



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

République Algérienne Populaire et Démocratique  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Abderrahmane Mira Bejaïa

Faculté de Génie électrique

Département d'ATE

# *Mémoire de fin d'études*

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER EN  
TELECOMMUNICATION

**Option : Télécommunication**

**Thème**

---

Planification d'un réseau 4 G en zone urbaine

---

**Réalisé par :**

M<sup>r</sup>: KHOBZAOUI Abderrahim

M<sup>r</sup>: CHAIBI Boussaad.

**Devant le jury composé de :**

**Examineur:** M<sup>r</sup>.M.SADJI

**Examinatrice:** M<sup>me</sup>.S.BONCER

**Rapporteur :** M<sup>r</sup>. A.KHIRDDINE

PROMOTION 2015/2016

# Remerciements

*C'est avec humilité et gratitude que nous reconnaissons ce que nous devons :*

*Nous commençons par remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.*

*Nos remerciements vont en particulier à **Mr. A.KHIREDDINE**, notre promoteur, qui nous a dirigé et beaucoup aidé afin de mener à bien ce travail..*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

*Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici nos sincères reconnaissances.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma très chère mère ;*

*A mon très cher père ;*

*A mes frères Loucif et Houas ;*

*A ma grande mère Nana Tima ;*

*A mes cousins et leurs familles ;*

*A tous mes amis ;*

***Abderrahim***

# *Dédicaces*

***Je dédie ce modeste travail :***

***A mes très chères parants (Mahfoud et Djedjega) ;***

***A mon très chère frère Kouceila, et sa femme Nabila ;***

***A mes très chères sœurs Nedjima et El djida ;***

***A toutes la famille sans exception ;***

***A tous mes amis en particulier Zilouh, Fatah, Salim, Khoudir et Hantous ;***

***Boussaad***

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES

I.1.Introduction.....	1
I.2.Evolution des réseaux mobiles.....	1
I.3.Les différentes normes téléphoniques.....	4
I.3.1.La première génération des téléphones mobile (1G).....	4
I.3.2.La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	4
I.3.3.La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS).....	10
I.3.4.La quatrième génération des téléphones mobiles 4G.....	14
I.4.Conclusion .....	14

## CHAPITRE II : LE RESEAU

II.1.Introduction .....	15
II.2. La 4 <sup>ème</sup> génération des réseaux mobiles.....	15
II.2.1. Définition de la quatrième génération.....	15
II.2.2. L'objectif de la 4G .....	16
II.2.3. Caractéristiques des systèmes sans fil 4G.....	17
II.2.4. Qualité de Service (QoS) .....	17
II.3. Technologies 4G.....	18
II.3.1. Réseau WiMAX.....	18
II.3.1.1. Introduction .....	18
II.3.1.2. Couches Protocolaires .....	18
II.3.1.3. QoS dans le WiMAX .....	20
II.3.1.4. WiMAX mobile.....	21
II.3.1.5. Architecture du WiMAX.....	21
II.3.2. Long Term Evolution (LTE).....	23
II.3.2.1. Introduction .....	23
II.3.2.2. Accès radio LTE.....	23
II.3.2.3. Réseau global EPS.....	23
II.3.2.4. Le Handover dans LTE .....	25
II.3.3. L'UMB.....	26
II.3.3.1. Introduction .....	26
II.3.3.2. Architecture de l'UMB.....	26

II.3.3.3. Mobilité dans l'UMB .....	27
II.3.4. Comparaison entre WiMAX, LTE et UMB.....	27
II.4. conclusion .....	29

## CHAPITRE III : METHODES DE PLANIFICATION DU RESEAU 4G

III.1. Introduction.....	30
III.2. La technologie dans les réseaux mobiles 4G.....	30
III.3. Processus de planification des réseaux.....	33
III.4. Méthodes de planifications utilisées .....	36
III.4.1. Les méthodes exactes .....	36
III.4.2. Les méthodes approchées .....	37
III.4.3. Les méthodes hybrides .....	37
III.4.4. L'optimisation multi-objectifs.....	37
III.5. Planification des réseaux 4G .....	38
III.5.1. Dimensionnement .....	38
III.5.1.1. Dimensionnement du eNode B .....	39
III.5.2. Phase de planification .....	40
III.5.2.1. Paramètres Input .....	40
III.5.2.2. Positionnement des sites .....	42
III.5.3. Bilan de liaison .....	45
III.5.4. Commentaires .....	51
III.6. Conclusion.....	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1.</b> Les comparaisons entre certains paramètres clés des systèmes 4G et 3G .....	17
<b>Tableau II.2.</b> Comparaison entre 802.16e, 802.16m, LTE et UMB .....	28
<b>Tableau III.1.</b> Spécifications requises par l'IMT-Advanced pour les réseaux 4G .....	33
<b>Tableau III.2.</b> Les différents paramètres de sites urbains de la ville de Bejaia.....	44
<b>Tableau III.3.</b> Bilan de liaison entre CITE SGHIR et TOBAL .....	47
<b>Tableau III.4.</b> Bilan de liaison entre PLACE GUIDENT et TOBAL .....	48
<b>Tableau III.5.</b> Bilan de liaison entre LEKHMIS et GAR ROUTIERE .....	49
<b>Tableau III.6.</b> Bilan de liaison entre AAMRIW et EDIMCO .....	50

## Liste des figures

Figure II.1. Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G.....	16
Figure II.2.Pile protocolaire de WiMAX. ....	19
Figure II.3.Architecture du WiMAX mobile.....	22
Figure II.4.Architecture de l'EPS.....	24
Figure III.1. Principe du MIMO.....	31
Figure III.2. Processus de planification des réseaux .....	34
Figure III.3. Représentation simplifiée du processus de planification cellulaire .....	38
Figure III.4. Carte de la ville de Bejaia .....	41
Figure III.5. Carte de trafic.....	42
Figure III.6.Distribution des sites sur la ville de Bejaia.....	43
Figure III.7.Liaison entre les sites urbains à la ville de Bejaia .....	44
Figure III.8. Liaisons : place guident, tobal, cité sghir.....	45
Figure III.9. Liaisons : lekhmis, gar routiere ; aamriw, edimco .....	46

# Glossaire

Mots	Définition
<b>1G</b>	<b>1</b> ère <b>G</b> énération
<b>2G</b>	<b>2</b> ème <b>G</b> énération
<b>3G</b>	<b>3</b> ème <b>G</b> énération
<b>4G</b>	<b>4</b> ème <b>G</b> énération
<b>3GPP</b>	<b>3</b> rd <b>G</b> eneration <b>P</b> artnership <b>P</b> roject
<b>AAA</b>	<b>A</b> uthentication <b>A</b> uthorization <b>A</b> ccounting
<b>AAS</b>	<b>A</b> daptive <b>A</b> ntenna <b>S</b> ystems
<b>Ad-Hoc</b>	version du <b>W</b> IFI permettant l'échange direct des informations entre les stations
<b>AES</b>	<b>A</b> dvanced <b>E</b> ncryption <b>S</b> tandard
<b>AGW</b>	( <b>A</b> ccess <b>G</b> ateway): entité physique du réseau <b>U</b> MB.
<b>AMPS</b>	<b>A</b> dvanced <b>M</b> obile <b>P</b> hone <b>S</b> ystem
<b>AMS</b>	<b>A</b> daptive <b>M</b> odulation <b>S</b> chemes
<b>ASN</b>	<b>A</b> ccess <b>S</b> ervice <b>N</b> etwork
<b>ASN-GW</b>	<b>A</b> ccess <b>S</b> ervice <b>N</b> etwork- <b>G</b> ateway
<b>AT</b>	( <b>A</b> ccess <b>T</b> erminal): terminal d'accès dans le réseau <b>U</b> MB.
<b>ATM</b>	( <b>A</b> synchronous <b>T</b> ransfer <b>M</b> ode): protocole réseau de niveau 2 à Commutation de cellules.
<b>AUC</b>	<b>A</b> uthentication <b>C</b> enter
<b>BS</b>	<b>B</b> ase <b>S</b> tation

BE	<b>B</b> est <b>E</b> ffort
BSC	<b>B</b> ase <b>S</b> tation <b>C</b> ontroller
BG	<b>B</b> order <b>G</b> ateway
BTS	<b>B</b> ase <b>T</b> ransceiver <b>S</b> tation
CDMA	<b>C</b> ode <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
CSN	<b>C</b> onnectivity <b>S</b> ervice <b>N</b> etwork CDMA 2000
DVB-S	( <b>D</b> igital <b>V</b> ideo <b>B</b> roadcasting over <b>S</b> atellite): norme de diffusion vidéo par satellite sur la voie allée.
EDGE	<b>E</b> nhanced <b>D</b> ata <b>R</b> ates for <b>G</b> SM <b>E</b> volution
EIR	<b>E</b> quipment <b>I</b> dentify <b>R</b> egister
EPS	<b>E</b> volved <b>P</b> acket <b>S</b> ystem
eUTRAN	evolved <b>U</b> TRAN
EPDG	<b>E</b> volved <b>P</b> acket <b>D</b> ata <b>G</b> ateway
EV-DO	<b>E</b> volution- <b>D</b> ata <b>O</b> ptimized
ETSI	<b>E</b> uropean <b>T</b> elecommunications <b>S</b> tandards <b>I</b> nstitute
eN	evolved <b>N</b> ode <b>B</b>
FDD	<b>F</b> requency <b>D</b> ivision <b>D</b> uplexing
FDMA	<b>F</b> requency <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
GSM	<b>G</b> lobal <b>S</b> ystem for <b>M</b> obile <b>C</b> ommunication
GPRS	<b>G</b> eneral <b>P</b> acket <b>R</b> adio <b>S</b> ervice
GGSN	<b>G</b> ateway <b>G</b> PRS <b>S</b> upport <b>N</b> ode
GMSC	<b>G</b> ateway <b>M</b> SC
GPC	( <b>G</b> rant <b>p</b> er <b>C</b> onnection): classe des stations abonnées dans le WiMAX.

GPSS	( <b>Grant per SS</b> ): classe des stations abonnées dans le WiMAX.
HSDPA	<b>High Speed Downlink Packet Access</b>
HSUPA	<b>High-Speed Uplink Packet Access</b>
HLR	<b>Home Location Register</b>
HSS	<b>Home Subscriber Server</b>
HA	( <b>Home Agent</b> ): routeur localisé dans le réseau d'attachement d'une station.
HSPA	<b>High Speed Packet Access</b>
IS-95	<b>Interim Standard-95</b>
IS-136	<b>Interim Standard-136</b>
IP	<b>Internet Protocol</b>
IMS	<b>Internet Protocol MultimediaSubsystem</b>
IEEE 802.16m	version améliorée du WiMAX assurant la rétro-compatibilité entre la version fixe et mobile.
IMT-Advanced	<b>International Mobile Telecommunications – Advanced</b>
LTE	<b>Long TermEvolution</b>
LDPC	( <b>Low Density Parity Check</b> ): technique de codage.
LAN	<b>Local Area Network</b>
MAC	<b>Medium Access Control</b>
MIMO	<b>Multiple Input Multiple Output</b>
MSC	<b>Mobile service Switching Center</b>
MC-CDMA	<b>Multi-Carriers Code Division Multiple Access.</b>
MS	( <b>Mobile Station</b> ): station mobile.

MIP	( <b>M</b> obile <b>I</b> P): protocole de Handover en Macro mobilité.
MME	( <b>M</b> obility <b>M</b> anagement <b>E</b> ntity): entité physique du réseau LTE.
MAN	Metropolitan Area Networks
MMS	Multimedia Message Service
NAP	( <b>N</b> etwork <b>A</b> ccess <b>P</b> rovider): fournisseur de l'accès radio WiMAX.
NSP	( <b>N</b> etwork <b>S</b> ervice <b>P</b> rovider): fournisseur d'accès IP au WiMAX.
NMT	<b>N</b> ordic <b>M</b> obile <b>T</b> elephone
NrtPS	non real-time Polling Service
NMC	<b>N</b> etwork and <b>M</b> anagement <b>C</b> entre
OFDMA	( <b>O</b> rthogonal <b>F</b> requency <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess): méthode d'accès à la couche physique.
OMC	<b>O</b> perations and <b>M</b> aintenance <b>C</b> enter
OSI	( <b>O</b> pen <b>S</b> ystems <b>I</b> nterconnection): modèle de communication entre ordinateurs proposé par l'ISO.
PCRF	( <b>P</b> olicy & <b>C</b> haging <b>R</b> ules <b>F</b> unction): entité physique du réseau LTE.
PDSN	( <b>P</b> acket <b>D</b> ata <b>S</b> erving <b>N</b> ode): entité physique du réseau EV-DO.
PDN	( <b>P</b> acket <b>D</b> ata <b>N</b> etwork): réseaux basés sur la commutation de paquets.
PDN-GW	<b>P</b> acket <b>D</b> ata <b>N</b> etwork <b>G</b> ateway
PCU	<b>P</b> acket <b>C</b> ontrol <b>U</b> nit
PDP	<b>P</b> acket <b>D</b> ata <b>P</b> rotocol
PLMN	<b>P</b> ublic <b>L</b> and <b>M</b> obile <b>N</b> etwork
QoS	( <b>Q</b> uality <b>o</b> f <b>S</b> ervice): qualité de service.
QAM	( <b>Q</b> uadrature <b>A</b> mplitude <b>M</b> odulation): méthode de modulation.
QPSK	( <b>Q</b> uadrature <b>p</b> hase- <b>s</b> hift <b>k</b> eying): méthode de modulation.
RNC	<b>R</b> adio <b>N</b> etwork <b>C</b> ontroller

RRC	<b>R</b> adio <b>R</b> esource <b>C</b> ontrol
RRM	<b>R</b> adio <b>R</b> essource <b>M</b> anagement
RNS	<b>R</b> adio <b>N</b> etwork <b>S</b> ubsystem
rtPS	real-time <b>P</b> olling <b>S</b> ervice
RTC	<b>R</b> éseau <b>T</b> éléphonique <b>C</b> ommuté
SAE	( <b>S</b> ystem <b>A</b> rchitecture <b>E</b> volution): réseau coeur de l'EPS et LTE.
SDMA	( <b>S</b> pace <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess): technologie d'antennes avancée.
SRNC	( <b>S</b> ession <b>R</b> eference <b>N</b> etwork <b>C</b> ontroller): entité physique du réseau
UMB.	
SS	( <b>S</b> ecurity <b>S</b> ublayer): 3ème sous couche MAC du WiMAX responsable de la sécurité.
SGW	<b>S</b> erving <b>G</b> ateway
SGSN	<b>S</b> erving <b>G</b> PRS <b>S</b> upport <b>N</b> ode
S-GW	<b>S</b> erving <b>G</b> ateway
SMS	<b>S</b> hort <b>M</b> essage <b>S</b> ervice
SNR	<b>S</b> ignal to <b>N</b> oise <b>R</b> atio
SIM	<b>S</b> ubscriber <b>I</b> dentify <b>M</b> odule
SMSC	<b>S</b> hort <b>M</b> essage <b>S</b> ervice <b>C</b> enter
TDD	( <b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>D</b> uplex): technique de multiplexage.
TDMA	<b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
TACS	<b>T</b> otal <b>A</b> ccess <b>C</b> ommunication <b>S</b> ystem
TMN	<b>T</b> elecommunications <b>M</b> anagement <b>N</b> etwork
TDM	<b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiplexing
UIT	( <b>I</b> nternational <b>T</b> elecommunication <b>U</b> nion)
UMB	<b>U</b> ltra <b>M</b> obile <b>B</b> roadband

UMTS	( <b>Universal Mobile Telecommunications System</b> ): technologie de communication radio mobile de 3ème génération de longue portée.
UGS	( <b>Undolicted Grant Service</b> ): classe de service dans le WiMAX pour des flux temps-réel de paquets de taille fixe.
UWB	( <b>Ultra Wide Band</b> , IEEE 802.15.3): technologie de communication radio de courte portée
VLR	<b>Visitor Location Register</b>
VoIP	<b>Voice over IP</b>
WIFI	<b>Wireless Fidelity</b>
WiMAX	<b>Worldwide Interoperability for Microwave Access.</b>
IEEE802.16	technologie de communication radio de 3ème génération
WLAN	( <b>Wireless Local Area Network</b> ): réseau local sans fil.
WMAN	( <b>Wireless Wide Area Network</b> ): réseau étendu sans fil.
WAN	<b>Wide Area Network</b>

# Introduction générale

---

## Introduction générale

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

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

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

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

Les évolutions se poursuivent, tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, systèmes intelligents, etc.) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : le monde télécoms classiques avec HS(D)PA, le monde des réseaux sans fil avec le WiMAX, voire le monde de la diffusion télévision terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S).

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

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

Dans ce mémoire on va présenter :

- ✓ les différentes normes (générations) de téléphonie mobile, on commencera tout d'abord par l'ancienne génération très connu et très répandu dans le monde la 2G (GSM), ensuite on passera à la 2.5G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM, ce réseau est une extension du réseau GSM.
- ✓ les réseaux 3G (UMTS).
- ✓ la planification du réseau 4 G.
- ✓ présentation ces méthodes de planification, et les différentes Qualités de Service, et enfin faire un bilan de liaison entre deux liens à la ville de Bejaïa.
- ✓ On terminera par une conclusion générale et des perspectives.

# CHAPITRE I

---

## GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES

## I.1.Introduction

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G) et 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'utilisateurs pouvant être supportés.

## I.2.Evolution des réseaux mobiles

Les réseaux mobiles ont beaucoup évolué depuis leur apparition dans les années 1970 à nos jours. Cette évolution, de la première a la quatrième génération des réseaux cellulaires, est illustrée à la Figure I.1

- ✓ La première génération des réseaux cellulaires (1G)

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

- ✓ La deuxième génération des réseaux mobiles (2G)

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

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

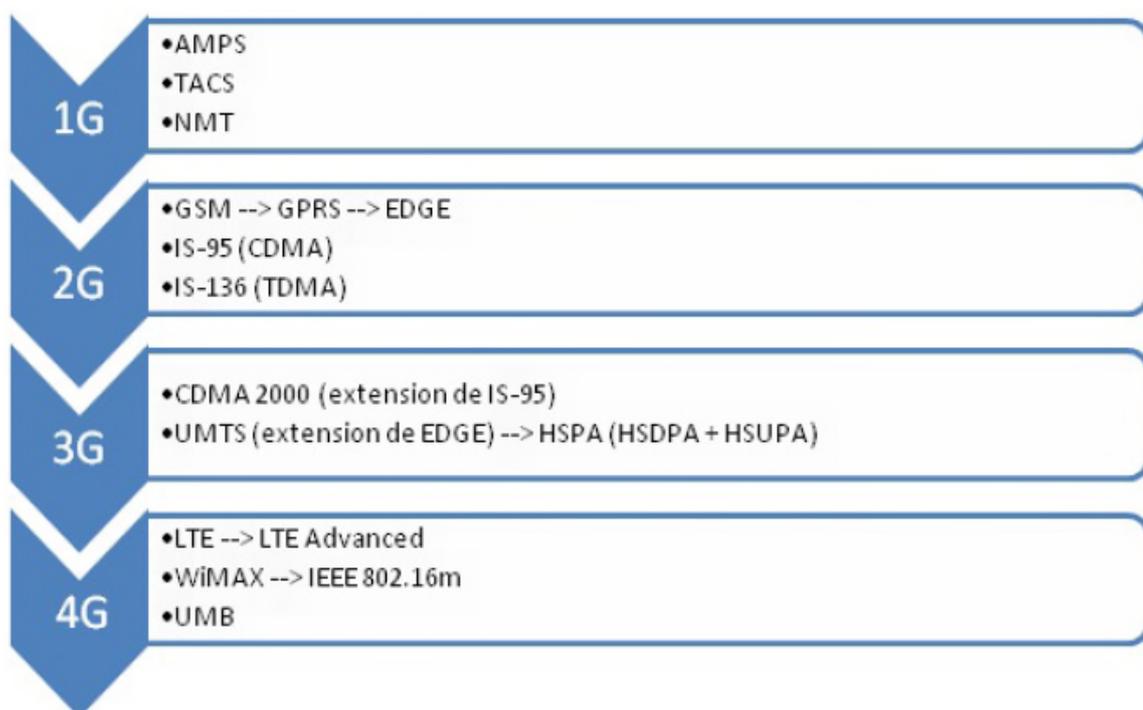
Le GSM est cependant le standard ayant connu la plus grande percée avec l'utilisation de la bande des 1900MHz en Amérique du Nord et au Japon et de la bande des 900MHz et 1800Mhz sur les autres continents.

C'est d'ailleurs sur ce standard que se basent les réseaux GPRS (General Packet Radio Service : 2.5G) et EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution : 2.75G) qui sont venus corriger

les faibles débits du GSM (environ 9,6 kbps). Le GPRS propose un débit théorique de 114 kbps permettant ainsi la transmission simultanée de la voix et de données. L'utilisation des applications multimédias est rendue possible par EDGE qui offre des débits allant jusqu'à 384 kbps.

### ✓ L'UMTS

La troisième génération des réseaux mobiles (3G) est apparue pour établir des normes internationales afin de garantir une compatibilité mondiale, une mobilité globale, la compatibilité avec les réseaux 2G et des débits de 2 Mbps pour une mobilité faible et allant jusqu'à 144 kbps pour une mobilité forte. Les principales normes 3G sont le CDMA2000 et l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). La norme CDMA2000 est une amélioration de la norme IS-95 et n'est pas compatible avec le GSM. D'autres améliorations ont été apportées plus tard en terme de débit à l'UMTS donnant lieu aux normes HSDPA (High Speed Downlink Packet Access : 3.5G) qui offre un débit théorique maximum de 14.4 Mbps en ligne descendante et HSUPA (High Speed Uplink Packet Access : 3.75G) offrant un débit théorique maximum en ligne ascendante de 5.76 Mbps [1]. Ces deux normes sont regroupées sous le nom de HSPA (High Speed Packet Access).



**Figure I.1.** Evolution des réseaux cellulaires [2].

### ✓ La quatrième génération (4G) des réseaux sans fil

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

### ✓ Le LTE

Il a été développé par le groupe 3GPP (Third Generation Partnership Project) et constitue une extension du HSPA. La première version de LTE était conçue pour offrir un débit théorique maximum de 100 Mbps en ligne descendante et de 50 Mbps en ligne ascendante pour une bande passante maximale de 20 MHz [3]. Des améliorations sont en cours donnant ainsi la norme LTE-Advanced qui prévoit atteindre un débit maximum de 1 Gbps en ligne descendante et la moitié en ligne ascendante.

### ✓ La norme WiMAX,

Elle est généralement utilisée pour le déploiement des réseaux à grande échelle (WAN) en utilisant un nombre réduit de stations de base (BS), en raison de sa longue portée.

Basée sur la norme IEEE 802.16, la technologie WiMAX était, à son origine, conçue pour une utilisation dans les réseaux fixes à large bande en offrant une bande passante allant de 10 à 66 GHz avec une portée théorique de 50 km. La technologie WiMAX s'est beaucoup améliorée depuis la sortie de la première version de la norme IEEE 802.16 en décembre 2001.

La mobilité a été introduite en 2005, la rendant ainsi compétitive par rapport aux réseaux 3G avant son évolution vers la norme IEEE 802.16m qui est connue comme étant la norme WiMAX 4G.

### ✓ l'UMB (Ultra Mobile Broadband)

Elle a été développée par le groupe 3GPP2 pour la quatrième génération. Ces trois normes utilisent la même interface air, l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access). Leur objectif à long terme serait de converger pour former la norme 4G IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications - Advanced).

### I.3. Les différentes normes téléphoniques

Pour une bonne explication de la technologie utilisée aujourd'hui, il faut d'abord connaître l'évolution de ces techniques, cela va nous aider à savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

#### I.3.1. La première génération des téléphones mobile (1G)

La première génération de systèmes cellulaires (1G) reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base. Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux.

La première génération de système cellulaire 1G utilisait essentiellement les standards suivants :

- ✚ AMPS (Advanced Mobile Phone System) lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- ✚ NMT (Nordic Mobile Telephone) a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète.
- ✚ TACS (Total Access Communications System), qui repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en grande Bretagne.

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique.

#### I.3.2. La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

La deuxième génération (2G) de système cellulaire repose sur une technologie numérique a été développée à la fin des années 1980. Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal. Ce système apporte une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur.

La deuxième génération de systèmes cellulaires (2G) utilise essentiellement les standards suivants :

-  GSM (2G)
-  GPRS (2.5G) est un système mobile intermédiaire entre la (2G) et la (3G) (débits inférieurs à 100 kbit /s)
-  EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution, 2.75G)

### I.3.2.1. Le réseau GSM

Le GSM (Global system for mobile communication), est un système cellulaire, numérique de télécommunication radio-mobile. Son développement remonte aux années 80 mais son exploitation à commencer en 1992 après une longue phase de normalisation est de coopération internationale. Les premiers réseaux ouvrent en GSM 900 et deux ans plus tard, la norme GSM s'étend en DCS 1800 (digital communication system). La figure I.2 présente l'architecture du réseau GSM.

Un réseau de radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC). Il s'interface avec le RTC et comprend des commutateurs. Il est caractérisé par un accès très spécifique à la liaison radio. Enfin, comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

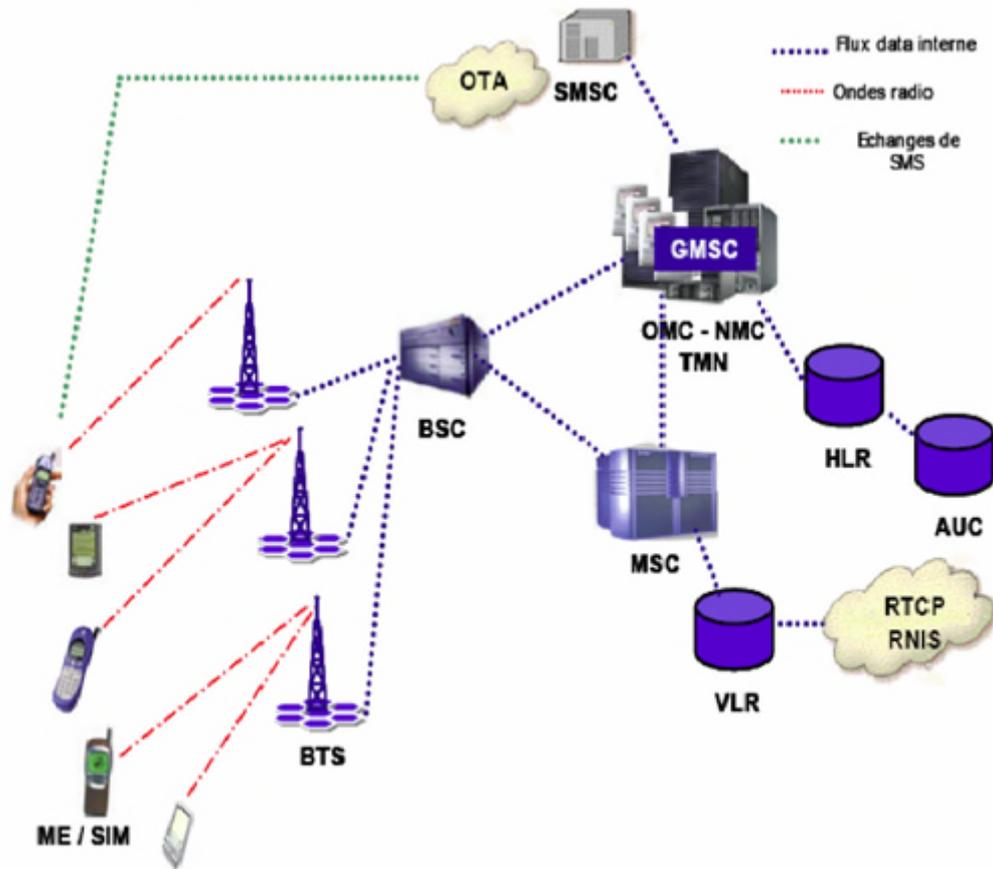


Figure 1.2. Architecture du réseau GSM [4].

#### 1.3.2.1.1. Les équipements d'un réseau GSM

- a) **Station de base (BTS-Base Transceiver Station)** : Assure la réception les appels entrant et sortant des équipements mobiles.
- b) **Le contrôleur de base (BSC-Base Station Controller)** : Assure le contrôle des stations de bases.
- c) **Commutateurs de service mobile (MSC-Mobile Switching Center)** : Assure la commutation dans le réseau
- d) **Registre des abonnés locaux (HLR-Home Location Register)** : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des abonnés.
- e) **Centre d'authenticité (AuC-Authentication Center)** : Assure l'authentification des terminaux du réseau

- f) **Registre des abonnés visiteurs (VLR-Visitor Location Register) :** Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.

### I.3.2.2. Le réseau GPRS (2.5)

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

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

-  Le nœud de service — le SGSN.
-  Le nœud de passerelle — le GGSN.

Une troisième entité — le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité.

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM.

La figure I.3 présente l'infrastructure du réseau GPRS.

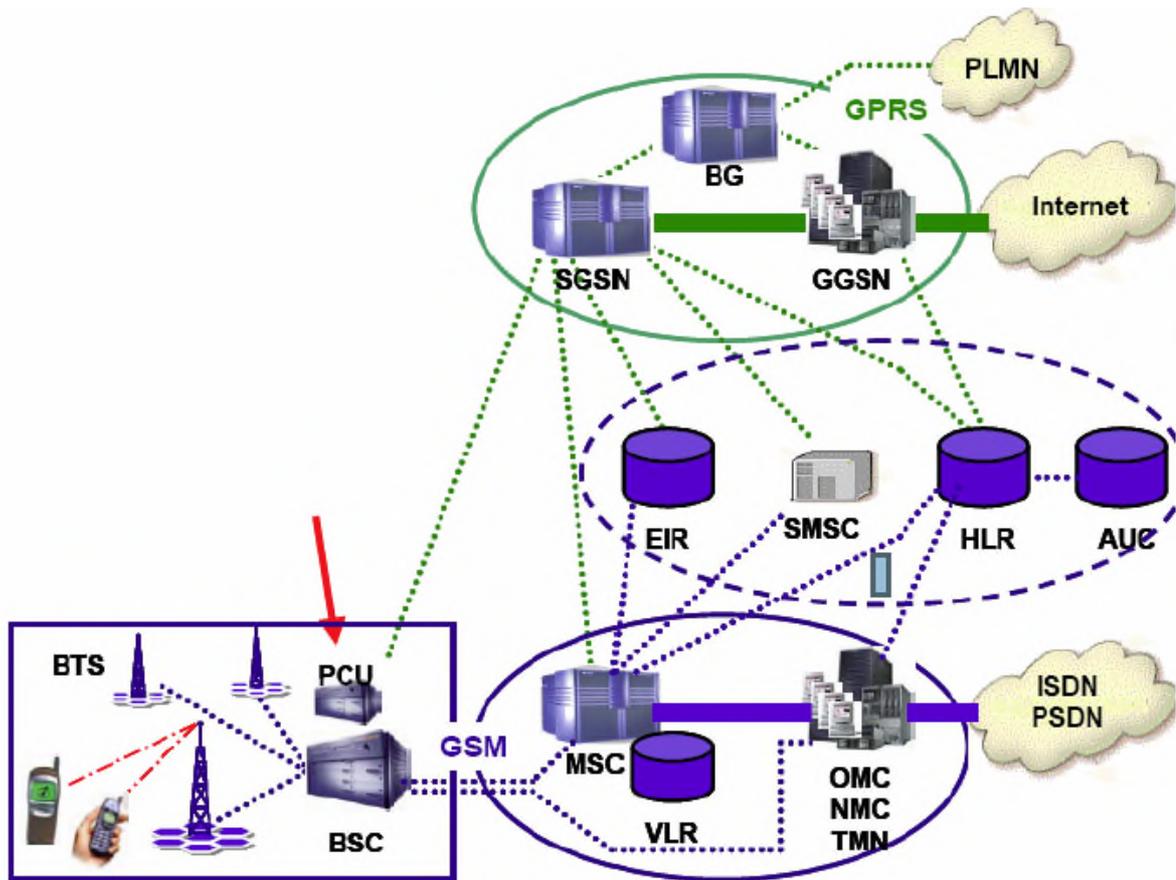


Figure I.3. Architecture du réseau GPRS [4].

### I.3.2.3. Le réseau EDGE (2.75)

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

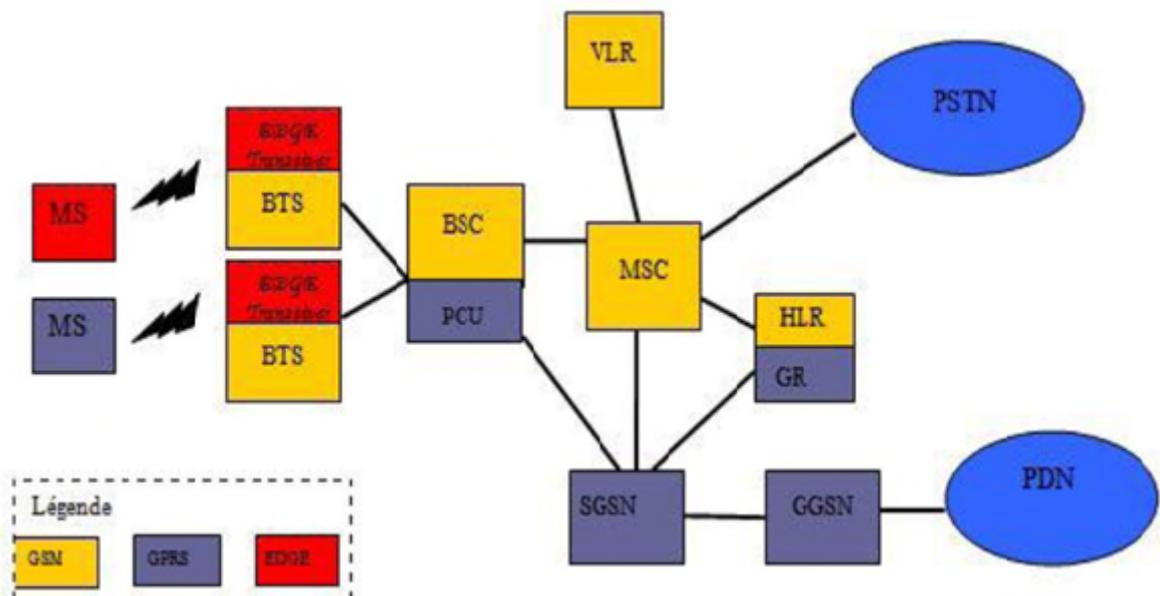
Afin de dépasser ces limitations, une proposition a été faite par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en 1997 pour l'utilisation d'une modulation à plus forte efficacité spectrale appelée 8-PSK (environ 3bits/symbole). Des études de faisabilité s'en sont suivies et ont conduit au concept d'EDGE (Enhanced Data rates for the Global Evolution).

Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième

génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE.

EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM, ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. Il permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie, EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kbit/s pour les stations fixes (piétons et véhicules lents) et jusqu'à 144 kbit/s pour les stations mobiles (véhicules rapides).

L'EDGE est une extension du réseau GPRS. Seule le sous-système radio est sensiblement modifié.



**Figure I.4.** Architecture d'EDGE[5].

Le déploiement de L'EDGE nécessite :

- ✚ La mise à jour du BSC et de la BTS.
- ✚ L'ajout d'un émetteur-récepteur (EDGE Transceiver) au niveau de la BTS, capable de supporter la modulation 8-PSK.

### I.3.3.La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)

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

La mise en place d'un réseau UMTS a permis à un opérateur de compléter son offre existante par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS.

L'idée fondatrice du système 3G est d'intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau et de lui adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données).

#### I.3.3.1. Infrastructure du réseau UMTS

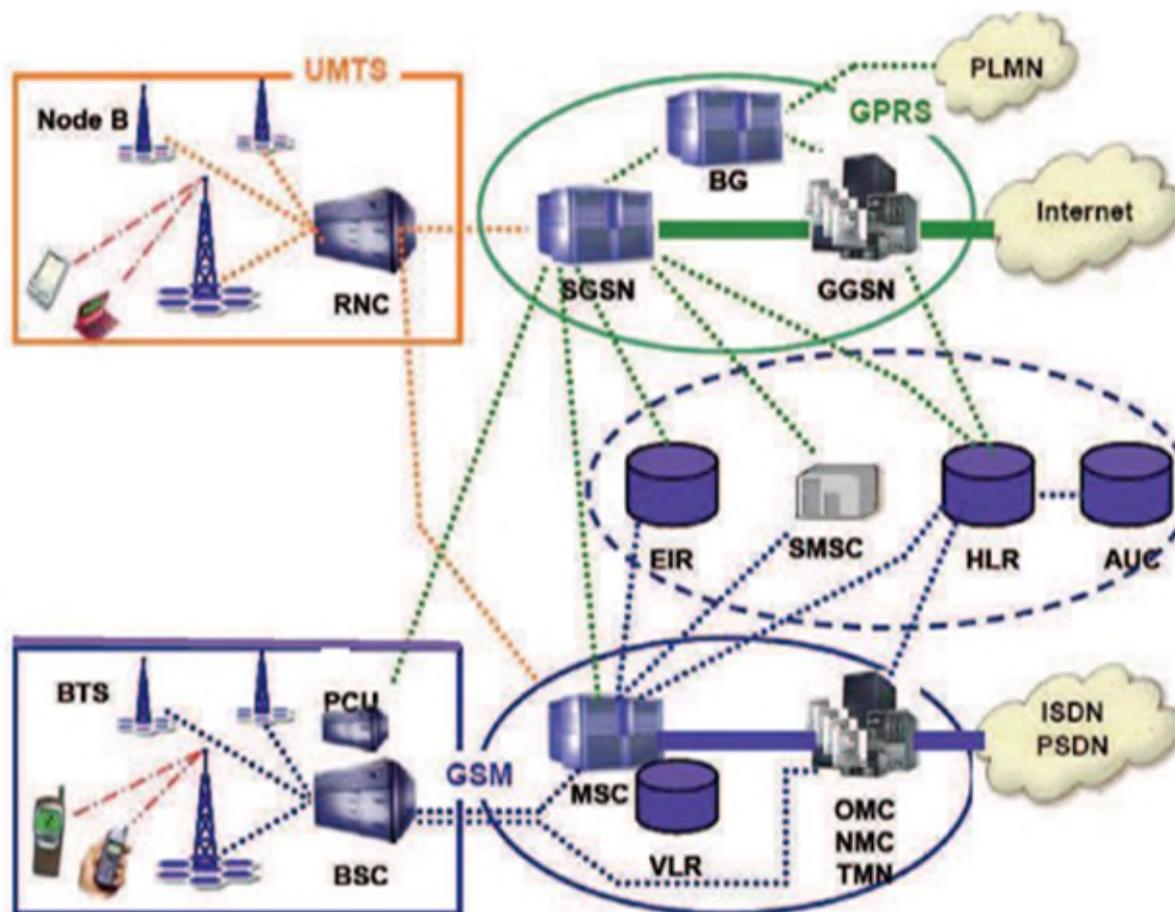


Figure I.5. Architecture de réseau UMTS[4].

### *1.3.3.1.1. Présentation de l'infrastructure du réseau UMTS*

#### **a) Nœud B :**

- + Nom donné dans les spécifications techniques à une station de base
- + Effectue les procédures de la couche physique : modulation RF, étalement de spectre, contrôle de puissance en boucle interne, adaptation de débit, combining (suivant le principe du RAKE). Supporte les modes UTRA/FDD et ou UTRA/TDD

#### **b) Radio Network Controller (RNC)**

Contrôleur des stations de base. Il contrôle l'utilisation et l'intégrité des ressources radio : c'est le « cerveau » dans le RNS :

- + Gère les ressources radio : admission, charge, congestion, séquençage dans la transmission de paquets
- + Gestion de la mobilité (handover)
- + Point d'accès pour le mobile vers le réseau cœur
- + Allocation des codes d'étalement
- + Contrôle de puissance « hors boucle »

### *1.3.3.1.2. Les équipements d'un réseau UMTS*

La mise en place du réseau UMTS implique la mise en place de nouveaux éléments sur le réseau.

#### **a) Le « Node B »**

Le Node B est un ensemble de stations de base (BS) et de contrôleurs de site qui sont chargés en outre de gérer la macro-diversité (1 mobile ↔ plusieurs nodes B). Chaque station de base gère une cellule. Plusieurs cellules peuvent donc dépendre d'un même Node B, mais chaque cellule ne supporte qu'un seul mode de duplexage : FDD (Frequency Division Duplex) ou TDD (Time Division Duplex).

Les « Nodes B » gèrent la couche physique de l'interface radio. Le « Node B » régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement.

### b) Le RNC

Le RNC est un contrôleur de Node B et est encore ici l'équivalent du BSC dans le réseau GSM.

Le RNC contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour définir procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des Nodes B) et le réseau.

Le RNC s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit. Le RNC est directement relié à un Node B, il gère alors :

- ✚ Le contrôle de charge et de congestion (saturation) des différents Node B
- ✚ Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées ...)

### c) La carte USIM

La carte USIM assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications. Des algorithmes de cryptages à clés publiques sont utilisés. Un certain nombre de possibilités sont prévues pour les cartes USIM de 3G (clés de cryptage plus longues, protection des données d'identité de l'abonné et de son terminal et autres).

### d) Le mobile

Les technologies de l'informatique et des télécommunications se rapprochent par l'intégration de système d'exploitation et d'applications sur les terminaux UMTS. Les terminaux s'adapteront sur différents réseaux et devront être capables de fonctionner sur quatre environnements :

- ✚ Dans une zone rurale (pico cellule)
- ✚ Dans un bâtiment (micro cellule)
- ✚ Dans des espaces urbains (macro cellule)
- ✚ Avec un satellite

Ce qui est présenté comme suit :

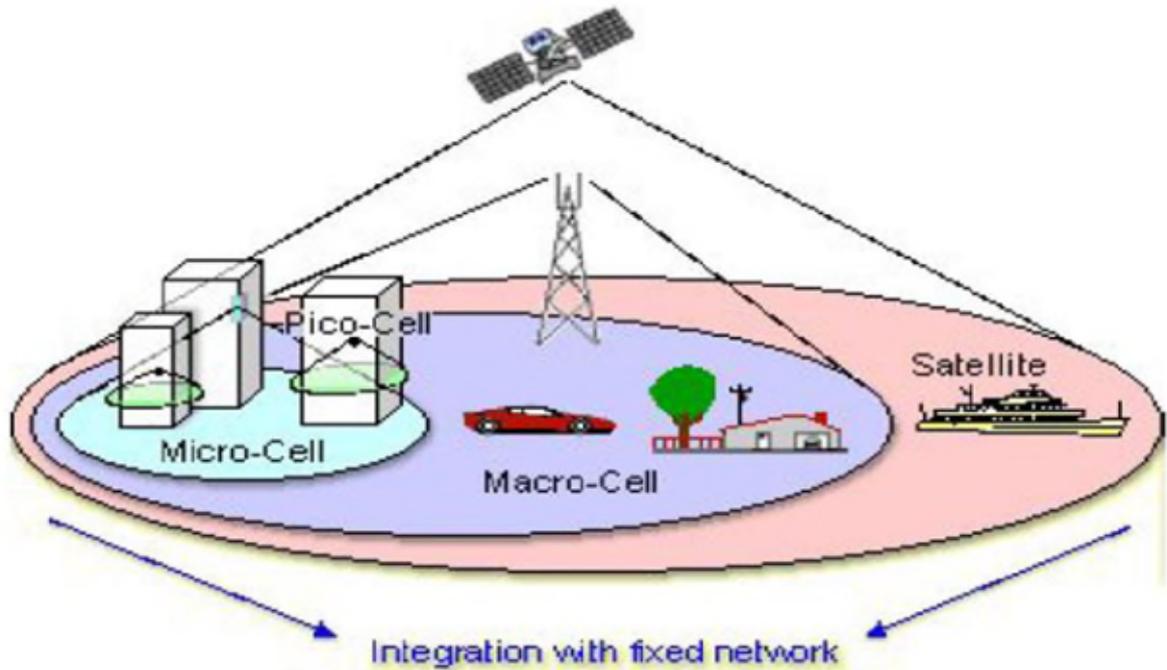


Figure I.6. Les différentes cellules d'un terminal UMTS.

#### 1.3.3.1.3. Le mode de transmission dans le réseau UMTS

Le réseau cœur de l'UMTS se décompose en deux parties : le mode circuit dans un premier temps et le mode paquet.

##### a) Le mode circuit

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

##### b) Le mode paquet

Le mode paquet permet de gérer les services non on temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'internet, et de l'accès/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 mode paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC/VLR en GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

### **I.3.4. La quatrième génération des téléphones mobiles 4G**

Les réseaux de quatrième génération (4G) représentent la prochaine évolution des communications sans fil et sont basés sur l'infrastructure existante, sur l'interconnexion des réseaux déjà déployés. On peut dire qu'il s'agit d'un réseau de réseaux. Ce pas évolutif semble assez naturel dans les conditions où les opérateurs ont investi beaucoup dans les réseaux de troisième génération et il y a plusieurs types de réseau à choisir.

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

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

La mise en œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant 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 réseau GPRS constituait finalement une étape vers le réseau UMTS. Sur le plan technique, les architectures des trois réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et interconnectées afin d'optimiser la qualité de service rendue à un abonné.

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

## **CHAPITRE II**

---

# **LE RESEAU 4G**

### II.1.Introduction

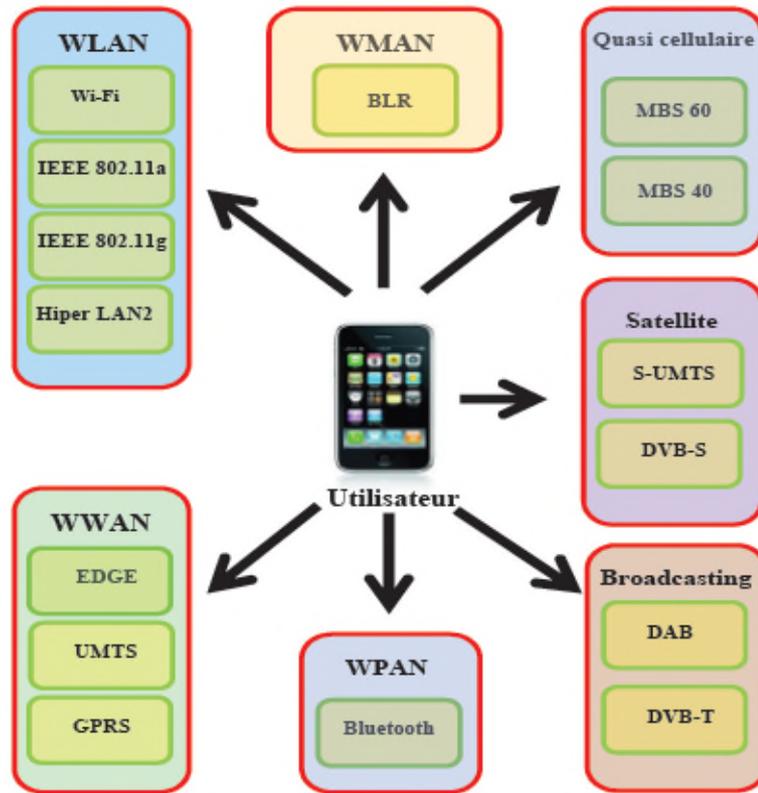
Le réseau 4G (4ème génération) est proposé comme future génération des réseaux de mobiles après la 3G (3ème génération). Ce réseau a également pour objectif d'améliorer la mobilité. Avec le réseau 4G, un utilisateur pourra se connecter où qu'il se trouve : à l'intérieur des bâtiments avec les technologies Bluetooth, UWB ou WiFi..., à l'extérieur (dans la rue et les lieux publics) avec l'UMTS ou le WiMAX... En général, le passage d'un réseau à l'autre deviendra transparent pour l'utilisateur.

Les débits supposés sont entre 20 et 100 Mb/s à longue portée et en situation de mobilité, et 1 Gb/s à courte portée vers des stations fixes. Par définition, la 4G assure la convergence de la 3G avec les réseaux de communication radio fondés sur le protocole IP. La connexion devra être possible quel que soit le mode de couverture.

### II.2. La 4<sup>ème</sup> génération des réseaux mobiles

#### II.2.1. Définition de la quatrième génération

La définition de la 4G a évolué comme une nouvelle vague d'efforts de données de commercialisation des mobiles qui se déplace le terme dans l'œil du public à différencier les marques. L'union internationale des télécommunications (UIT), qui supervise le développement de la plupart des normes de données cellulaires, a récemment publié une déclaration soulignant que la 4G terme n'est pas défini. En réponse, les opérateurs mobiles avec des architectures 3G avancés a commencé la commercialisation des services «4G» [6]. Les différentes technologies sans fil qui sont représentées, dans la figure suivante :



**Figure II.1.** Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G [7].

### II.2.2. L'objectif de la 4G

La 4ème 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 4ème génération sont les suivants :

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

- f) Minimiser le cout de signalisation.

**II.2.3. Caractéristiques des systèmes sans fil 4G**

Voici quelques fonctionnalités possibles des systèmes 4G:

- a) Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, Internet sans fil et autres services large bande.
- b) Haute vitesse, haute capacité et à faible coût par bit.
- c) La mobilité mondiale, la portabilité des services, réseaux mobiles évolutifs.
- d) De commutation transparente, la variété de services basés sur la qualité de service (QoS)
- e) Une meilleure planification et des techniques de contrôle d'admission d'appel.
- f) Les réseaux ad-hoc et réseaux multi-sauts.

Le tableau suivant montre les comparaisons entre certains paramètres clés des systèmes 4G et 3G possible.

	3G	4G
Bande de fréquence	1.8 à 2.5 GHz	2 à 8 GHz
Bande passante	5-20 MHz	5-20 MHz
Le débit de données	Jusqu'à 2Mbps (384 kbps WAN)	Jusqu'à 20 Mbps ou plus
Accéder	Wideband CDMA	MC-CDMA, OFDMA
Codage du canal	Turbo-codes	Turbo-codes, LDPC
Commutation	Circuit / paquet	Paquet
Mobiles des vitesses de pointe	200 km/h	200 km/h

**Tableau II.1.** Les comparaisons entre certains paramètres clés des systèmes 4G et 3G [7].

**II.2.4. Qualité de Service (QoS)**

Les systèmes 4G sont attendus pour fournir des services en temps réel et sur Internet. Lesservices en temps réel peuvent être classés en deux types:

- a) Charge garantie: Ex voix
- b) Mieux-à-best effort: Ils concernent :

- **Prédictive** : Service doit limite supérieure de bout en bout retard.
- **Retard contrôlée** : le service pourrait permettre retard dynamiquement variable.
- **Charge contrôlée** : Service a besoin de ressources (bande passante et le traitement des paquets).

## II.3. Technologies 4G

### II.3.1. Réseau WiMAX

#### II.3.1.1. Introduction

WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access) [8], 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 les couches 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.
- ✓ Le 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.

#### II.3.1.2. Couches Protocolaires

Dans la structure du WiMAX, il existe une couche physique et trois sous-couches MAC [9]:

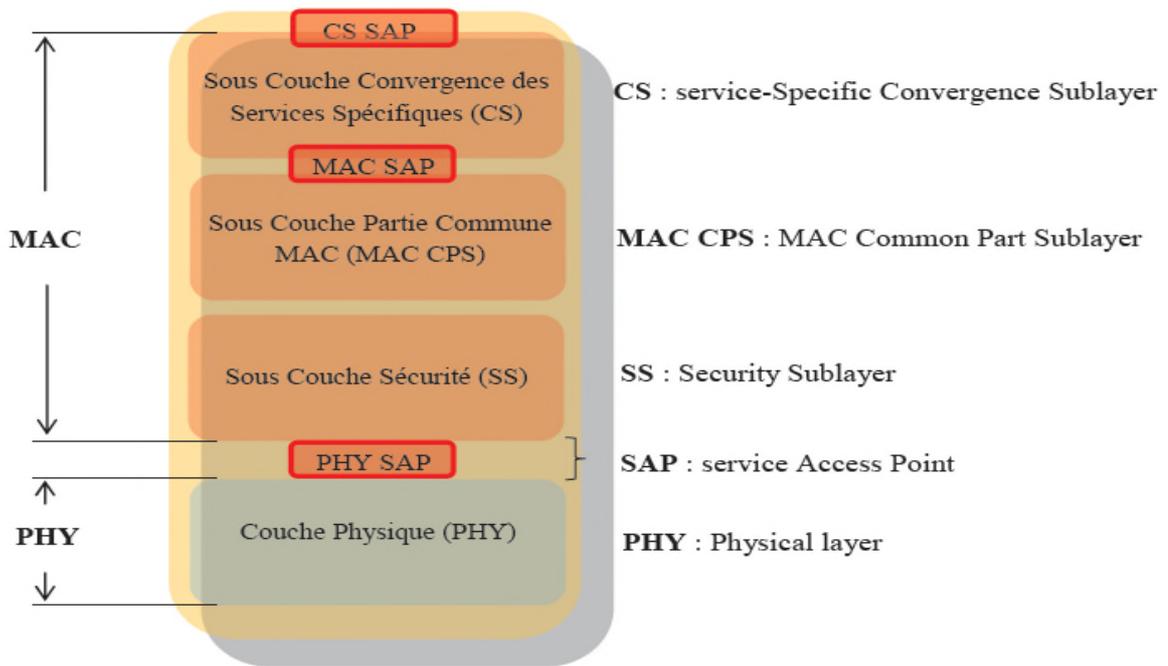


Figure II.2. Pile protocolaire de WiMAX.

### 1-Service Specific Convergence Sublayer (1ère 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 (2ème sous couche MAC)

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 (3ème sous couche MAC)

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).

### II.3.1.3. QoS dans le WiMAX

Le WiMAX a été conçu dès le début pour prendre en charge la Qualité de Service (QoS). La couche MAC permet de différencier deux classes de stations d'abonnées (SS):

- **GPC (Grant per Connection)** : Où le débit est alloué explicitement par la BS à une connexion, et la SS emploie les ressources seulement pour cette connexion.
- **GPSS (Grant per SS)** : Où l'allocation de débit par la BS est faite par station d'abonné SS. Elle va ensuite répartir ses ressources entre les différentes connexions.

Le WiMAX propose des classes de services pour offrir une QoS différente entre les communications. Les classes de QoS sont [10]:

- **Unsolicited Grant Service (UGS)** : Ce type de service est utilisé pour des flux temps réel générant des paquets de taille fixe et de façon périodique comme de la transmission de voix sans suppression de silences.
- **Real-Time Polling Service (rtPS)** : Ce service concerne les flux temps réel générant périodiquement des paquets de taille variable comme de la vidéo encodée en MPEG.
- **Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)** : Ce service est conçu pour les flux ne nécessitant pas de temps réel, utilisant des paquets de taille variable.
- **Best Effort (BE)** : Ce service est le plus simple de tous, il est utilisé pour tous les flux ne nécessitant pas de qualité de service particulière.

### II.3.1.4. WiMAX mobile

Le WiMAX mobile (Standard IEEE 802.16e) [11] 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 802.16<sup>e</sup> 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 802.16<sup>e</sup> utilise la méthode d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qui permet d'adapter les canaux de manière dynamique.

### II.3.1.5. Architecture du WiMAX

L'architecture du WiMAX[11] est composée de terminaux mobiles (MS) qui communiquent via un lien radio avec une station de base (BS) qui joue le rôle d'un relais avec une infrastructure terrestre fondée sur le protocole IP. Les BSs sont connectées à un élément du réseau appelé ASN-GW utilisé comme passerelle (Gateway) pour gérer le raccordement des BSs avec le réseau IP.

L'IEEE 802.16e est composé aussi du NAP (Network Access Provider) qui est l'entité responsable de fournir l'infrastructure nécessaire pour l'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services.

Elle contrôle un ou plusieurs ASN (Access Service Network) qui est formée d'une ou plusieurs BS, et d'un ou plusieurs ASN-GW. La dernière composante de l'IEEE 802.16e est le NSP (Network Service Provider).

Cette entité fournit l'accès au réseau IP et offre aux abonnés l'accès aux services réseau. Le NSP Contrôle un ou plusieurs CSN (Connectivity Service Network) qui est le cœur du réseau WiMAX.

L'architecture de l'IEEE 802.16e est illustrée ci-dessous :

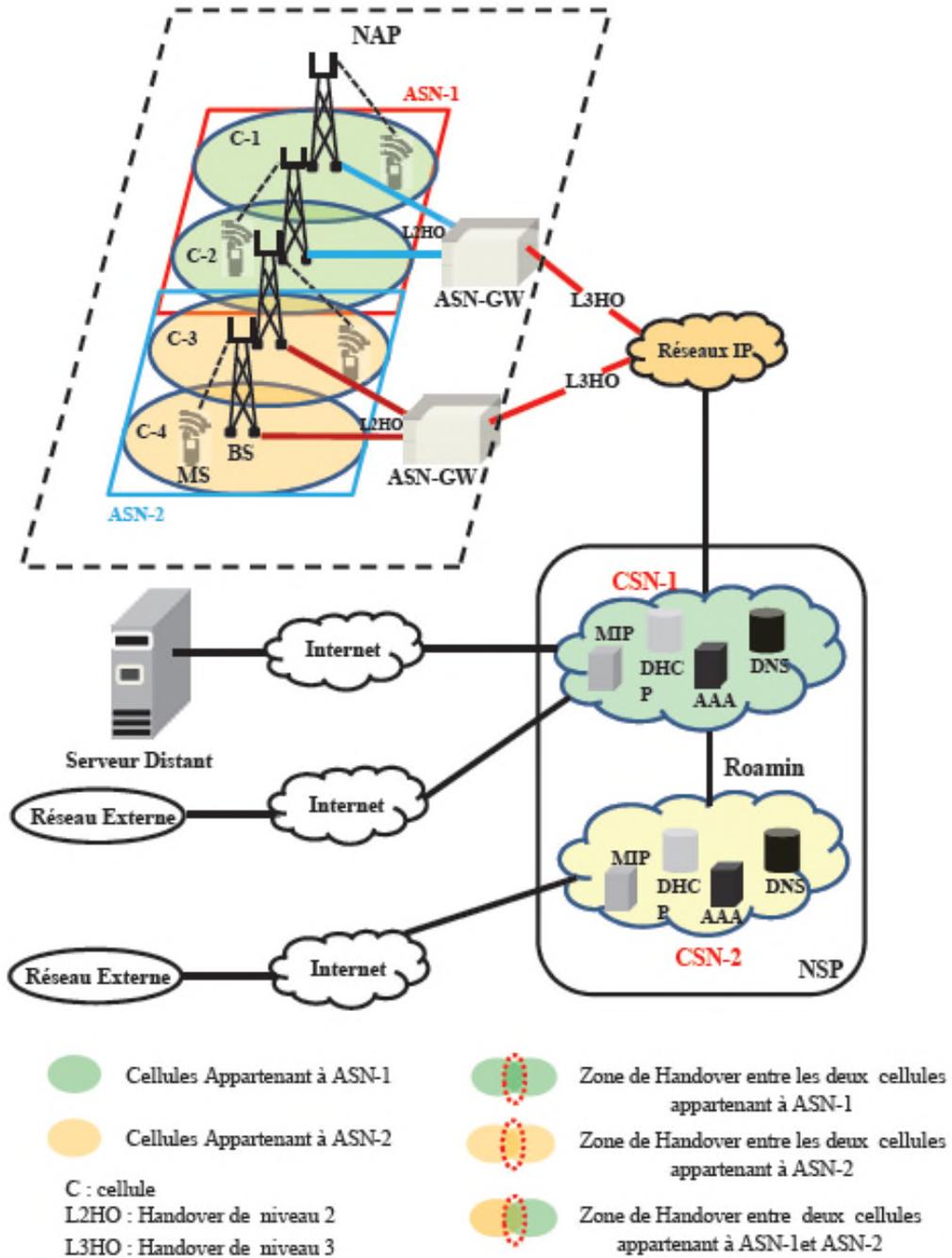


Figure II.3. Architecture du WiMAX mobile.

## II.3.2. Long Term Evolution (LTE)

### II.3.2.1. Introduction

LTE [12] est la norme de communication mobile la plus récente qui est proposée par l'organisme 3GPP dans le contexte de la 4G. Comme l'IEEE 802.16m, elle propose des débits élevés pour le trafic temps-réel, avec une large portée. Théoriquement, le LTE peut atteindre un débit de 50 Mb/s en lien montant et 100 Mb/s en lien descendant. En réalité, l'ensemble de ce réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System), et il est composé des deux parties :

- Le réseau évolué d'accès radio LTE.
- Le réseau cœur évolué appelé SAE (System Architecture Evolution).

Le seul inconvénient de cette nouvelle technologie est l'installation de ces nouveaux équipements qui sont différents de ceux des normes précédentes, et le développement des terminaux adaptés.

### II.3.2.2. Accès radio LTE

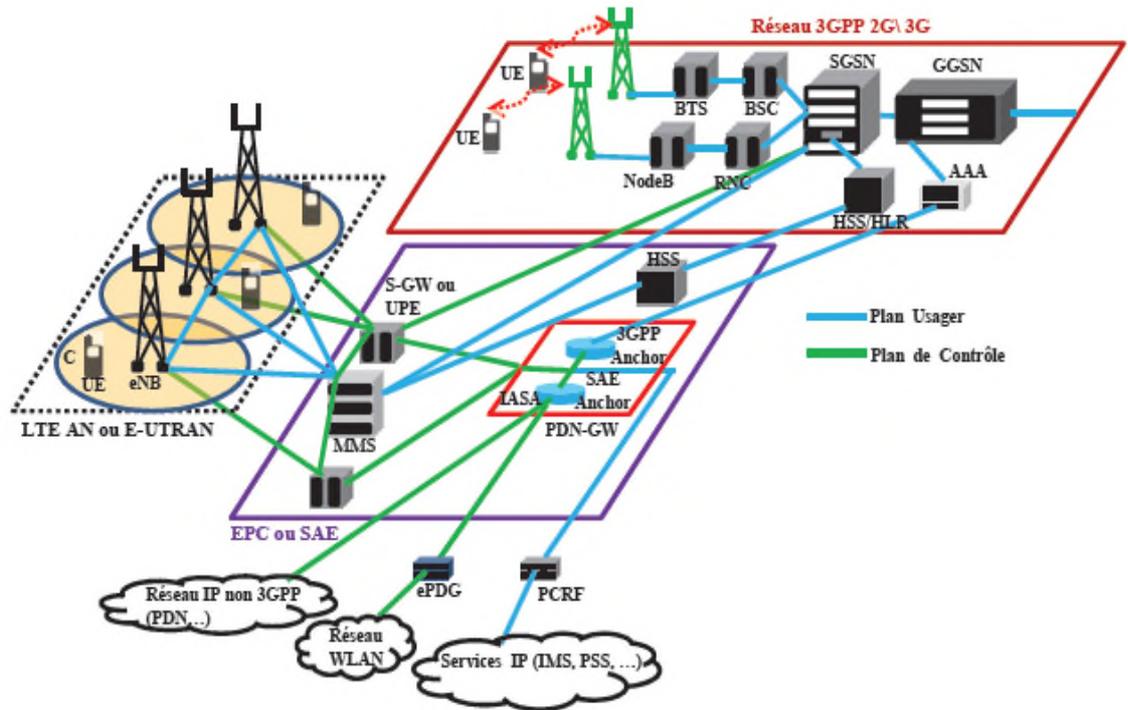
Pour offrir des débits élevés le LTE emploie la technologie OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) dans le sens descendant [13], et le SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) dans le sens montant.

- Le LTE respecte les délais requis par le trafic temps-réel. Cette technologie prend en charge la mobilité des utilisateurs en exécutant le Handover à une vitesse allant jusqu'à 350 km/h.
- Le LTE prend en charge l'interconnexion et l'interopérabilité avec les normes 2G et 3G, et les réseaux CDMA-2000. Contrairement à la 3G qui nécessite d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz,
- le LTE propose plusieurs bandes de fréquences allant de 1.25 jusqu'à 20 MHz. Cela lui permettra de couvrir de grandes surfaces.

### II.3.2.3. Réseau global EPS

En comparant avec les normes 2G et 3G, l'architecture de l'EPS est plus simple. En particulier la nouvelle entité eNodeB remplace les fonctions des deux composants NodeB et RNC définis dans la 3G.

L'architecture du réseau EPS est présentée ci-dessous :



**Figure II.4.** Architecture de l'EPS [7].

L'EPS est composé de :

- **UE** : équipement utilisateur.
- **eNodeB** : responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.
- **MME (Mobility Management Entity)** : MME est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs. Elle sélectionne les composants dédiés aux types de la communication de l'utilisateur. Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux. Et enfin elle s'occupe de la signalisation.
- **Serving GW (Serving Gateway) ou UPE (User Plane Entity)** : joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux, et ainsi responsable du routage des paquets.
- **PDN GW (Packet Data Network Gateway) ou IASA (Inter-Access System Anchor)** : chargé de la mobilité entre différents systèmes, il est composé de l'élément 3GPP Anchor qui permet d'exécuter la mobilité entre LTE et les technologies 2G/3G, et l'élément SAE Anchor permet d'exécuter la mobilité entre le système 3GPP et les

systèmes non 3GPP (WIFI, WIMAX, etc.). il exécute seulement les décisions prises par l'UE. Il est responsable de l'attribution des adresses IP aux utilisateurs.

- **HSS (Home Subscriber Server)** : base de données, évolution du HLR de la 3G. Elle contient les informations de souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE...
- **PCRF (Policy & Charging Rules Function)** : fournit les règles de la taxation.
- **ePDG (Evolved Packet Data Gateway)** : Il permet l'interopérabilité avec le réseau WLAN en fournissant des fonctions de routage des paquets, de Tunneling, d'authentification, d'autorisation et d'encapsulation/ décapsulation des paquets.

### II.3.2.4. Le Handover dans LTE

Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée,

1. les eNodeBs prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeBs via une interface appelée X2.
2. Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message complet de Handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB. Après réception du message, les Gateways effectuent le chemin de commutation. Durant le Handover il y a un délai durant lequel l'UE n'est pas connecté au système. Les principales étapes du Handover sont :
  - Le Handover est déclenché par l'UE qui envoie un rapport de mesure à l'eNB source qui va décider en se fondant sur le rapport reçu et sur les informations concernant la gestion des ressources radio (RRM : Radio Resource Management).
  - La phase de préparation du Handover commence par l'envoi d'une requête de Handover (HO Request) de la part de l'eNB source vers l'eNB cible. Ce message contient toutes les informations pertinentes sur le Handover (UE - RAN, PDP Context, etc.).
  - L'eNB cible enregistre le contexte, prépare les couches 1 et 2 (L1/L2) pour le Handover et répond à l'eNB source par un acquittement (HO Request Ack) qui fournira les informations sur l'établissement de nouveau lien radio.
  - L'eNB source transférera toutes les informations nécessaires à l'UE,
  - L'UE informe l'eNB cible du succès du Handover avec un message de confirmation. Jusqu'à cet instant l'eNB cible mémorise les données reçus de l'eNB source. Après

avoir reçu le message de confirmation il commence à envoyer les données bufférisées à l'UE.

- L'eNB cible initie le changement de chemin de données en envoyant un « Handover Complete » aux passerelles. Les informations de localisation de l'UE seront ensuite mises à jour au niveau des passerelles qui vont effectuer le changement de chemin pour que les données soient envoyées directement vers l'eNB cible.
- L'MME/S-GW confirment le chemin par un message 'Handover Complete Ack', et dès que l'eNB cible reçoit ce message, il envoie une indication 'release Source' au eNB source pour qu'il libère définitivement la connexion avec l'UE.

### II.3.3. L'UMB

#### II.3.3.1. Introduction

L'UMB (Ultra Mobile Broadband) [9] ou plus exactement «CDMA2000 1xEV-DO Revision C» est le nom commercial de la prochaine version de la famille CDMA. Avec la première révision A avec le CDMA, le débit offert était de 450 à 800 Kb/s vers des points fixes uniquement. Ensuite, avec la révision B il y avait une amélioration des débits jusqu'à 46,5 Mb/s. La dernière révision C proposée ajoute la gestion de la mobilité de l'utilisateur en grande vitesse et offre des débits théoriques à l'ordre de 288 Mb/s en voie descendante, et 75 Mb/s en voie montante. Elle propose aussi un environnement réseau qui se repose sur le principe de tout-IP et dispose de passerelles permettant l'interconnexion avec les réseaux de la famille 3GPP.

L'UMB repose sur une méthode d'accès de type OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) utilisant des mécanismes sophistiqués de contrôle et de signalisation, Elle utilise aussi des techniques avancées d'antennes comme MIMO (Multiple In Multiple Out), SDMA (Space Division Multiple Access), et formation des faisceaux, tout en restant compatible avec les normes antérieures.

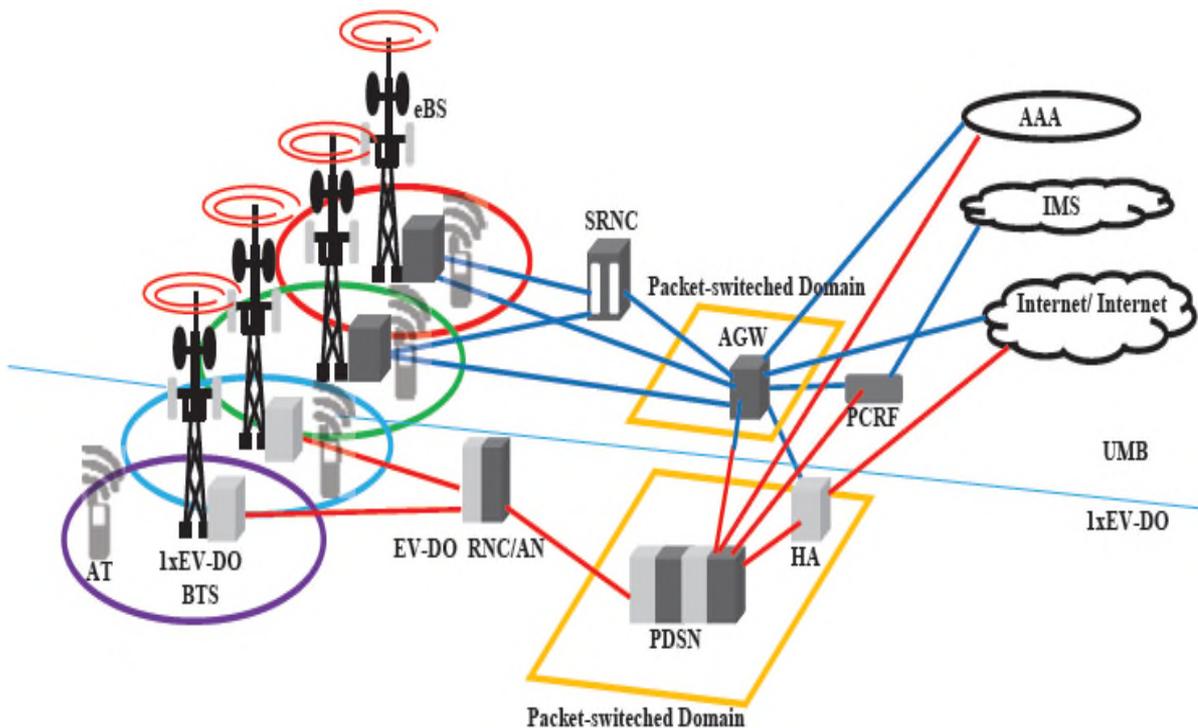
Parmi les caractéristiques décrites dans la spécification, nous noterons son usage polyvalent (fixe, pédestre, mobile jusqu'à plus de 300 km/h), son temps de latence de l'ordre de 14,3 ms, sa large couverture, et sa flexibilité de déploiement entre 1.25 MHz et 20 MHz.

### II.3.3.2. Architecture de l'UMB

Les éléments du réseau et les interfaces formant l'architecture de l'UMB sont :

- **Access Terminal (AT)** : c'est le périphérique sans fil compatible avec l'UMB.
- **Access Gateway (AGW)** : c'est un routeur qui présente le premier point de rattachement au réseau IP.
- **Session Reference Network Controller (SRNC)** : il est responsable du maintien de la référence de la session avec l'AT. Il est responsable aussi de la prise en charge de la gestion du statut IDLE de l'AT, et de la fourniture des fonctions de contrôle de Paging quand l'AT.

L'architecture de l'UMB est présentée ci-dessous :



**Figure II.5.** Architecture de l'UMB [7].

### II.3.3.3. Mobilité dans l'UMB

Il y a trois types de mobilité dans l'UMB : dans un même domaine AGW, entre deux domaines AGW, et entre deux technologies différentes.

- **Handover inter-eBS** : l'AT peut changer d'eBS à travers le Handover de couche 2.
- **Handover inter-AGW** : c'est dans le cas où le mobile passe d'une cellule gérée par un AGW à une autre gérée avec un autre AGW, ce Handover est de niveau 3.
- **Handover inter-systèmes** : entre UMB et une autre technologie.

### II.3.4. Comparaison entre WiMAX, LTE et UMB

Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre des technologies candidates à la 4G: 802.16e / 802.16m, LTE et UMB [14].

	802.16e	802.16m	LTE	UMB
Cœur de réseau	IP	IP	IP	IP
Max des Débits Lien Descendant Lien Montant (pour 20 Mhz)	75 Mb/s 25 Mb/s	> 130 Mb/s > 75 Mb/s	100 Mb/s 50 Mb/s	288 Mb/s 75 Mb/s
Technologie d'accès	OFDMA	OFDMA	OFDM, SC-FDMA	OFDMA
Technique avancée des antennes	MIMO	MIMO, beamforming	MIMO	MIMO, SDMA, beamforming
Bande Passante du canal	1.25 à 20 MHz	5 à 20 MHz	1.25 à 20 MHz	1.25 à 20 MHz
Mobilité supportée	120 Km/h	350 km/h	> 350 Km/h	> 300 km/h
Totale mobilité	Oui	Oui	Oui	Oui
Economie d'énergie	Oui	Oui	Oui	Oui
Couverture de la cellule (zone dense)	2-7 Km	1-7 Km	5 Km	1-5 Km
Capacité de cellule	100-200 utilisateurs	> 200	> 200 à 5 MHz > 400 pour une large BP	> 200
Héritage	IEEE 802.16a jusqu'à 802.16d	IEEE 802.16a jusqu'au e	GSM/GPRS/UMTS/HSDPA	CDMA2000/ EV-DO
Mode de Duplexage	FDD + TDD	FDD + TDD	FDD + TDD	FDD
Efficacité Spectrale	3.75 Bit/Sec/Hz	8 Bit/Sec/Hz	5 Bit/Sec/Hz	5 Bit/Sec/Hz

**Tableau II.2.** Comparaison entre 802.16e, 802.16m, LTE et UMB

### II.4. 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. Le chapitre suivant traitera les méthodes de planification de ce réseau en milieu urbain

# **CHAPITRE III**

---

## **METHODES DE PLANIFICATION DU RESEAU 4G**

# Conclusion générale

---

### III.1. Introduction

La planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser de façon optimale, en respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Ce processus qui peut être à la fois long et coûteux a lieu avant la mise en opération du réseau. Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G) et de troisième génération (3G).

Les systèmes 4G sont complètement orientés vers l'utilisateur final, en fournissant des services variés à haut débit et sans coupure à travers les réseaux. Toute fois, ces dernières années, les recherches portent surtout sur l'analyse des réseaux de quatrième génération (4G), dont l'objectif est d'offrir toute une gamme de services (l'accès rapide à l'Internet, le commerce électronique, la vidéo conférence, la télémédecine, l'apprentissage à distance, etc.) ayant chacun ses caractéristiques et contraintes particulières.

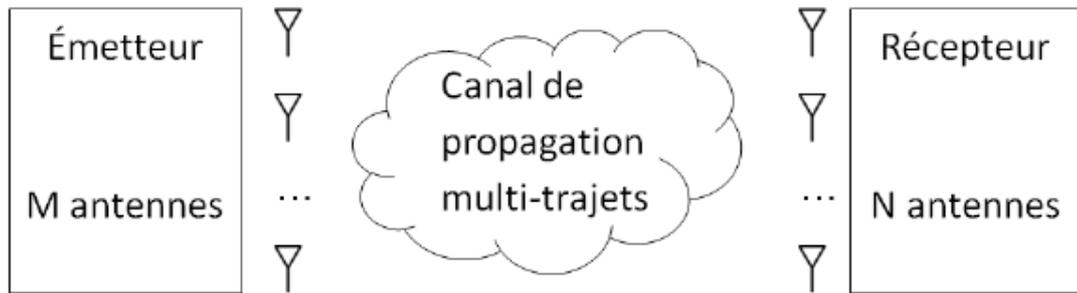
### III.2. La technologie dans les réseaux mobiles 4G

Les réseaux mobiles 4G utilisent les technologies MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), AAS (Adaptive Antenna Systems), AMS (Adaptive Modulation Schemes), AES (Advanced Encryption Standard) et IP (Internet Protocol). Ces technologies leur permettent d'atteindre des débits de plusieurs dizaines de Mbps et introduisent les principales fonctionnalités nécessaires pour permettre la mobilité à de très grandes vitesses [15].

#### ✓ La technologie MIMO

Elle permet de transporter plusieurs flux en parallèle sur des antennes différentes en utilisant la même fréquence. Le principe de cette technologie est l'utilisation de plusieurs antennes, aussi bien en émission qu'en réception. Selon la configuration utilisée, elle permet d'améliorer la qualité ou le débit de la transmission. En réception, le même signal est émis sur chacune des antennes; le récepteur analyse les données reçues et retient le meilleur signal. Lorsque la technologie MIMO est utilisée en émission, différents signaux sont transmis par chacune des antennes afin d'augmenter le débit de la transmission. Il faut noter que la technologie MIMO est plus efficace dans les environnements comportant des obstacles, ce

qui lui permet de bénéficier des propriétés du multi-chemin. La figure suivante illustre le principe du MIMO



**Figure III.1.** Principe du MIMO [16] .

✓ La technologie OFDM

Elle consiste à diviser le signal numérique que l'on veut transmettre sur un grand nombre de porteuses. Afin d'utiliser des fréquences très proches pour les porteuses et ainsi transmettre le maximum d'informations sur une portion de fréquences données, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles, ce qui réduit les interférences.

✓ La modulation adaptative (AMS)

Elle consiste à faire varier dynamiquement certains paramètres du réseau dans le but d'atteindre un débit de transmission maximal tout en assurant une certaine performance de base. Divers paramètres sont ainsi sélectionnées selon les conditions du canal de transmission. Ces paramètres permettent une meilleure efficacité spectrale lorsque les conditions du canal sont bonnes mais, quand les conditions se détériorent, l'efficacité spectrale est aussi diminuée.

✓ Les antennes adaptatives (AAS)

Elles utilisent un algorithme sophistiqué pour déterminer à chaque instant les signaux utiles ainsi que les interférences et calculer la direction d'où proviennent ces signaux. Cela leur permet non seulement de maximiser la qualité des signaux reçus, mais aussi de localiser l'émetteur et de retransmettre dans sa direction afin de minimiser le mieux possible les interférences.

✓ La méthode Advanced Encryption Standard (AES)

Elle consiste à implémenter l'algorithme de chiffrement Rijndael. La proposition définit un algorithme de chiffrement dans lequel la longueur de bloc et de la longueur de la clé peut être spécifié de manière indépendante à 128, 192 ou 256 bits.

L'AES utilise les trois mêmes alternatives pour la taille de la clé, mais limite la longueur de bloc à 128 bits. L'algorithme consiste en un ensemble d'étapes répétées un certain nombre de fois (rondes). Le nombre de rondes dépend de la taille de la clef et de la taille des blocs de données. Le nombre de rondes dans Rijndael est 10 pour une la clef de longueur 128 bits, 12 pour une clef de longueur 192 bits, et 14 pour une clef de longueur 256 bits.

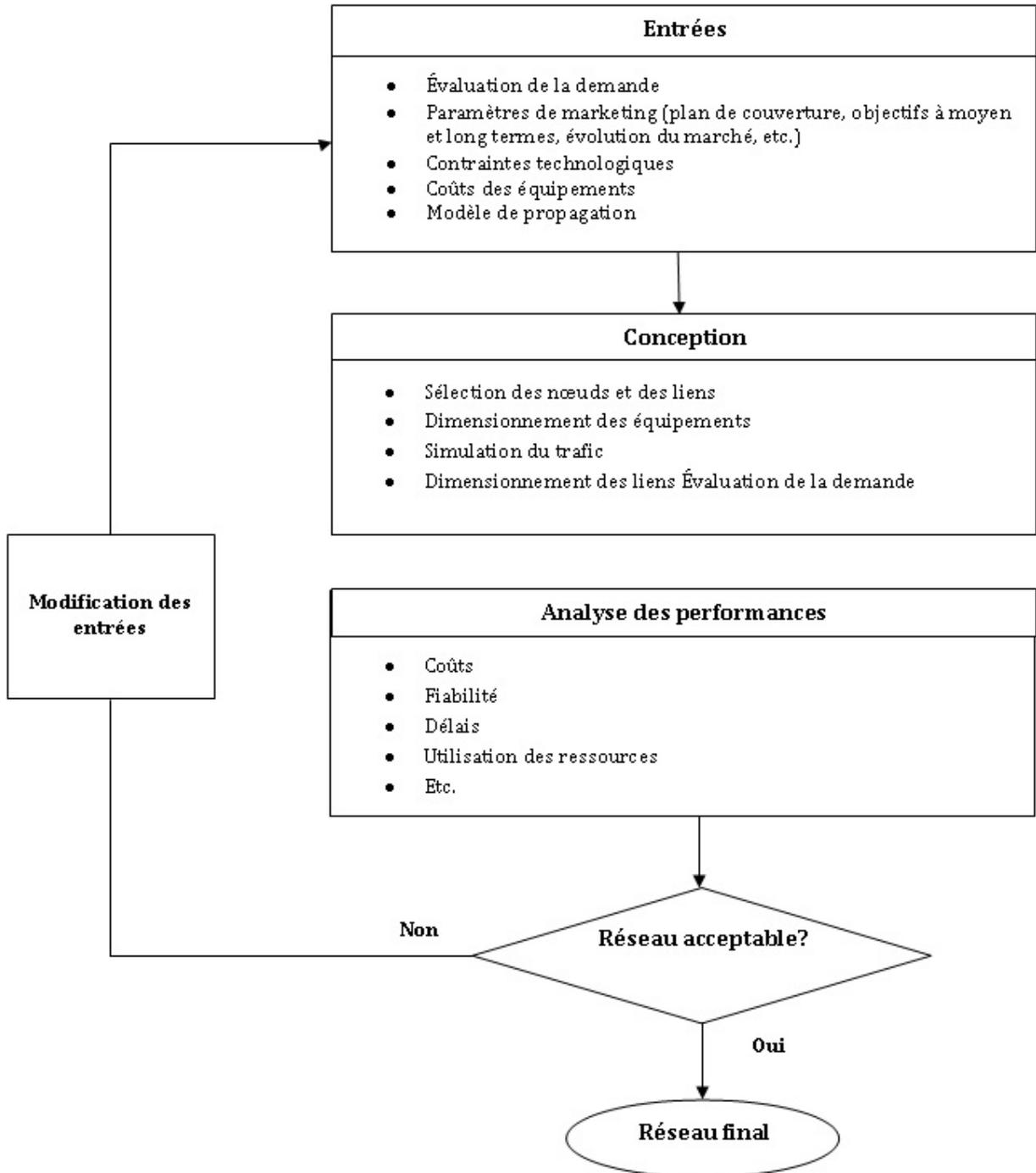
Les spécifications requises par l'IMT-Advanced pour les réseaux 4G sont représentées par le tableau suivant [17] :

Spécifications		IMT-Advanced		
		Liaison descendante	Liaison ascendante	
Efficacité spectrale par secteur (bits/s/Hz/secteur)	Intérieur	3	2.25	
	Microcellule	2.6	1.80	
	Couverture urbaine de base	2.2	1.4	
	Grande vitesse	1.1	0.7	
Efficacité spectrale aux limites de la cellule (bits/s/Hz)	Intérieur	0.1	0.07	
	Microcellule	0.075	0.05	
	Couverture urbaine de base	0.06	0.03	
	Grande vitesse	0.04	0.015	
Efficacité spectrale maximale (bits/s/Hz)		15	6.75	
Mobilité (bits/s/Hz)	Intérieur :		1.0	
	0 à 10 Km/h			
	Microcellule :		0.75	
	10 à 30 Km/h			
	Couverture urbaine de base :		0.55	
	30 à 120 Km/h			
Grande vitesse :			0.25	
	120 à 350 Km/h			
Largeur de bande (MHz)		Jusqu'à 40 MHz		
Latence (ms)	Plan de contrôle	100 ms		
	Plan utilisateur	10 ms		
Temps d'interruption pour la relève (ms)	Intra-fréquence	27.5 ms		
	Inter-fréquence (Intra-bande)	40 ms		
	Inter-fréquence (Inter-bande)		60 ms	
Capacité VoIP (utilisateurs actifs/secteur/MHz)	Intérieur	50		
	Microcellule	40		
	Couverture urbaine de base	40		
	Grande vitesse	30		

Tableau III.1. Spécifications requises par l'IMT-Advanced pour les réseaux 4G.

### III.3. Processus de planification des réseaux

Le processus de planification des réseaux mobiles s'effectue de façon itérative et comprend plusieurs phases. Ce processus est représenté par la Figure III.1.



**Figure III.2.** Processus de planification des réseaux [18].

Une première phase consiste en la collecte de données relatives au coût des équipements, de leur installation et surtout de leur maintenance. Cette phase permet

également d'évaluer la demande du trafic qui sera généré dans le réseau. Le choix de la technologie utilisée est effectué à cette étape, ainsi que la définition des contraintes d'utilisation qui doivent être prises en compte afin d'assurer une meilleure performance du réseau (fiabilité, délais de transmission, débit, etc.).

Ces données servent d'entrée pour la phase de conception (ou d'expansion) qui consiste en la détermination de la topologie du réseau, la sélection des liens et des nœuds nécessaires, etc. Il faut aussi paramétrer, localiser et positionner les antennes afin d'assurer une meilleure répartition des signaux à émettre. Par la suite, il faut tenir compte du modèle et de la quantité de trafic circulant dans le réseau pour faire le dimensionnement des liens.

Dans le cas des réseaux mobiles, le trafic entre les différents nœuds n'est pas connue à l'avance et il n'existe pas de formule mathématique pour la calculer. Il est donc souvent nécessaire d'utiliser un simulateur de trafic.

La planification des réseaux nécessite la prise en compte de certains facteurs fondamentaux. Les objectifs doivent être clairement définis. Ce sont :

- La zone de couverture,
- La distribution du trafic,
- le nombre estimé d'utilisateurs,
- la pénétration
- le taux de croissance de la demande.

Sur un plan plus technique, il faut tenir compte du choix des antennes, de leur orientation et de leur puissance, de la bande de fréquence utilisée ainsi que des canaux disponibles pour la transmission et de la configuration de la zone à couvrir (existence ou pas d'obstacles).

L'atténuation du signal dépend, non seulement de la distance entre la station émettrice et le récepteur, de la bande de fréquence utilisée, des effets environnementaux et de la morphologie de la zone de couverture.

La puissance et le type des équipements des utilisateurs devraient aussi être pris en compte pour le calcul de l'atténuation en sens inverse, i.e., de ces équipements vers la station

de base. Selon la capacité des équipements utilisés, le rapport minimum signal sur bruit (SNR) pour la réutilisation des canaux doit être défini.

### III.4. Méthodes de planifications utilisées

Il existe une grande variété de travaux effectués sur les réseaux 4G. Dans le domaine de la planification, les auteurs se sont plus intéressés à la planification du sous-système radio des réseaux WiMAX. Ces travaux concernent aussi bien la localisation des stations de base que la planification des canaux de fréquence.

Les méthodes utilisées dans la littérature pour résoudre le problème de planification des réseaux de télécommunications peuvent se classer en deux groupes : les méthodes exactes et les méthodes approchées.

#### III.4.1. Les méthodes exactes

Les méthodes exactes permettent non seulement d'obtenir la solution optimale au problème traité, mais aussi de prouver l'optimalité de la solution trouvée. Ces méthodes induisent des temps de traitement qui varient de façon exponentielle suivant la taille de l'instance, surtout lorsque le problème traité est complexe [19].

➤ ***Méthode d'énumération.***

Elle consiste tout simplement à énumérer toutes les solutions possibles du problème traité, de les évaluer et d'en sélectionner la meilleure. Cependant, le nombre de solutions évaluées par cette méthode évolue de façon exponentielle lorsque la taille des instances augmente.

➤ ***Procédure par séparation et évaluation***

Elle permet aussi d'énumérer les solutions possibles du problème, mais cela de façon plus intelligente que la méthode d'énumération. En pratique, seules les solutions potentiellement de bonne qualité seront explorées, les solutions qui sont détectées comme étant de moins bonne qualité que la solution courante ne sont pas visitées.

La distinction des solutions est effectuée grâce à certains critères définis selon la nature du problème, le critère le plus souvent utilisé étant la borne supérieure ou inférieure de la fonction objectif.

### III.4.2. Les méthodes approchées

Les heuristiques sont des algorithmes de résolution d'un problème mathématique bien défini, par une approche intuitive qui se base sur l'interprétation et l'exploitation de la structure du problème afin d'en déterminer une solution raisonnable [20]. On distingue :

➤ *méthode de construction progressive*

Elles sont basées sur des règles de décision et comprennent, entre autres, les algorithmes gloutons. Ces méthodes construisent une solution de proche en proche selon des règles prédéfinies et ne remettent pas en cause les décisions prises au cours des itérations précédentes. Elles ont pour avantage d'être simples à implémenter et requièrent peu de ressources, leur complexité est souvent très faible.

➤ *les métaheuristiques*

c'est un processus de génération itérative qui permet de guider une heuristique subordonnée par la combinaison de divers concepts tels que l'exploitation et l'exploration de l'espace de recherche, ainsi que des stratégies d'apprentissage qui sont utilisées pour structurer efficacement l'information afin de déterminer des solutions de 'bonne' qualité.

### III.4.3. Les méthodes hybrides

Les techniques de programmation mathématique et les approches métaheuristiques sont deux volets à succès pour les problèmes combinatoires. Ces deux techniques ont été mises en place par différentes communautés plus ou moins isolément les uns des autres. Seulement au cours des dernières années, un plus grand nombre de chercheurs ont reconnu les avantages et les potentialités de l'hybridation de méthodes de programmation mathématique. De nombreuses approches ont été proposées au cours des dernières années.

### III.4.4. L'optimisation multi-objectifs

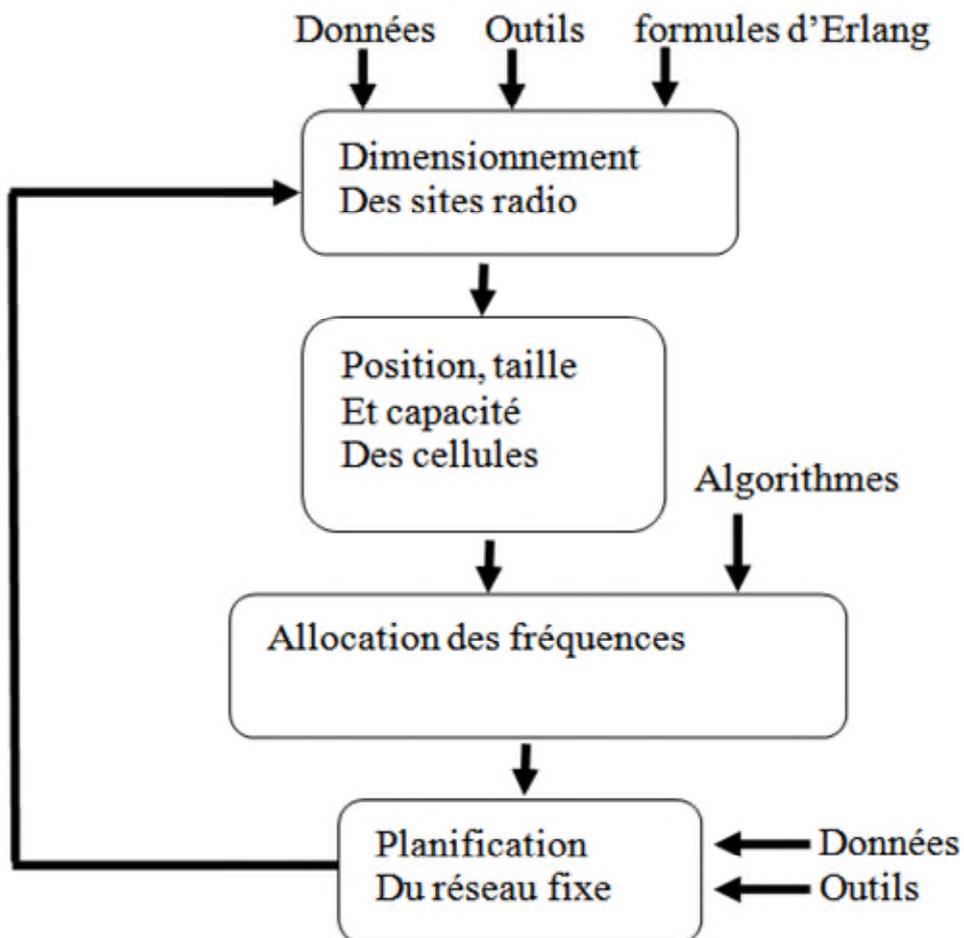
La plupart des problèmes de la vie réelle sont des problèmes d'optimisation multi-objectifs, i.e. qu'ils visent la satisfaction de plusieurs objectifs contradictoires. Aucun objectif

ne devrait être satisfait unilatéralement, au détriment des autres. Il faut donc trouver des solutions de compromis en tenant compte des préférences du décideur. De ce fait, il n'existe aucune définition précise de la solution optimale. Il s'agit alors de trouver un ensemble de solutions satisfaisantes qui ne se surclassent pas les unes par rapport aux autres, laissant ainsi le choix au décideur.

L'optimisation multi-objectifs consiste donc à déterminer un ensemble de vecteurs de variables de décision qui satisfont toutes les contraintes du problème et produit, pour chaque objectif, une valeur satisfaisante pour le décideur.

### III.5. Planification des réseaux 4G

La figure suivante représente le processus de planification cellulaire :



**Figure III.3.** Représentation simplifiée du processus de planification cellulaire

### III.5.1. Dimensionnement

Le dimensionnement d'un réseau 4G est un processus qui permet d'estimer, à partir des besoins et des exigences de l'opérateur, le nombre d'équipements nécessaires ainsi que leur configuration.

#### III.5.1.1. Dimensionnement du eNode B

Cette analyse vise à déterminer le nombre de  $M_{\max}$  nécessaires pour écouler le mélange de trafic. Il s'agit de :

##### 1) Capacité du eNode B :

La capacité du eNode B est donné par :

$$M_{\max} = \sum_i^N X_i M_{\max,i}$$

Avec :

- $X_i$  : la proportion du service  $i$  dans la cellule
- $M_{\max}$  : la capacité maximale du  $M_{\max}$  en termes de nombre d'utilisateurs par service.

##### 2) Détermination du nombre de $M_{\max}(i)$ nécessaire :

$$M_{\max}(i) = \left( \frac{1}{1+f} \right) \left( 1 + \frac{1}{CIR(i).v_i} \right)$$

Avec:

- $M_{\max}(i)$  : capacité sur le lien montant pour le service  $i$  par cellule
- $f$  : le facteur d'interférence  $f = I_{\text{oth}}/I_{\text{own}}$

Où :

- $I_{\text{oth}}$  : interférence généré par les terminaux situés dans des cellules voisines
- $I_{\text{own}}$  : interférence généré par les terminaux en connexion à la cellule de référence
- $v_i$  : facteur d'activité du service  $i$ , elle est de 67% pour les services vocaux et de 100% pour les services de transmission de données
- CIR : le rapport signal à interférence

$$CIR (i) = (E_b/N_0)_i / SF$$

Avec

- $(E_b/N_0)_i$  : la qualité de service à atteindre pour le service considéré. Elle varie en fonction de la mobilité de l'utilisateur et de la valeur du BLER

$E_b$  : l'énergie par bit donnée par  $E_b = S/R$  où ;

$S$  : l'énergie du signal utile

$R$  : Débit de l'information utile

$N_0$  : l'énergie du bruit par Hertz donnée par :

$$N_0 = N/B$$

Où  $N$  est l'énergie du bruit mesurée dans la bande  $B$ ,

On définit le gain de traitement (*Spreading Factor*) par:

$$SF = B/R \approx W/R$$

### III.5.2. Phase de planification

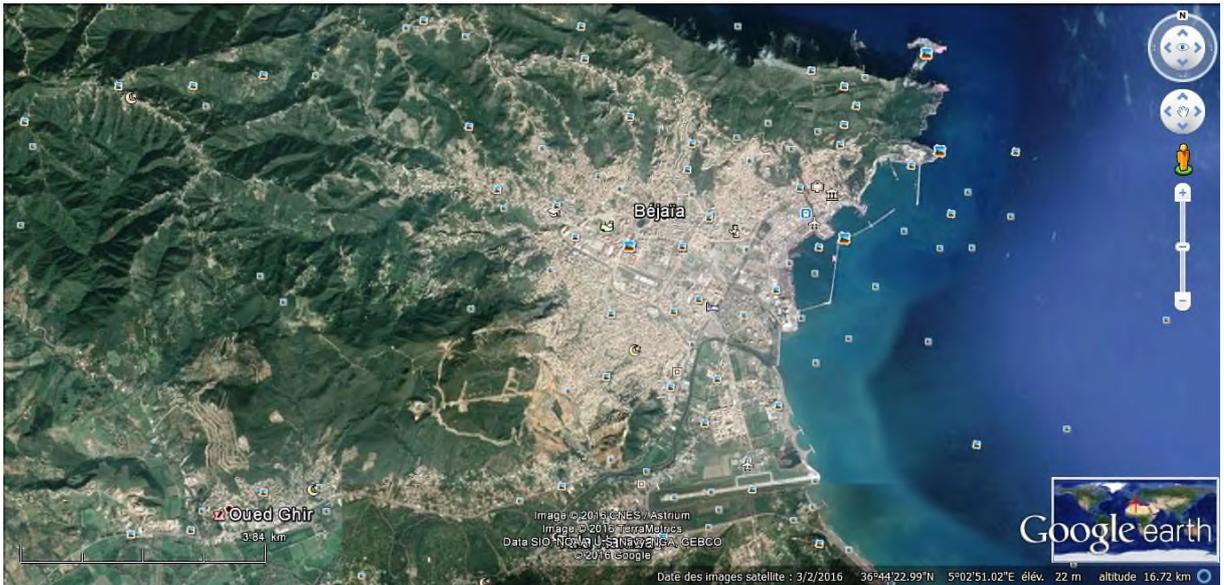
L'objectif de la planification est de déterminer le nombre minimal de sites requis pour assurer la couverture d'une zone bien déterminée en fonction des services offerts et du nombre d'abonnés en tenant compte des contraintes de qualité de service. Donc il faudrait atteindre le maximum de couverture avec une capacité optimale tout en maintenant le coût de déploiement le plus faible possible.

#### III.5.2.1. Paramètres Input

Plusieurs paramètres vont être introduits à l'outil tel que la zone géographique à planifier, les cartes morphologique et topographique, les différents paramètres des services, des utilisateurs, des sites, des secteurs, des cellules, de l'antenne. Ces paramètres ont été soit calculé soit trouver dans les documentations. Dans cette partie, nous allons présenter les différentes valeurs de ces paramètres.

##### III.5.2.1.1. Zone géographique à planifier

La figure suivante présente un aperçu de la zone à planifier, on va utiliser la carte de la ville de Bejaia qui couvre un peu plus que 45 km<sup>2</sup>.



**Figure III.4.** Carte de la ville de Bejaia .

#### **III.5.2.1.2. Carte de trafic**

La carte de trafic (*Traffic Map*) permet d'introduire les données sur le trafic 4G (LTE) au niveau de la zone à planifier. Il existe divers types de cartes de trafic. Dans notre étude, on définit une carte de trafic qui se base sur la densité de la population.

On considère trois types d'environnement : **Urban, Sub\_Urban, Rural.**

Chaque environnement a été introduit en limitant les zones par leurs coordonnées géographiques (altitude et latitude).

La carte de trafic obtenu est illustrée par la figure suivante :

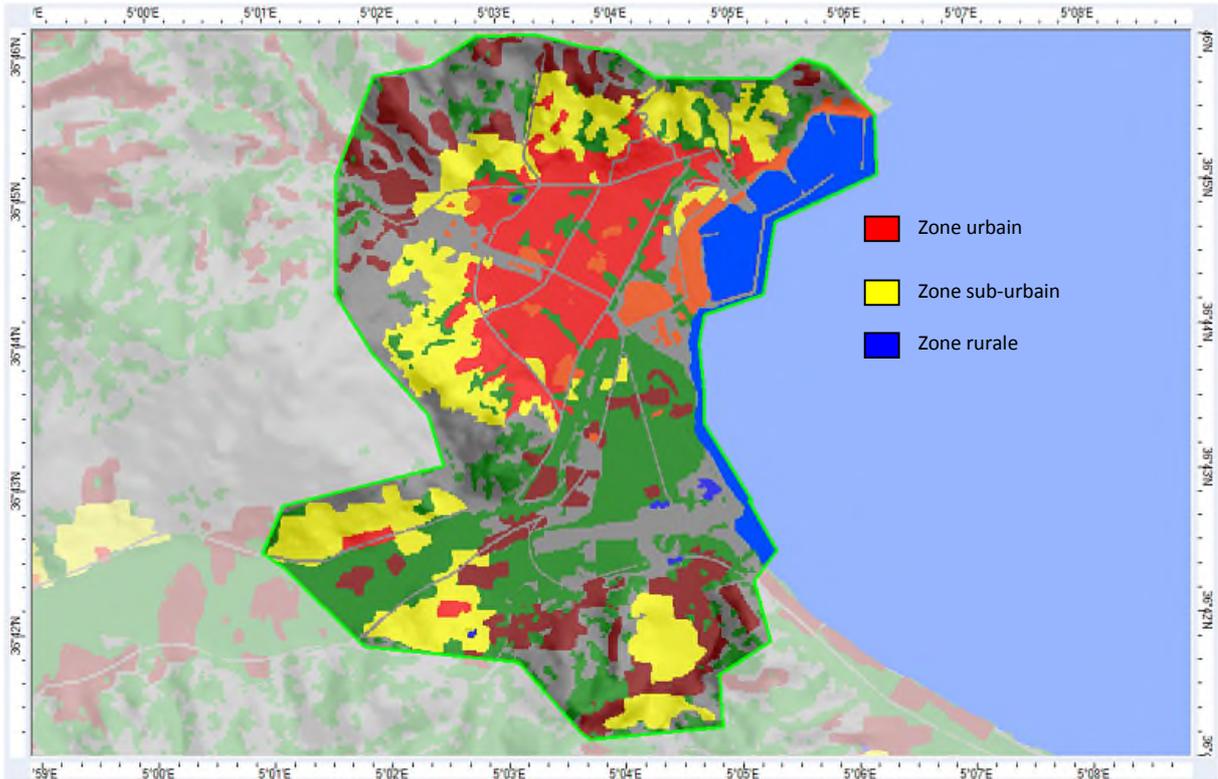


Figure III.5. Carte de trafic.

### III.5.2.2. Positionnement des sites

#### III.5.2.2.1. Distance intersites

Le choix de la distance intersites doit tenir en compte les facteurs de couverture et de soft handover. Une zone de chevauchement de 25% à 30% entre les surfaces de couvertures des sites voisins est nécessaire pour le processus du soft handover.

La figure suivante présente le positionnement de différents sites de la ville de Bejaia :



Figure III.6. Distribution des sites sur la ville de Bejaia.

Le tableau suivant présente les différents paramètres de sites urbains de la ville de Bejaia :

Nom du site	Latitude	Longitude	Hauteur d'antenne/ au sol (m)	Nom de l'émetteur	Azimut (°)	Tilt mécanique (°)
Urbain						
PLACE GUIDENT	36°47'48.30"N	5°52'45.50"E	23	1	0	0
				2	120	3
				3	240	0
LAKHMIS	36°48'13.80 ''N	5°52'41.70"E	20	1	345	0
				2	92	0
				3	224	0
TOUBAL	36°45'24.90"N	5°52'46.40"E	14	1	29	0
				2	136	-6
				3	270	0
DAOUADJI	36°45'05.06 "N	5°52'53.69"E	23	1	0	0
				2	120	0
				3	270	0
AAMRIW	36°48'26.60"N	5°52'53.40"E	20	1	58	0
				2	160	0
				3	283	0
CITE SGHIR	36°45'54.10 "N	5°52'26.40"E	25	1	60	0
				2	132	0
				3	248	0

EDIMCO	36°48'38.20 "N	5°53'27.90"E	40	1	346	0
				2	125	-4
				3	238	0
300 LOG	36°44'32.29"N	5°02'44.25"E	25	1	338	1
				2	83	1
				3	231	2
IGHIL OUZOUG	36°43'54.59 "N	5°03'07.96"E	32	1	43	0
				2	127	0
				3	270	0
GAR ROUTIERE	36°49'01.00 "N	5°52'44.90"E	35	1	341	0
				2	86	0
				3	235	6

**Tableau III.2.** Les différents paramètres de sites urbains de la ville de Bejaia

#### III.5.2.2.2. Distribution des sites sur la carte

La figure suivante présente les liaisons entre les sites urbains à la ville de Bejaia



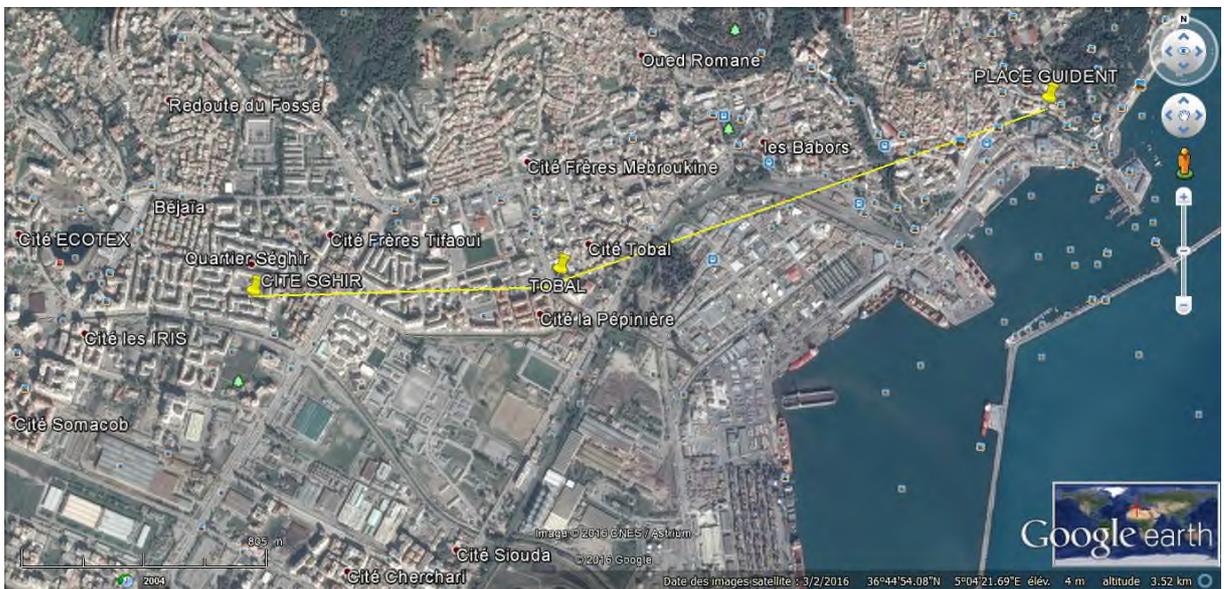
**Figure III.7.** Liaison entre les sites urbains à la ville de Bejaia.

### III.5.3. Bilan de liaison

Nous avons fait le bilan de liaison entre des points stratégiques de la ville. On prend l'exemple de trois liaisons à la ville de Bejaia :

- ✚ PLACE GUIDENT ⇔ TOBAL ⇔ CITE SGHIR
- ✚ LEKHMIS ⇔ GAR ROUTIERE
- ✚ AAMRIW ⇔ EDIMCO

La figure suivante présente la liaison : place guident ⇔ tobal ⇔ cite sghir



**Figure III.8.** Liaison : place guident ⇔ tobal ⇔ cité sghir.

La figure suivante présente les liaisons :

- ✚ AAMRIW ⇔ EDIMCO
- ✚ LEKHMIS ⇔ GAR ROUTIERE



**Figure III.9.** Liaisons : lekhmis  $\Rightarrow$  gar routiere ; aamriw  $\Rightarrow$  edimco [21].

Nous présentons dans ce qui suit les bilans de liaison simulés en « Pathloss » au niveau de la direction d'exploitation Djezzy :

	A06X004	A06S323
Elevation (m)	760.85	764.33
Latitude	36 45 54.10 N	36 45 24.90 N
Longitude	005 52 26.40 E	005 52 46.40 E
True azimuth (°)	150.23	330.23
Vertical angle (°)	0.19	-0.20
Antenna model	SC 2 - 380 A	SC 2 - 380 A
Antenna height (m)	22.00	22.00
Antenna gain (dBi)	45.40	45.40
Frequency (MHz)	38500.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	1.04	
Free space loss (dB)	124.49	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.13	
Field margin (dB)	1.00	
Net path loss (dB)	34.82	34.82
Radio model	38MPT128-076-S	38MPT128-076-S
TX power (watts)	1.00e-03	1.00e-03
TX power (dBm)	0.00	0.00
EIRP (dBm)	45.40	45.40
Emission designator	14M0D7W	14M0D7W
TX Channels	Ch1L 38073.0000V	Ch1H 39333.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-67.50	-67.50
RX signal (dBm)	-34.82	-34.82
Thermal fade margin (dB)	32.68	32.68
Geoclimatic factor	5.02E-05	
Path inclination (mr)	3.36	
Fade occurrence factor (Po)	1.87E-06	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	2.65e-03	2.65e-03
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.01	0.01
(% - sec)	100.00000 - 0.02	
0.01% rain rate (mm/hr)	48.00	
Flat fade margin - rain (dB)	32.68	
Rain attenuation (dB)	32.68	
Annual rain (%-sec)	99.99976 - 77.09	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99976 - 77.11	

Tableau III.3. Bilan de liaison entre CITE SGHIR et TOBAL

Où A06 : Wilaya de Bejaia

X004: site CITE SGHIR

S323: site TOBBAL

	A06X028	A06S323
Elevation (m)	760.10	764.33
Latitude	36 47 48.30 N	36 45 24.90 N
Longitude	005.52 45.50 E	005.52 46.40 E
True azimuth (°)	179.70	359.70
Vertical angle (°)	0.04	-0.07
Antenna model	SB 3 - 250C	SB 3 - 250C
Antenna height (m)	22.00	22.00
Antenna gain (dBi)	44.60	44.60
Circ. branching loss (dB)	1.80	1.80
Frequency (MHz)	25500.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	4.42	
Free space loss (dB)	133.50	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.58	
Field margin (dB)	1.00	
Net path loss (dB)	49.48	49.48
Radio model	26MPT064-132-S	26MPT064-132-S
TX power (watts)	0.03	0.03
TX power (dBm)	14.00	14.00
EIRP (dBm)	56.80	56.80
Emission designator	28M0D7W	28M0D7W
TX Channels	Ch1L 25347.0000V	Ch1H 26355.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-69.50	-69.50
RX signal (dBm)	-35.48	-35.48
Thermal fade margin (dB)	34.02	34.02
Geoclimatic factor	1.41E-05	
Path inclination (mr)	0.96	
Fade occurrence factor (Po)	2.07E-04	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	99.99999	99.99999
(sec)	0.22	0.22
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.88	0.88
(% - sec)	99.99999 - 1.77	
0.01% rain rate (mm/hr)	48.00	
Flat fade margin - rain (dB)	34.02	
Rain attenuation (dB)	34.02	
Annual rain (%-sec)	99.99712 - 907.46	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99712 - 909.23	

Tableau III.4. Bilan de liaison entre PLACE GUIDENT et TOBAL

**A06: Wilaya de Bejaia**

**X028: site cite PLACE GUEDENT**

	A06X016	A06X021
Elevation (m)	772.04	788.71
Latitude	36.48 13.80 N	36.49 01.00 N
Longitude	005 52 41.70 E	005 52 44.90 E
True azimuth (°)	3.24	183.24
Vertical angle (°)	-0.21	0.20
Antenna model	SC 2-250A	SC 2-250A
Antenna height (m)	12.00	12.00
Antenna gain (dBi)	42.30	42.30
Circ. branching loss (dB)	1.80	1.80
Frequency (MHz)	25500.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	1.48	
Free space loss (dB)	123.88	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.19	
Field margin (dB)	1.00	
Net path loss (dB)	44.05	44.05
Radio model	26MPT064~132~S	26MPT064~132~S
TX power (watts)	3.98e-03	3.98e-03
TX power (dBm)	6.00	6.00
EIRP (dBm)	46.50	46.50
Emission designator	28M0D7W	28M0D7W
TX Channels	Ch1L 25347.0000V	Ch1H 26355.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-69.50	-69.50
RX signal (dBm)	-38.05	-38.05
Thermal fade margin (dB)	31.45	31.45
Geoclimatic factor	1.41E-05	
Path inclination (mr)	3.66	
Fade occurrence factor (Po)	1.13E-06	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	2.14e-03	2.14e-03
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	8.72e-03	8.72e-03
(% - sec)	100.00000 - 0.02	
0.01% rain rate (mm/hr)	48.00	
Flat fade margin - rain (dB)	31.45	
Rain attenuation (dB)	31.45	
Annual rain (%-sec)	99.99990 - 32.65	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99990 - 32.67	

Tableau III.5. Bilan de liaison entre LEKHMIS et GAR ROUTIERE

**A06: Wilaya de Bejaia**

**X016: Site LEKHMIS**

**X021: site GAR ROUTIERE**

	A06B001	A06T005
Elevation (m)	767.24	765.54
Latitude	36 48 26.60 N	36 48 38.20 N
Longitude	005 52 53.40 E	005 53 27.90 E
True azimuth (°)	68.06	248.06
Vertical angle (°)	0.07	-0.08
Antenna model	SC 2 - 380 A	SC 2 - 380 A
Antenna height (m)	22.00	25.00
Antenna gain (dBi)	45.40	45.40
Frequency (MHz)	38500.00	
Polarization	Horizontal	
Path length (km)	0.98	
Free space loss (dB)	123.79	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.12	
Field margin (dB)	1.00	
Net path loss (dB)	34.11	34.11
Radio model	38MPT128~076~S	38MPT128~076~S
TX power (watts)	1.00e-03	1.00e-03
TX power (dBm)	0.00	0.00
EIRP (dBm)	45.40	45.40
Emission designator	14M0D7W	14M0D7W
TX Channels	Ch3H 39361.0000H	Ch3L 38101.0000H
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-67.50	-67.50
RX signal (dBm)	-34.11	-34.11
Thermal fade margin (dB)	33.39	33.39
Geoclimatic factor	5.02E-05	
Path inclination (mr)	1.36	
Fade occurrence factor (Po)	3.31E-06	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	3.99e-03	3.99e-03
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.02	0.02
(% - sec)	100.00000 - 0.03	
0.01% rain rate (mm/hr)	48.00	
Flat fade margin - rain (dB)	33.39	
Rain attenuation (dB)	33.39	
Annual rain (%-sec)	99.99967 - 102.88	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99967 - 102.91	

Tableau III.6. Bilan de liaison entre AAMRIW et EDIMCO

**A06: Wilaya de Bejaia**

**B001 : Site AAMRIW**

**T005 : Site EDIMCO**

### III.5.4. Commentaires

Les deux bilans de liaison sers a installé les équipements de transmission de la 4G pour couvrir une partie de la ville.

Selon la distance et la couverture entre les trois stations, on remarque :

- la fréquence varie selon la distance
- variation de la valeur du signal selon la distance.
- Nous pouvons conclure, vu le peu de moyens exploités en matière de données géographiques et techniques, que les résultats s'avèrent satisfaisants du point de vue planification.

### III.6. Conclusion

La planification des réseaux cellulaires est orientée par les réseaux de prochaine génération vers de nouvelles avenues de recherche. En effet, les tendances convergent de plus en plus vers une intégration transparente des technologies sans fil existantes, comme les systèmes GSM, LAN, Ad Hoc en un environnement totalement hétérogène.

Dans ce mémoire nous avons effectué en première partie le dimensionnement et la phase de planification du réseau 4G, ensuite nous avons fait deux bilans de liaison entre trois sites de la ville de Bejaia. Les résultats s'avèrent satisfaisants du point de vue planification.

Il faut signaler qu'on aurait pu avoir beaucoup plus d'application si l'accès aux données au niveau de la direction Algérie télécom nous a été permis.

Il serait donc intéressant pour les futures promotions de se pencher sur cet axe, de planification, en zone urbaine à forte densité de population.

## **Conclusion générale**

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

Nous avons commencé par une étude des généralités des réseaux cellulaires ; on a pu constater qu'ils ont été développés pour garantir de meilleure performance en particulier les Qualités de Services, tout ça en apportant de nouvelles applications, de nouveaux services, ainsi qu'une meilleure gestion.

La deuxième partie a été consacrée pour une étude détaillée du réseau 4G, les innovations apportés par rapport aux technologies précédentes, les caractéristique de l'architecture LTE ainsi que ses interfaces, aussi bien les canaux radio, les exigences LTE et les QOS offert.

Dans la troisième et la dernière partie, nous avons présenté les différentes méthodes de planifications ; avec une étude sur la couverture d'une zone urbaine à forte densité de population. Nous avons choisi la ville de Bejaia.

L'objectif principal de ce travail est de planifier un réseau 4G en cette zone urbaine, tout en tenant compte des paramètres qui sont les fréquences allouées, la distance entre les sites.

Nous avons effectué en première partie le dimensionnement et la phase de planification du réseau 4G ; ensuite, nous avons fait deux bilans de liaison entre trois sites de la ville de Bejaia. Les résultats s'avèrent satisfaisants du point de vue planification.

Nous souhaitons que ce travail soit amélioré par les futures promotions en utilisant les modèles de propagation pour ce type de dimensionnement.

## Références bibliographiques

---

## Bibliographies

- [1] ISOTALO, T, et LEMPIAINEN, J. (2010). Measurements on HSUPA with uplink diversity reception in indoor environment. European Wireless Conference (EW) 2010. IEEE, 523-527.
- [2] LEMAMOU Eunice Adjarath, (2014) Planification globale des réseaux mobiles de la quatrième génération (4G).
- [3] TOSKALA, A., HOLMA, H., PAJUKOSKI, K. et TIIROLA, E. (2006). UTRAN long term evolution in 3GPP. IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2006. IEEE, 1-5.
- [4] TONYE, E et EWOUSSAOUA, L, « Planification Et ingénierie Des Réseaux De Télécoms », mémoire pro 2 de télécommunication, Université de Yaounde I, 2011.
- [5] AJGOU, R, et ABDESSELAM, S, Evolution de réseau GSM (GPRS, EDGE).
- [6] George Lawton, “4G: Engineering versus Marketing”, <http://ComputingNow.computer.org>, MARCH 2011.
- [7] MERAH Hocine, Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA.
- [8] Hongguang Zhang, Mohammed Boutabia, Hang Nguyen, Lingnan Xia, “FIELD PERFORMANCE EVALUATION OF VOIP IN 4G TRIALS”, Institut Telecom SudParis, 978-1-61284-350-6, 2011.
- [9] Tarek BCHINI, “Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération”, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Juin 2010.
- [10] Nejd Ben Hamza, Slim Rekhis, Noureddine Boudriga; “Cooperative Architecture for QoS Management in Wireless 4G Networks”, Tunisia, 978-1-61284-691-1-0, PP\_559-564, 2011.

[11]Mohamad Salhani, “Modélisation et Simulation des Réseaux Mobiles de 4ème Génération”, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Octobre 2008.

[12]Stefan Parkvall, Eva Englund, Anders Furuskär, Erik Dahlman, Tomas Jönsson, AnthonyParavati, “LTE Evolution towards IMT-Advanced and Commercial NetworkPerformance”, Sweden, 978-1-4244-7006-8, PP\_151-155, 2010.

[13]AmitavaGhosh, RapeepatRatasuk, BishwarusMondal, NitinMangalvedhe, and TimThomas, Motorola Inc, “LTE-ADVANCED: NEXT-GENERATION WIRELESSBROADBAND TECHNOLOGY”, Wireless Communications, PP\_10-22, June 2010.

[14]Parsa Wireless Communications, « Survey of WiMAX, LTE, and UMB », 2007.

[15] YARALI, A. et RAHMAN, S. (2008). WiMAX broadband wireless access technology:services, architecture and deployment models. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (IEEE CCECE) 2008.IEEE, 77-82.

[16] Florence Sonnerat, Développement d'antennes innovantes pour lesterminaux mobiles 4G tenant compte de l'interactionavec l'utilisateur : solutions circuits et antennesenvisageables.

[17] ITU (2008). Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radioInterface. REPORT ITU-R M.2134.

[18]PILIOURAS, T. C. (2004). Network design: management and technical perspectives.CRC Press.

[19] BLUM, C., PUCHINGER, J., RAIDL, G. R. et ROLI, A. (2011). Hybrid metaheuristicsin combinatorial optimization: A survey. Applied Soft Computing, 11, 4135-4151.

[20] SILVER, E. A., VICTOR, R., VIDAL, V. et DE WERRA, D. (1980). A tutorial onheuristic methods. European Journal of Operational Research, 5, 153-162.

[21]Google earth.

## **Résumé**

Les réseaux 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), puis orientés vers le multimédia (3G). la 4G apporte une véritable augmentation du débit et permet l'interopérabilité avec les autres réseaux.

Nous avons procédé à la localisation des sites de la ville de Bejaia, en utilisant le réseau 4G, afin de faire un bilan de liaison entre deux liens distincts.

**Mot clef:**4G, LTE, WiMAX, UMB, QoS...

## **Abstract**

The mobile and wireless networks knew an unprecedented development, these last years. It is on one hand about the deployment of several successive generations of telecommunication networks essentially dedicated to the telephony (2G, then more directed to the multimedia (3G, the 4G of wireless networks brings a real increase of the debit (flow) and allows the interoperability with the other networks.

We proceeded to the localization of the sites of the town of Bejaia, in order to take stock of connection between two distinct bonds.

**Keyword:**4G, LTE, WiMAX, UMB, QoS...