voilà pourquoi depuis la fin des années 1980, l'IETF a lancé des travaux en vue de combler ce talon d'Achille d'IP. Cela s'est traduit par la constitution de deux groupes de travail, qui ont mis au point deux modèles de gestion de la qualité de service (ou QoS, Quality Of Service) que nous allons vous présenter : le modèle INTSERV, et le modèle DIFFSERV.[9]

#### **3.8.5.1. DiffServ**

C'est un protocole qui consiste à affecter des priorités au niveau d'un champ de l'entête IP appelé DSCP (DiffServ Control Protol). L'identification et le marquage du paquet est donc fait en entrée de réseau et les nœuds intermédiaires ou de cœur du réseau se contente d'appliquer les politiques de gestion du flux en fonction des priorités des paquets. L'approche DiffServ permet un déploiement et une exploitation simplifiée du réseau.

#### **3.8.5.2. IntServ**

Consiste à réserver les ressources nécessaires au niveau de tous les nœuds du réseau avant de faire transiter les flux. Cette approche repose sur l'utilisation du protocole RSVP

(ressource réservation Protocol) qui induit alors une couche de contrôle d'admission supplémentaire pour s'assurer que la bande passante requise est bien disponible à un instant T. Dans IntServ, les routeurs doivent maintenir des tables pour mémoriser l'état de chaque flux et des allocations de ressources. DiffServ (Differentiated Services) est une approche permettant la gestion de la QoS sur un réseau IP.

### **3.8.6. Qualité de service dans le réseau 4G**

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

- **Le bearer EPS**

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 permet d'identifier de manière unique des flux de trafic recevant la même qualité de service entre le terminal et la PDN GW. Tous les flux associés à un bearer EPS reçoivent les mêmes traitements en termes de forwarding (expédition des paquets).

Il existe deux types de bearers EPS :

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

**3.9. Conclusion**

Dans le cadre de la 4ème génération de mobile (4G), plusieurs technologies d'accès sans fil sont présentées à l'utilisateur. Ce dernier veut pouvoir être connecté au mieux, n'importe où, n'importe quand et avec n'importe quel réseau d'accès. Pour cela, les différentes technologies sans fil, doivent coexister de manière à ce que la meilleure technologie puisse être retenue en fonction du profil de l'utilisateur et de chaque type d'application et de service qu'il demande.

**Chapitre 4 :**  
**Simulation de la 4G et interprétations**

### **4.1 Introduction**

Les réseaux informatiques connaissent une expansion importante grâce à plusieurs moyens qui ont pu se développer au cours du temps, donc il est coûteux de déployer un banc d'essai complet contenant plusieurs ordinateurs, des routeurs et des liaisons de données pour valider et vérifier un protocole de réseau ou un certain algorithme spécifique.

C'est pour cela que les simulateurs de réseaux sont utilisés :

- Les simulateurs du réseau offrent beaucoup d'économie, de temps et d'argent pour l'accomplissement des tâches de simulation et sont également utilisés pour que les concepteurs des réseaux puissent tester les nouveaux protocoles ou modifier les protocoles déjà existants d'une manière contrôlée et productive.
- La problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation des performances des réseaux 4G, et en particulier les paramètres de la QoS. Nous présentons dans ce qui suit le déroulement des étapes de simulation que nous avons menés dans ce travail de fin d'études qui consiste à simuler quelques critères de QoS. Notre intérêt est d'évaluer les paramètres qui influent sur les performances globales du réseau 4G.

### **4.2 Choix du simulateur**

L'étude des performances des systèmes de communications au niveau des réseaux représente une tâche complexe où des outils de simulation spécialisés doivent être utilisés.

Dans notre étude de cas, sachant que nous nous intéressons aux systèmes cellulaires actuels et futurs, une prise en charge du modèle LTE est d'une importance primordiale. Nous traiterons par la suite, le choix du simulateur réseau retenu pour produire les résultats et nous exposerons les performances au niveau de ce réseau, selon différents scénarios.

En général, un simulateur de réseau est composé d'un large éventail de technologies et de protocoles réseaux et aide les utilisateurs à construire des réseaux complexes à partir de blocs de construction de base comme des grappes de nœuds et de liens.

Il existe plusieurs simulateurs réseaux, nous allons présenté par la suite quelques-uns que nous avons travaillé et essayé de travailler avec, tel que :

### 4.2.1 LTE-SIM

La plupart des fournisseurs d'équipements de communication mobiles ont mis en œuvre leurs propres simulateurs. Par ailleurs, d'autres simulateurs, développés dans les coopérations universitaires-industriel, peuvent être achetés au moyen d'une licence commerciale, et leurs codes sources ne sont pas accessibles au public. Un simulateur LTE basé sur Matlab a été proposé avec la mise en œuvre d'une liaison descendante conforme à la couche physique de la norme LTE, la modulation adaptative, plusieurs utilisateurs, transmission MIMO mais il ne tient pas compte des aspects pertinents de simulation LTE.

Les principales fonctionnalités du simulateur LTE-Sim sont les suivants :

- Environnement mono et multicellulaire (macro, micro, femto), Gestion de QOS,
- Environnement multiutilisateurs, Mobilité, UDP en dans la couche transport, TDD, FDD, Algorithme d'ordonancement PF EXP, et M-LWDF, Modulation AMC.

### 4.2.2 OPNET

OPNET est très réputé dans l'industrie pour la modélisation et aussi la simulation des réseaux. Parmi ses avantages, il permet de concevoir et d'étudier des réseaux de communications, des nouvelles technologies, des protocoles et des applications avec facilité et évolutivité. Il est utilisé spécialement par les entreprises des technologies les plus performantes pour accélérer et améliorer leurs procédés de recherches et de développements. Mais, les versions qui sont compatibles avec le LTE méritent une licence.

### 4.2.3 NS-2

NS-2 bénéficie d'utilisation répandue dans le milieu de la recherche, le code de simulation a été contribué par plus de cent personnes et organisations, et l'utilisation du simulateur est toujours référencé dans de nombreux travaux de recherche en réseau.

Cependant, une lacune majeure de NS-2 est son évolutivité en termes d'utilisation de la mémoire et du temps d'exécution de la simulation. Ceci est particulièrement un problème en ce qui concerne les nouveaux domaines de recherche dans les réseaux informatiques, ou des architectures maillées qui exigent une simulation de réseaux très larges.

Outre NS-2, plus d'une douzaine de simulateurs des réseaux sont actuellement utilisés dans les universités et l'industrie. Parmi les simulateurs les plus connus nous choisissons le simulateur NS-3 pour réaliser notre travail.

#### **4.2.4 NS-3**

Le simulateur NS-3 est un simulateur réseau, utilisant des scripts écrit en C++ ou en Python.

Ce dernier vise à remplacer NS-2, écrit en C++, python et OTel (version orientée objet de Tel), pour tenter de remédier à ses limites (l'utilisation de multiples interfaces sur un nœud).

Il peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix, OS X (Mac) et Windows.

Son développement a d'abord commencé en juillet 2006, et devait durer quatre ans, il est financé par les instituts comme l'université de Washington, Georgia Institute of Technology et le Centre de l'ICSI pour la recherche sur Internet, la première version majeure publique et stable a été publiée en juin 2008.

Les développeurs de NS-3 ont décidé que l'architecture de simulation devait être remaniée complètement en partant du Zéro. Dans cette optique, l'expérience tirée de NS-2 doit être associée avec les progrès des langages de programmation et du génie logiciel. L'idée de la rétrocompatibilité avec NS-2 a été abandonnée dès le départ. Cela libère NS-3 de contraintes héritées de NS-2 et permet la construction d'un simulateur qui est bien conçu depuis le début.

### **4.3 Terminologie et abstractions**

Il est important de bien comprendre le sens des termes employés au sein du simulateur, ainsi que les abstractions qui ont été faites.

NS-3 utilise des termes largement employés dans le domaine des réseaux, mais qui peuvent avoir une signification particulière au sein du simulateur. Voici les principaux :

#### **4.3.1 Un nœud "Node"**

Représente tout élément de réseau. La composition d'un nœud peut être gérée (ajout de composants, d'applications et de protocoles).

### 4.3.2 Une application “Application“

Représente un code exécuté par un utilisateur. Ce code peut être nécessaire au déroulement d’une simulation. L’échange de paquets durant une simulation nécessite par exemple la description d’une application au sein des nœuds participants. Les applications peuvent être attachées à un Node.

### 4.3.3 Un canal de communication “Channel“

Channel est le lien qui relie les NetDevices installés dans les nœuds. Des spécialisations de cette classe sont définies, comme par exemple LTEChannel pour modéliser un réseau LTE.

### 4.3.4 Une interface de communication

Appelée NetDevice, qui modélise à la fois les équipements et les pilotes de communication. Des spécialisations sont fournies comme par exemple LTENetDvice qui peut être reliée à un LTEChannel.

S’il s’agit de connecter un grand nombre de nœuds pour un réseau, ce processus peut être très lourd. NS-3 fournit des TopologyHelpers pour faciliter ce genre de tâches (exemple LTEHelper).

## 4.4 Installation du simulateur NS-3

Pour installer NS-3 nous devons avoir une interface Linux, et cela ce fait soit en installant Linus directement sur la machine ou bien utiliser une machine virtuel (VirtualBox ou VMware), alors on peut utiliser Ubuntu comme interface de Linux, et les étapes suivantes sont des commandes pour télécharger et installer les différents paquets utiliser dans Ubuntu.

- Ubuntu/Debian (Linux).

La liste suivante de paquetage doit être téléchargée pour la version Ubuntu 14.04.

- Package pour C++, c’est le package minimal pour le besoin de l’installation de ns-3.

```
sudo apt-get install gcc g++ python
```

- Paquetage pour Python.

```
sudo apt-get install gcc g++ python python-dev
```

- Package pour Mercurial.

```
sudo apt-get install mercurial
```

Les outils de développement qt4 sont nécessaires pour l'animateur Netanim (**Note:** qt version qt4, pas qt5, est nécessaire).

```
sudo apt-get install qt4-dev-tools libqt4-dev
```

- Prise en charge de la génération de liaisons python modifiées.

```
sudo apt-get install cmake libc6-dev libc6-dev-i386 g++ - multilib
```

- Débogage :

```
sudo apt-get install gdb valgrind
```

- Support de bibliothèque scientifique GNU (GSL) pour des modèles d'erreur WiFi plus précis

```
sudo apt-get install gsl-bin libgsl-dev
```

- Le Network Simulation Cradle (nsc) nécessite l'analyseur lexical flexible et le générateur d'analyseur de bison :

```
sudo apt-get install flex bison libfl-dev
```

- Pour lire les traces de paquets pcap

```
sudo apt-get install tcpdump
```

- Support de base de données pour le cadre statistique

```
sudo apt-get install sqlite sqlite3 libsqlite3-dev
```

- Version basée sur Xml du magasin de configuration (nécessite libxml2 >= version 2.7)

```
sudo apt-get install libxml2-dev
```

- Un système de configuration basé sur GTK

```
sudo apt-get install libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev
```

- Pour expérimenter avec des machines virtuelles et ns-3

sudo apt-get install vtun lxc

- Support pour utils / check-style.py code style check program

sudo apt-get install uncrustify

- Doxygène et documentation en ligne connexe :

sudo apt-get install doxygen graphviz imagemagick

sudo apt-get install texlive texlive-extra-utils texlive-latex-plus texlive-font-utils texlive-lang-portugais dvipng

- The ns-3 manual and tutorial are written in reStructuredText for Sphinx (doc/tutorial, doc/manual, doc/models), and figures typically in dia (also needs the texlive packages above) :

sudo apt-get install python-sphinx dia

- Support for Gustavo Carneiro's ns-3-pyviz visualizer

sudo apt-get install python-pygraphviz python-kiwi python-pygoocanvas libgoocanvas-dev ipthon

- Support for openflow module (requires some boost libraries)

sudo apt-get install libboost-signals-dev libboost-filesystem-dev

- Support for MPI-based distributed emulation

sudo apt-get install openmpi-bin openmpi-common openmpi-doc libopenmpi-dev

Après toutes ces étapes nous allons maintenant passer à l'installation de ns-3, en commençant par le téléchargement du dossier NS-3.

- Cd
- mkdir tarballs
- cd tarballs
- wget <http://www.nsnam.org/release/ns-allinone-3.26.tar.bz2>
- tar xjf ns-allinone-3.26.tar.bz2

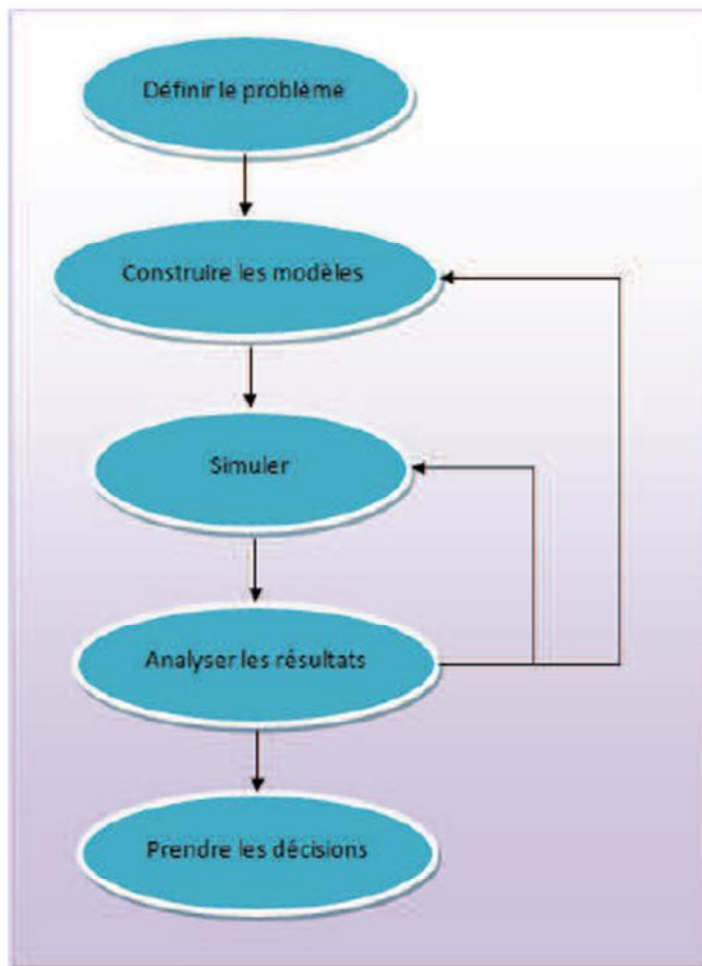
Pour l'installation de ns-3, nous allons utiliser la commande Build qui se trouve dans le répertoire ns-3.26

- build.py

#### 4.5 Déroulement du simulateur

Voici les démarches de déroulement d'une simulation, telles qu'illustrées à la figure 18.

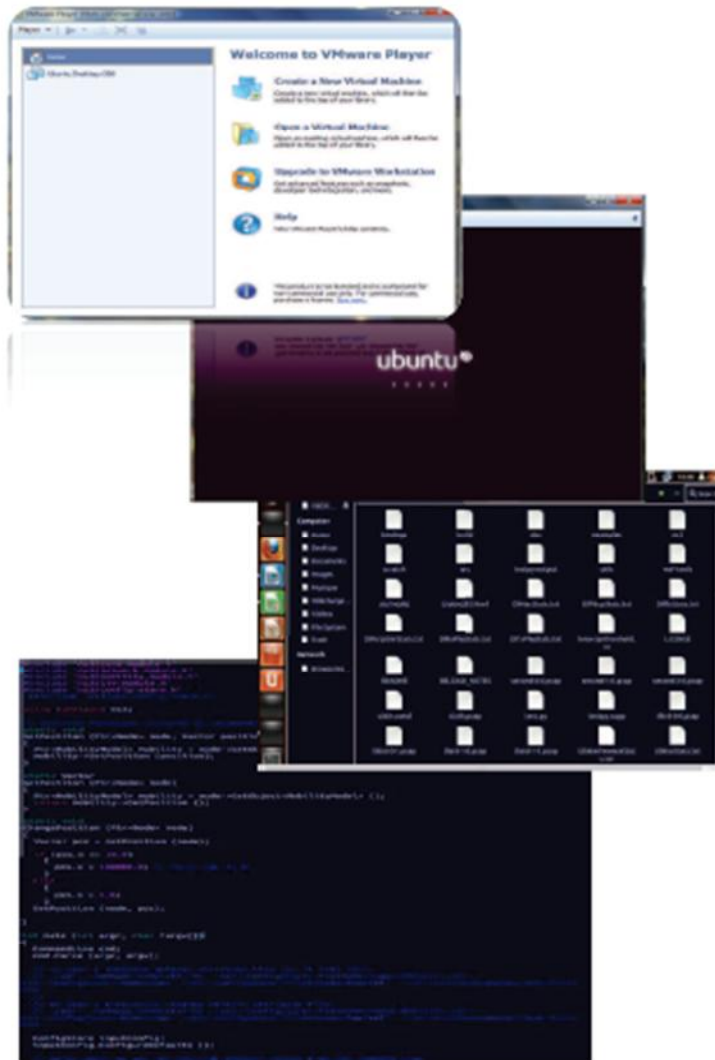
Premièrement, il faut définir le problème : comprendre et avoir une vue d'ensemble du problème (conception).



**Figure 18 : Etapes pour la réalisation d'une simulation.**

Premièrement, nous avons installé le système linux (Ubuntu 14.04) (voir Figure 19 qui nous montre les différentes étapes de démarrage du VMware, Ubuntu et NS-3).

Nos simulations ont été réalisées sous le simulateur NS-3 (version 3.26), qui possède un module qui permet de simuler le réseau LTE avec une variété de mécanismes de qualité de services.



**Figure 19 : Etapes pour nos simulations sous NS-3.**

Nous avons ainsi utilisé l'Excel et LibreOffice Calc, pour la représentation graphique de nos résultats.

Dans notre premier script, nous avons créé un réseau LTE composé d'un UE et un point de communication eNodeB, qui supporte la QoS avec un adressage aléatoire.

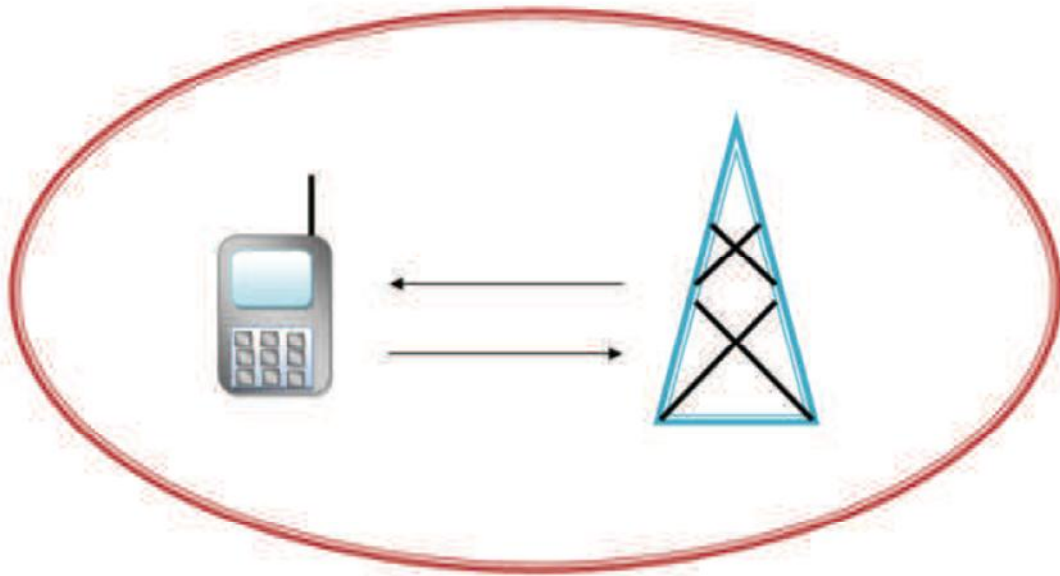


Figure 20 : Réseau 4G test.

#### 4.6 Les indicateurs utilisés dans notre simulation

La norme LTE définit des indicateurs de qualité qui servent de mesure pour la qualité de transmission en liaison descendante (downlink) et ascendante (uplink). Parmi ces indicateurs on trouve notamment le CQI (Channel Quality Indicator) l'indicateur de la qualité du canal mais aussi le SINR (Signal Interference noise Ratio) rapport signal sur bruit et le TB (Transport Block).

##### 4.6.1 Le CQI

Le CQI est un élément très important dans le réseau LTE, cet indicateur est principalement évalué sur le lien descendant dans une communication ainsi pour tester la qualité du canal de transmission, ainsi il est reçu par l'UE, alors que ce dernier le renvoi au eNodeB pour savoir s'il doit l'augmenter pour avoir en final une bonne communication.

##### 4.6.2 Le SINR

Le rapport signal sur bruit est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information qui s'exprime généralement en décibels (dB). C'est le rapport des puissances entre :

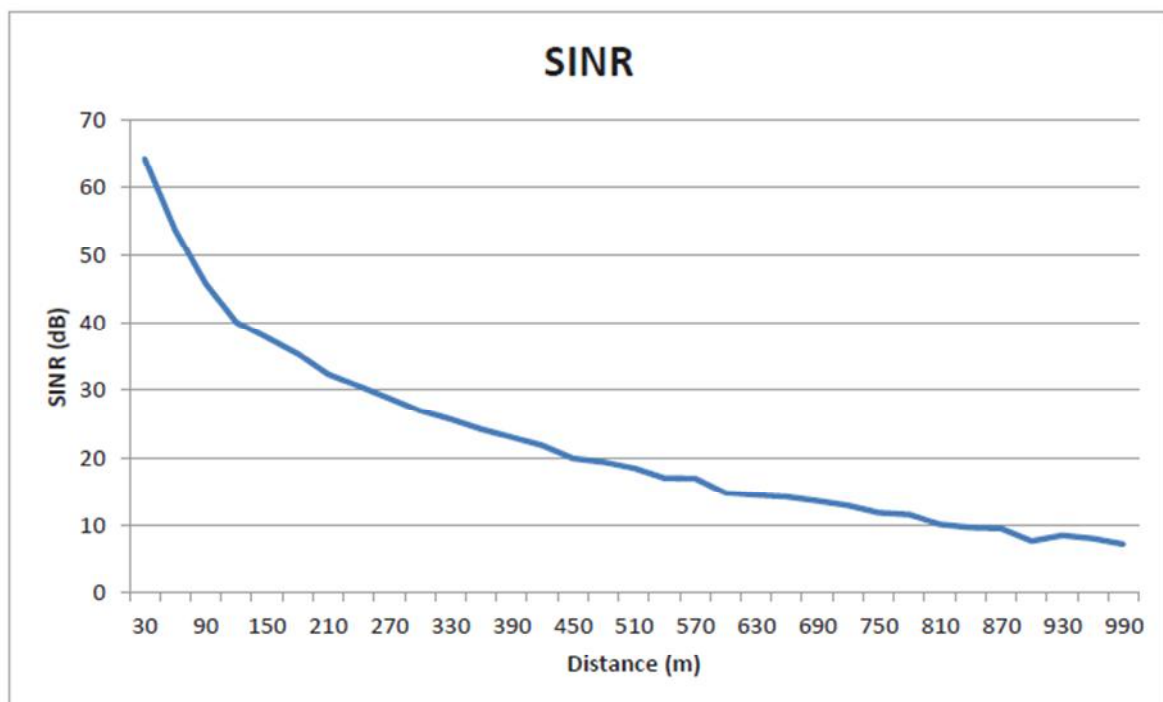
- Le signal d'amplitude maximale, déterminée par la valeur maximale admissible pour que les effets restent à une valeur admissible.
- Le bruit de fond, information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'une information à l'entrée.

#### 4.6.3 Le TB

Dans LTE un TB (le Bloc de Transport) est défini comme les données acceptées par la couche physique à être conjointement codé. Le chronométrage (le choix du temps) de bloc de transmission est alors lié exactement à cette Couche 1, par exemple chaque bloc de transmission est produit précisément chaque 10ms, ou un multiple de 10ms.

#### 4.7 Résultats de simulation

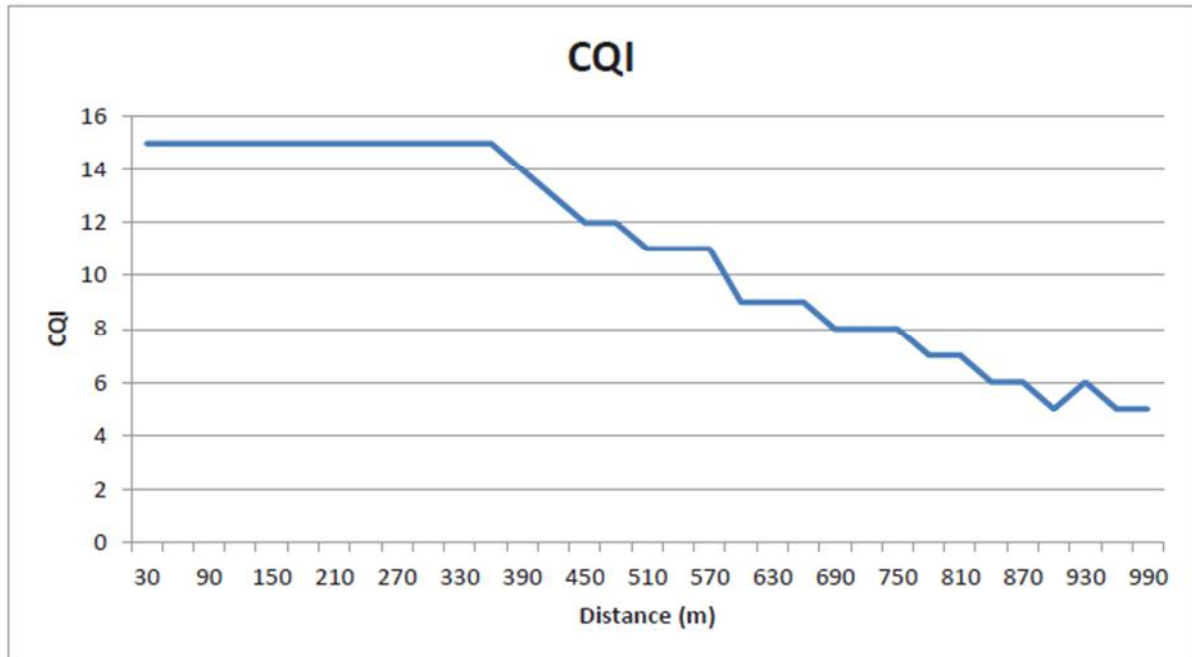
Grace à ce simulateur NS-3 nous avons pu tester quelques paramètres de Qos (CQI, SINR, TB) pour voir ainsi l'influence de quelques facteurs sur ces paramètres, nous allons présenter tous nos résultats sur des graphes, nous avons pu tester.



**Figure 21 : SINR en fonction de la distance UE-eNodeB.**

Sur ce graphique on voit clairement une diminution excessive du rapport SINR et qui se rapproche de la valeur 0 à presque 1km de distance séparant l'utilisateur (UE) et l'antenne

(eNodeB) tout en considérant une valeur fixe du bruit à -148,947 dB, ceci est due principalement aux atténuations du signal, le fading, les dispersions et les multi trajets.



**Figure 22 : CQI en fonction de la distance UE-eNodeB.**

Ce graphe nous indique la qualité du canal suivant la distance séparant l'UE du eNodeB, ainsi on remarque que la qualité est meilleur de 0 jusqu'à 360m, après cette valeur on observe une dégradation en escalier, cette dégradation est due essentiellement à la diminution de l'intensité du signal, l'augmentation du taux d'erreur binaire mais aussi aux interférences.

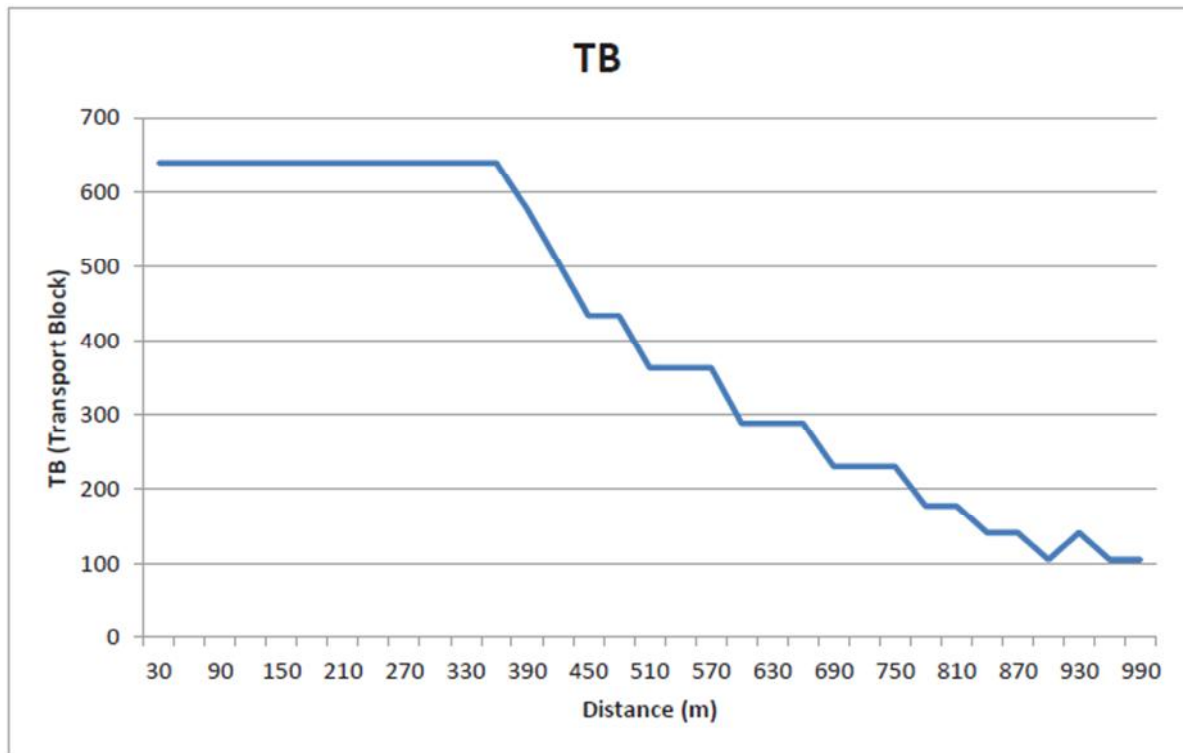


Figure 23 : TB en fonction de la distance entre UE-eNB.

Ce graphe nous indique le nombre de block transporté suivant la distance séparant l'UE du eNodeB, ainsi on remarque que le transport est meilleur de 0 jusqu'à 360m, après cette valeur on observe une dégradation en escalier, cette dégradation est due essentiellement à la diminution de l'intensité du signal, l'augmentation du taux d'erreur binaire mais aussi aux interférences.

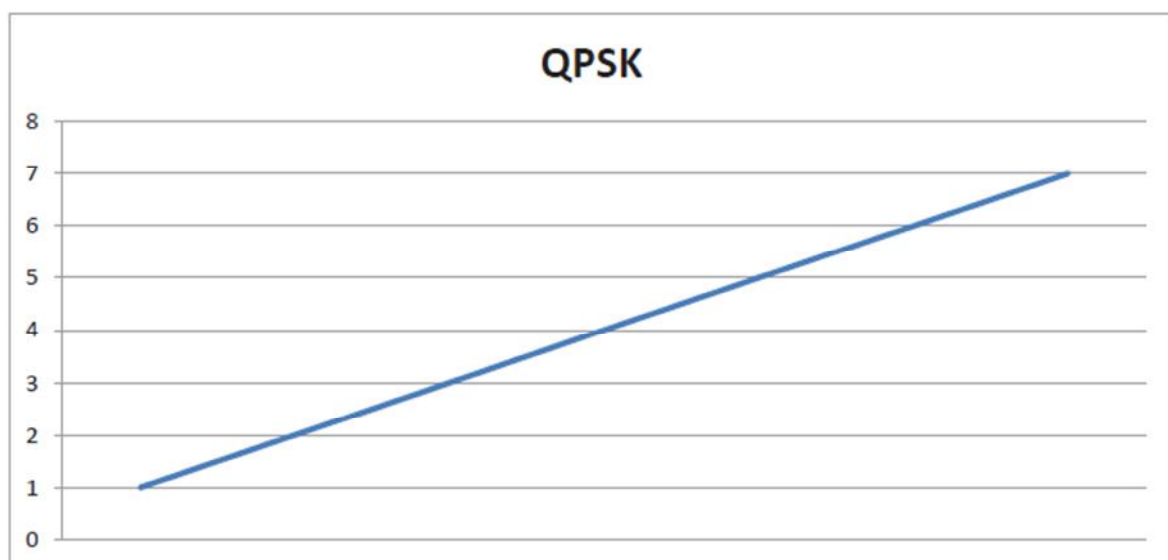


Figure 24 : Valeurs du CQI en fonction de la modulation QPSK.

Ce graphe nous montre que le CQI varie entre 1 et 7 dans une communication utilisant une modulation de type QPSK, ce type de modulation permet de transmettre 2bit par symbole

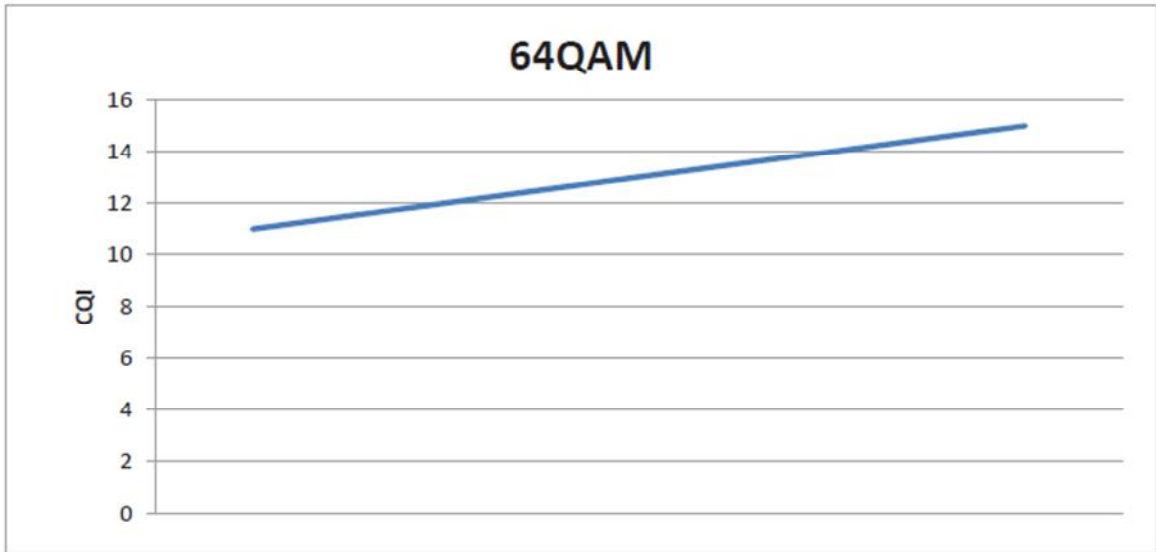


Figure 25 : Valeurs du CQI en fonction de la modulation 64QAM.

Ce graphe montre les valeurs du CQI qui varie entre 10 et 14 pour une communication utilisant une modulation 64QAM c'est-à-dire 6bits par symbole.

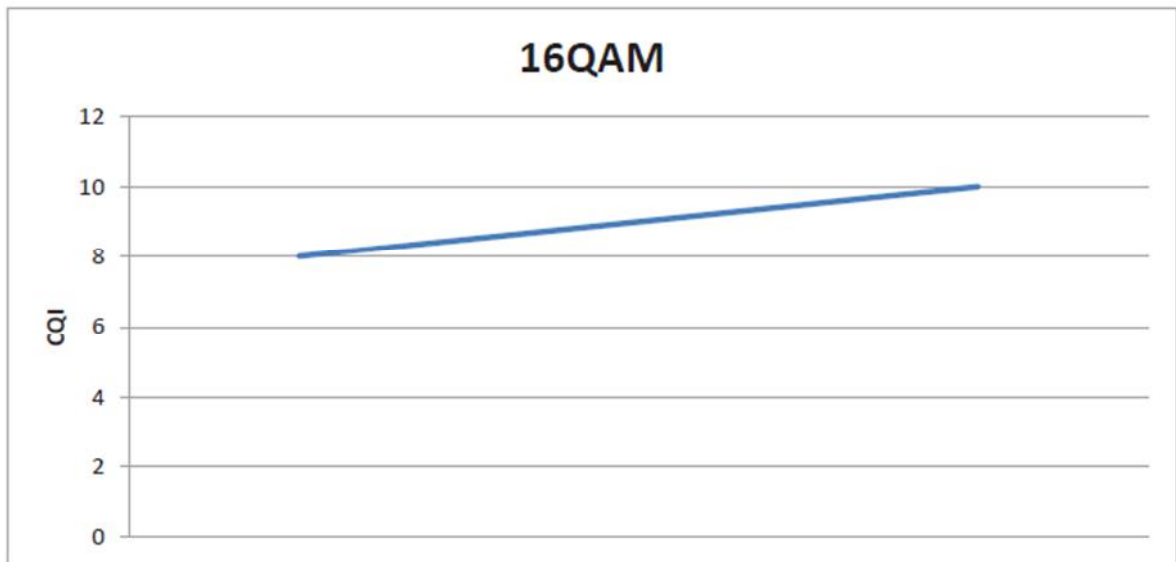


Figure 26 : Valeurs du CQI en fonction de la modulation 16QAM.

Ce graphe montre les valeurs du CQI qui varie entre 8 et 10 pour une communication utilisant une modulation 16QAM c'est-à-dire l'envoi de 4 bits par symbole.

Ainsi on remarque que la modulation 64QAM donne le meilleur CQI que les autres types de modulation utiliser dans les réseaux LTE (16QAM et QPSK), par ce que ce type de modulation permet l'envoi de 6bits par symbole et donc un débit plus important.

**4.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a pu présenter le simulateur ns-3, en raison de la complexité de la technologie LTE, le module ns-3 est limité dans ces fonctionnalités.

Dans cette étude, on a concentré nos discussions, nos simulations et nos interprétations dans la partie e-UTRAN du système avec une attention très particulière sur les aspects du canal de transmission et de signalisation.

On est arrivé à la conclusion que la qualité de service indique la fiabilité du réseau en impliquant des paramètres performants pour la transmission, pour cela nous avons testé l'évolution dans le temps et dans l'espace de quelques paramètres existants dans les réseaux 4G à savoir : CQI (Channel Quality Indicator), SINR (Signal Interférence Noise Ratio) et TB (Transport Block).

# **Conclusion générale**

### **Conclusion générale :**

Durant ce travail, on a pu mettre en évidence la téléphonie mobile en générale et la quatrième génération (4G) en particulier. L'évolution de la technologie téléphonique, a ouvert beaucoup d'horizons à la vie moderne.

Compte tenu de la nouveauté de la quatrième génération (4G) en Algérie, elle ne demeure pas toutes exploitée beaucoup reste à faire. Elle commence à faire ses preuves en apportant de nouvelles applications, de nouveau services et une meilleure gestion, l'un des avantages de la quatrième génération est sans aucun doute son très haut débit.

En espérons que ce mémoire, peut servir de support à tous ceux qui désirent découvrir et étudier la quatrième génération (4G) dont ses performances furent et seront toujours un domaine très vastes pour son exploitation.

## *Liste des abréviations*

<b>1G</b>	<b>1<sup>ère</sup> Génération</b>
<b>2G</b>	<b>2<sup>ème</sup> Génération</b>
<b>3G</b>	<b>3<sup>ème</sup> Génération</b>
<b>4G</b>	<b>4<sup>ème</sup> Génération</b>
<b>5G</b>	<b>5<sup>ème</sup> Génération</b>
<b>3GPP</b>	<b>3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project</b>

### *A*

<b>ADSL</b>	<b>Asymmetric Digital Subscriber Line</b>
<b>ARCEP</b>	<b>Autorité de Régulation des Communications Électroniques et Postes</b>
<b>AUC A</b>	<b>Uthentication Center</b>

### *B*

<b>BG</b>	<b>Border Gateway</b>
<b>BSC</b>	<b>Base Station Controller</b>
<b>BSS</b>	<b>Base Station Sub-system</b>
<b>BTS</b>	<b>Base Transceiver Station</b>

### *C*

<b>CCU</b>	<b>Channel Codec Unit</b>
------------	---------------------------

**CDMA2000**      **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

**CGF**            **C**harging **G**ateway **F**unction

**CQI**            **C**hannel **Q**uality **I**ndicator

## ***D***

**DFT**            **T**ransformation de **F**ourier **D**iscrete

**DiffServ**      **D**ifferentiated **S**ervice

**DSCP**          **D**iffServ **C**ontrol **P**rotocol

## ***E***

**EDGE**          **E**nhanced **D**ata **R**ates for **G**SM **E**volution

**EIR**            **E**quipment **I**ntity **R**egister

**eNodeB**        evolved **N**ode**B**

**EPS**            **E**volved **P**acket **S**ystem

**EPC**            **E**volved **P**acket **C**ore

**E-UTRA**        **E**volved-**U**niversal **T**errestrial **R**adio **A**ccess

**eUTRAN**        evolved **U**TRAN

## ***F***

**FDD**            **F**requency **D**ivision **D**uplexing

## ***G***

**GGSN**          **G**ateway **G**PRS **S**upport **N**ode

<b>GMSC</b>	<b>Gateway MSC</b>
<b>GPRS</b>	<b>General Packet Radio Service</b>
<b>GSM</b>	<b>Global System for Mobile Communication</b>

## *H*

<b>HLR</b>	<b>Home Location Register</b>
<b>HSDPA</b>	<b>High Speed Downlink Packet Access</b>
<b>HSOPA</b>	<b>High Speed OFDM Packet Access</b>
<b>HSPA</b>	<b>High Speed Packet Access</b>
<b>HSS</b>	<b>Home Subscriber Service</b>

## *I*

<b>IEEE</b>	<b>Institute of Electrical and Electronics Engineers</b>
<b>IETF</b>	<b>Internet Engineering Task Force</b>
<b>IMEI</b>	<b>International Mobile Equipment Identity</b>
<b>IMS IP</b>	<b>Multimedia Sub-system</b>
<b>IMSI</b>	<b>International Mobile Subscriber Identity</b>
<b>IP</b>	<b>Internet Protocol</b>
<b>IPv6</b>	<b>IP version 6</b>

## *K*

<b>KT</b>	<b>Korea Telecommunication</b>
-----------	--------------------------------

## *L*

<b>LAN</b>	<b>Local Area Network</b>
<b>LMT</b>	<b>Latvijas Mobilais Telefons</b>
<b>LTE</b>	<b>Long Term Evolution</b>

## *M*

<b>M2M</b>	<b>Machine To Machine</b>
<b>MAN</b>	<b>Metropolitan Area Network</b>
<b>MIMO</b>	<b>Multi Input Multi Output</b>
<b>MME</b>	<b>Mobility Management Entity</b>
<b>MMS</b>	<b>Multimedia Messaging Service</b>
<b>MS</b>	<b>Mobile Station</b>
<b>MSC</b>	<b>Mobile Switching Centre</b>
<b>MSISDN</b>	<b>Mobile Station</b>
<b>MTS</b>	<b>Mobile TeleSystem</b>

## *N*

<b>NMC</b>	<b>Network and Management Centre</b>
<b>NS-2</b>	<b>Network Simulator 2</b>
<b>NS-3</b>	<b>Network Simulator 3</b>
<b>NSS</b>	<b>Network Sub System</b>

**NTT** Nippon Telegraph & Telephone

## **O**

**OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**OFDMA** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

**OMC** Operations and Maintenance Center

**OSS** Operation Sub-System

## **P**

**PAPR** Peak-to-Average Power Ratio

**PCRF** Policy and Charging Rules Function

**PCU** Packet Control Unit

**PDN GW** Packet Data Network Gate-Way

**PDP** Packet Data Protocol

**PGW** Packet Switch-GetWay

**PLMN** Public Land Mobile Network

## **Q**

**QAM** Quadrature Amplitude Modulation

**QoS** Qualité de Service

**QoS** Quality of Service

**QPSK** Quadrature Phase Shift Keying

## ***R***

<b>RSVP</b>	<b>Resource ReSerVation Protocol</b>
<b>RNC</b>	<b>Radio Network Controller</b>
<b>RNIS</b>	<b>Réseau Numérique à Intégration de Services</b>
<b>RTC</b>	<b>Réseau Téléphonique Commuté</b>
<b>RTCP</b>	<b>Real-time Transport Control Protocol</b>

## ***S***

<b>SAE</b>	<b>System Architecture Evolution</b>
<b>S-GW</b>	<b>Serving-Get Way</b>
<b>SC-FDMA</b>	<b>Single Carrier-Frenquency Division Multiplexing Access</b>
<b>SGSN</b>	<b>Serving GPRS Support Node</b>
<b>SIM</b>	<b>Subscriber Identity Module</b>
<b>SINR</b>	<b>Signal Interference Noise Ratio</b>
<b>SMS</b>	<b>Short Message Service</b>
<b>SMSC</b>	<b>Short Message Service Center</b>
<b>SS7</b>	<b>Signal Semaphore 7</b>

## ***T***

<b>TB</b>	<b>Transport Block</b>
<b>TCP</b>	<b>Transmission Control Protocol</b>

**TDD** Time-Division Duplex

**TMN** Telecommunications Management Network

## *U*

**UDP** User Datagram Protocol

**UE** Terminal Mobile

**UIT** Union Internationale des Télécommunications

**UMTS** Universal Mobile Telecommunications System

## *V*

**VLR** Visitor Location Register

**VoIP** Voice over IP

**VSF-OFCDM** Variable Spreading Factor Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing

## *W*

**WAP** Wireless Application Protocol

**WCDMA** Wide Coding Division Multiple Access

**WiFi** Wireless Fidelity

**WIMAX** Worldwide Interoperability for Microwave Access

## *Liste des figures*

<b>Figure 1</b> : Présente l'architecture du Réseau GSM. ....	4
<b>Figure 2</b> : Présente l'architecture du réseau GPRS (2.5G). ....	6
<b>Figure 3</b> : Présente l'architecture du réseau UMTS. ....	9
<b>Figure 4</b> : Architecture générale. ....	16
<b>Figure 5</b> : Les types de boucles locale radio. ....	17
<b>Figure 6</b> : Les différentes technologies d'accès sans fils. ....	27
<b>Figure 7</b> : L'architecture de la 4G. ....	29
<b>Figure 8</b> : L'architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.....	29
<b>Figure 9</b> : L'architecture du mode infrastructure. ....	32
<b>Figure 10</b> : Les couches protocolaires. ....	34
<b>Figure 11</b> : Présente le WIMAX mobile. ....	36
<b>Figure 12</b> : Structure d'une trame LTE. ....	39
<b>Figure 13</b> : La modulation 16QAM.....	40
<b>Figure 14</b> : La modulation QPSK.....	41
<b>Figure 15</b> : Présente la bande de fréquence. ....	43
<b>Figure 16</b> : Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA.....	45
<b>Figure 17</b> : La déférence entre l'OFDMA et le SC-FDMA. ....	46
<b>Figure 18</b> : Etapes pour la réalisation d'une simulation. ....	58
<b>Figure 19</b> : Etapes pour nos simulations sous NS-3.....	59
<b>Figure 20</b> : Réseau 4G test. ....	60
<b>Figure 21</b> : SINR en fonction de la distance UE-eNodeB.....	61
<b>Figure 22</b> : CQI en fonction de la distance UE-eNodeB. ....	62

<b>Figure 23</b> : TB en fonction de la distance entre UE-eNB. ....	63
<b>Figure 24</b> : Valeurs du CQI en fonction de la modulation QPSK.....	63
<b>Figure 25</b> : Valeurs du CQI en fonction de la modulation 64QAM.....	64
<b>Figure 26</b> : Valeurs du CQI en fonction de la modulation 16QAM.....	64

## **Références bibliographiques**

### Bibliographie

#### Ouvrages :

- [2] : William Stallings, « Réseau et communication sans fil », PEARSON Education, Mai 2005.
- [3] : GHALDOUN Al Aghar, CUY Pujolle, GUILLAUME Vivier, « Réseaux de mobiles et Réseaux sans fil », Eyrolles, Septembre 2001.

#### Mémoires :

- [1] : M<sup>elle</sup> Bouchantouf, Hadjer, Mr BOUGHENE Stambouli Riyad, Mémoire de fin d'études en Master 2 Réseaux mobiles et services, Etude des performances des réseaux 4 G (LTE), université de Tlemcen, 2013.
- [4] : Mr MERAH Hocine, Mémoire de fin d'études en Magister en Electronique, option communication conception d'un modem de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA, université Ferhat Abbes, Sétif, 2012.
- [5] : Melle ABOUCHAKRA Sara, thèse de Doctorat spécialité communication et électronique, la Boucle locale Radio et la démodulation directe de signaux larges bandes à 26 GHZ, Ecole Nationale supérieure des télécommunications, Paris, 2004.
- [6] : Mr MZALI Naoufal, ZBAT Marouane, Rapport du projet de fin d'études option réseau et télécommunication, adaptation des BTS 3606 CE pour le déploiement du réseau CDMA 2000 DEMQRDS Télécom, Juillet 2010.
- [7] : Mr AGARBI Ahmed, HS-SALHI-Jaafar, Mémoire de fin d'études en Magister en Electronique, option communication, la bande locale Radio, 2002.

[8] : Mr ACHOURI Youcef, Implémentation efficace de la FFT pour des communications OFDM, thèse de Doctorat, université de Quebec, Trois-Rivières, 2010.

[9] : Mr AMAZIT Abbdelghani, Mémoire de fin d'études en Master 2 Mathématiques et informatique appliquées, université de Quebec, 2011.

**Site internet :**

<http://www.nsnqm.org>