

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la A Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERY DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'électronique

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Télécommunication et réseaux

Filière : Génie Electrique

Présenté par :

Mr. ZOUZOU Hakim

Mémoire dirigé par **Mr. ATTAF Y**

Thème

Les performances de la 4G dans la transmission de la voix sur IP

Mémoire soutenu devant le jury composé de :

Mr. LAZRI Mourad	Maitre de conférences A UMMTO Président
Mr. ATTAF Youcef	Maitre de conférences B UMMTO promoteur
Mr. ZENASNI Hocine	Maitre de conférences B UMMTO Examineur

Promotion 2016-2017

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord notre Dieu, le tout puissant, de m'avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur monsieur ATTAF YUCEF pour m'avoir guidé, pour ses efforts et pour tous les conseils qu'il m'a apportés durant la réalisation de ce projet.

J'exprime également mon vifs remerciements pour tous les enseignants de la faculté de génie électrique et informatique qui m'ont inspiré beaucoup et donné la majorité de leur temps pour que nous puisse profiter le mieux de la spécialité.

Je remercie vivement tous les membres du Jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce modeste travail.

Je tiens à remercier mes parents, ma famille, et mes amis pour leurs encouragements et leur soutien.

Enfin, je tiens à remercier toute personne qui m'a aidée de près ou de loin durant mon travail.

Liste des abréviations

1G	1^{ère} Génération De La Téléphonie Mobile
2G	2^{ème} Génération De La Téléphonie Mobile
3G	3^{ème} Génération De La Téléphonie Mobile
4G	4^{ème} Génération De La Téléphonie Mobile
5G	5^{ème} Génération De La Téléphonie Mobile

A

ATM	A synchronous T ransfer M ode
AUC	A uthentication C enter

B

BG	B order G ateway
BSC	B ase S tation C ontroller
BSS	B ase S tation S ub-system
BTS	B ase T ransceiver S tation

C

CDMA	C ode D ivision M ultiple A ccess
-------------	---

D

DHCP	D ynamic H ost C onfiguration P rotocol
DNS	D omain N ame S ystem

E

E1	E uropean D ebit élémentaire
EDGE	E nhanced D ata for G SM E volution

Liste des abréviations

EPC Evolved Packet Core

EPS Evolved Packet System

E

FDD Frequency Division Duplex

FDMA Frequency Division Multiple Access

G

GGSN Gateway GPRS Support Node

GMSC Gateway Mobile Switching Center

GSM Global System for Mobile Communication

GPRS General Packet Radio Service

GPS Global Positioning System

H

HLR Home Location Register

HSDPA High Speed Downlink Packet Access

HSS Home Subscriber Service

I

IP Internet Protocol

IMS IP Multimedia Sub-system

ITU International Telecommunication Union

L

LAN Local Area Network

LTE Long Term Evolution

Liste des abréviations

LTU **Line Terminal Unit**

M

MAC **Media Access Control**

MCU **Multipoint Control Unit**

MME **Mobility Management Entity**

MMU **Module Multiplex Unit**

MSC **Mobile Switching Center**

MMS **Multimedia Messaging Service**

N

NGN **Next Generation Network**

NMC **Network and Management Centre**

NSS **Name Service Switch**

NTT **Nippon Telegraph et Téléphone**

O

OFDMA **Orthogonal Frequency-Division Multiple Access**

OMC **Operations and Maintenance Center**

OSS **Opération Sub-System**

P

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

PC **Personal Computer**

PCM **Pulse Code Modulation**

PCRF **Policy and Charging Rules Function**

PDCP **Packet Data Convergence Protocol**

PDH **Plesiochronous Digital Hierarchy**

Liste des abréviations

PDN-GW	Packet Data Network GateWay
PDU	Protocol Data Unit
PFU	Power Filter Unit
P-GW	Packet-Switch GetWay
PLMN	Public Land Mobile Network
PS	Packet Service
PSDN	Public Switched Data Network
PSTN	Public Switched Telephone Network

Q

Q-AM	Quadrature Amplitude Modulation
Q-PSK	Quadrature Phase Shift Key

R

RBS	Radio Base Station
RCC	Radio Common Carrier
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RTCP	Real-time Transport Control Protocol
RTD	Round Trip Delay
RNC	Radio Network Controller
RNIS	Réseau Numérique Intégration de Services
RNS	Radio Network Subsystem

S

SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDP	Session Description Protocol
SDU	Service Data Unit

Liste des abréviations

SGSN **S**erving **G**PRS **S**upport **N**ode

S-GW **S**erving-**G**et**W**ay

SIP **S**ession **I**nitiation **P**rotocol)

SMS **S**hort **M**essage **S**ervice

SS7 **S**ignal **S**émaphore **7**

I

TCP **T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol

TDD **T**ime **D**ivision **D**uplex

TDMA **T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

TDM **T**ime **D**ivision **M**ultiplex

U

UAS **U**ser **A**gent **S**erver

UDP **U**ser **D**atagram **P**rotocol

UMTS **U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem

UTRAN **U**mts **T**ransport **A**ccess **N**etwork

V

VLAN **V**irtual **L**ocal **A**rea **N**etwork

VLR **V**isitor **L**ocation **R**egister

VOIP **V**oice **O**ver **I**P

W

W-CDMA **W**ide **B**and **D**ivision **C**ode **M**ultiple **A**ccess

WiFi **W**ireless **F**idelity

WIMAX **W**orldwide **I**nteroperability for **M**icrowave **A**ccess

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Evolution du GSM au GPRS	11
Tableau 1.2 : Différents Paramètres du LTE-Advanced.....	19
Tableau 3.1 : Les bandes de FDD	56
Tableau 3.2 : Les bandes de TDD.....	56
Tableau 3.3 : Capacité VoIP	66

Liste des figures

Figure 1.1 : Evolution du nombre d'abonnés mobiles à travers le monde.....	5
Figure 1.2 : Architecture du réseau GSM.....	6
Figure 1.3 : Architecture du réseau GPRS	9
Figure 1.4 : Schéma synoptique du système UMTS	13
Figure 1.5 : Architecture de l'UMTS	14
Figure 1.6 : Architecture du réseau d'accès	16
Figure 1.7 : Les types de Node B	16
Figure 1.8 : L'accès FDMA	18
Figure 1.9 : L'accès TDMA	18
Figure 1.10 : L'accès CDMA	18
Figure 1.11 : L'accès W-CDMA	19
Figure 2.1 : Architecture générale de la voix sur IP.....	26
Figure 2.2 : Protocole H.323	28
Figure 2.3 : Protocole SIP	32
Figure 3.1 : Présentation générale sur le système LTE	44
Figure 3.2 : Architecture générale du LTE.....	44
Figure 3.3 : Architecture d'EPS (Evolved Packet System).....	45
Figure 3.4 : Architecture du réseau cœur EPC	46
Figure 3.5 : Piles protocolaires des plans usager et de contrôle sur l'interface radio	53
Figure 3.6 : Piles protocolaires des interfaces radio en UMTS et en LTE.....	54
Figure 3.7 : La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio.....	55
Figure 3.8 : Schéma du principe du modulateur QPSK	58
Figure 3.9 : Les porteuses de l'OFDMA	60
Figure 3.10 : Emetteur SC-FDMA	61
Figure 3.11 : Récepteur SC-FDMA	62
Figure 3.12 : Similitude entre une chaine OFDMA et SC-FDMA	63
Figure 4.1 : Architecture du réseau VoIP à réaliser	70
Figure 4.2 : Configuration de la carte réseau	71
Figure 4.3 : Configuration Asterisk.....	72
Figure 4.4 : Ajout des extentions.....	73
Figure 4.5 : Configuration X-Lite	74

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre 1 : Généralités sur la téléphonie

1.1 Introduction	4
1.2 Historique	4
1.3 Les différentes normes téléphoniques	5
1.3.1 La première génération des téléphones mobiles (1G).....	5
1.3.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	5
1.3.2.1 Le réseau GSM.....	6
1.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5).....	9
1.3.3 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS).....	12
1.3.3.1 Définition de l'UMTS	12
1.3.3.2 Architecture des réseaux UMTS	13
1.3.3.3 Le réseau d'accès (UTRAN)	14
1.3.3.4 Architecture de l'UTRAN	15
1.3.3.5 Les techniques d'accès multiples	17
1.3.4 La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE).....	19
1.3.4.1 Définition des réseaux LTE.....	20
1.3.4.2 Historique sur la 4G	20
1.4 Conclusion.....	21

Chapitre 2 : La voix IP

2.1 Introduction	23
2.2 Présentation de la voix sur IP	23
2.2.1 Définition	23
2.2.2 Les différentes architectures d'un réseau VoIP	23
2.2.2.1 Ordinateur à ordinateur	23
2.2.2.2 Ordinateur à téléphone	24
2.2.2.3 Téléphone a téléphone	24
2.3 Les différents éléments pouvant composés un réseau VoIP	24
2.3.1 Le routeur	24

Sommaire

2.3.2 La passerelle	24
2.3.3 Le PABX-IP	25
2.3.4 Le switch	25
2.3.5 Le Gate Keeper	25
2.3.6 Le MCU	25
2.3.7 L'IP-Phone	25
2.3.8 Les Terminaux	26
2.4 Principe de fonctionnement	26
2.4.1 Numérisation	27
2.4.2 Compression	27
2.4.3 Décompression	27
2.5 Les principaux protocoles de la VoIP	27
2.5.1 Le protocole H323	28
2.5.1.1 Fonctionnement	29
2.5.1.2 La signalisation	29
2.5.1.3 Déroulement d'une communication H.323	30
2.5.1.4 Les avantages et les inconvénients de la technologie H.323	31
2.5.1.5 Conclusion sur H.323	31
2.5.2 Le protocole SIP	32
2.5.2.1 Description générale du protocole SIP	32
2.5.2.2 Principe de fonctionnement	33
2.5.2.3 Les avantages et les inconvénients	36
2.5.2.4 Conclusion sur SIP	37
2.5.3 Les protocoles de transport	37
2.5.3.1 Le protocole RTP	37
2.5.3.2 Le protocole RTCP	38
2.5.3.3 Le protocole TCP	39
2.5.3.4 Le protocole UDP	39
2.5.3.5 Les protocoles secondaires	39
2.6 Points forts et limites de la voix sur IP	40
2.7 Conclusion	40

Sommaire

Chapitre 3 : Etude détaillée des réseaux 4G

3.1	Introduction	43
3.2	LTE (4G)	43
3.3	Architecture LTE.....	44
3.3.1	EPC : Evolved Packet Core.....	45
3.3.1.1	La partie Signalisation.....	46
3.3.2	La partie radio Eutran.	48
3.3.3	La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)	49
3.4	Buts de la 4G.....	49
3.5	Les caractéristiques fondamentales de la 4G	50
3.5.1	Débits et fréquences du réseau 4G	50
3.5.2	Latence	51
3.5.3	Codage et sécurité	51
3.5.4	Multiplexage	52
3.5.5	Les modes FDD et TDD du LTE	52
3.5.6	L'architecture de l'interface radio	53
3.5.7	La mobilité	57
3.5.8	Modulation adaptative et codage	57
3.5.8.1	La modulation 16QAM	57
3.5.8.2	La modulation QPSK	58
3.5.9	Les types de transmission utilisée dans la 4 G	58
3.5.9.1	OFDMA	58
3.5.9.2	SC-FDMA	61
3.5.9.3	Principe de modulation SC-FDMA	61
3.5.9.4	Principe de la démodulation SC-FDMA	61
3.5.9.5	Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA	62
3.6	Les Performance des réseaux 4G	63
3.6.1	Une mobilité à toute épreuve	63
3.6.2	Des temps de réponse rapides	63
3.6.3	La voix sur IP	64
3.6.4	Débit sur l'interface radio	64
3.6.5	Connexion permanente	64

Sommaire

3.6.6 Délai pour la transmission de données	65
3.6.7 Co-existence et Interfonctionnement avec la 3G	65
3.6.8 Flexibilité dans l'usage de la bande	65
3.7 Exemple de Qualité de Service	65
3.7.1 Contraintes communes aux applications multimédia.....	65
3.7.2 La téléphonie sur IP	65
3.7.3 La vidéoconférence	66
3.8 Capacité d'appels voix	66
3.9 Conclusion	67

Chapitre 4 : Installation et configuration d'une voix IP basée sur l'outil

Asterisk

4.1 Introduction	69
4.2 Description de la plateforme	69
4.2.1 Eléments matériels	69
4.2.2 Eléments logiciels	69
4.3 Architecture du réseau VoIP déployé	70
4.4 Mise en place du serveur Asterisk et du client X-Lite	71
4.4.1 Configuration d'Asterisk	71
4.4.2 Installation et configuration du Client X-Lite	74
4.5 Conclusion	75

Conclusion générale.....	76
---------------------------------	-----------

Bibliographie

Introduction générale

Depuis son invention par Graham Bell à la fin du 19^{ème} siècle, la téléphonie classique, basée sur le principe du réseau commuté (une communication implique une continuité électrique de bout en bout), n'avait évolué que grâce aux avancées de l'électronique.

Mais c'est surtout la formidable évolution technologique qui s'est opérée ces deux dernières décennies qui, en consacrant l'utilisation des protocoles de communication par paquets (en fait ceux de l'internet) comme support des services de téléphonie, a complètement bouleversé le paysage du marché téléphonique. En effet, la commutation de paquet revient aujourd'hui beaucoup moins chère que la commutation de circuit : la compétition engendrée par la multiplication des équipementiers ont fait baisser les coûts des infrastructures de réseaux opérateurs télécom.

Ainsi beaucoup d'acteurs en téléphonie sous IP ont vu le jour et proposent des offres très intéressantes en termes de prix par rapport à la téléphonie traditionnelle fixe ou GSM.

L'idée de transmettre la voix par réseau internet est apparue dans les années 80. Depuis, la voix sur IP (VoIP : Voice over Internet Protocol) a connu un développement important. En effet, la généralisation de la technologie IP devrait permettre dans un avenir proche la mise en œuvre d'une téléphonie sur réseau internet, plus complémentaire que concurrente du réseau téléphonique classique par commutation. Les caractéristiques de la téléphonie IP telles que la possibilité d'une plus grande compression du signal de parole ou utilisation optimale du réseau grâce à la transmission de l'information par paquets, en font une application ambitieuse.

Toutefois, un matériel de téléphonie IP ne pourra s'imposer dans la mesure où la qualité de la parole reçue sera suffisante.

La voix sur IP ne se mesure pas à la capacité à établir une connexion vocale entre deux téléphones, mais peut offrir beaucoup de possibilités en ajoutant de nouveaux services à ceux habituellement fournis par le réseau téléphonique classique. L'idée est d'unifier les transports des informations, voix et/ou données, autour du protocole IP. Etant donné l'engouement actuel pour internet et les investissements des opérateurs et des fournisseurs d'accès, la téléphonie IP apparaît bien comme une alternative aux réseaux téléphoniques classiques.

Le développement des PABXs software, est la solution proposée par des fournisseurs tels que Cisco et Asterisk. Cette approche permet de bénéficier d'une grande flexibilité, d'une très bonne intégration au monde des données et de voix, et surtout d'un prix beaucoup plus intéressant.

Algérie Telecom est le leader sur le marché Algérien des télécommunications et connaît une forte croissance, offrant une gamme complète de service de voix et de données aux clients résidentiels et professionnels. Cette position s'est construite par une politique d'innovation forte adaptée aux attentes des clients et orientée vers les nouveaux usages. Algérie Telecom,

Introduction générale

est une société par action à capitaux publics opérant sur le marché des réseaux et services de communication électronique.

Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, relative à la restriction du secteur des postes et Télécommunications, qui sépare notamment les activités postale des celles des Télécommunications. Algérie Telecom est donc régie par cette loi qui lui confère le statut d'une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une société par actions (SPA). Entrée officiellement en activité à partir du 1^{er} janvier 2003, elle s'engage dans le monde des technologies de l'information et de la communication avec trois objectifs :

- Rentabilité
- Efficacité
- Qualité de service

Pour se faire, nous avons organisé ce modeste travail d'une façon suivante :

On commence par une introduction générale, le premier chapitre porte sur les généralités de la téléphonie, au deuxième chapitre nous avons traités la voix IP, Ainsi que le troisième chapitre qui porte sur la 4G en générale, une application est réalisée au quatrième chapitre.

On termine ce mémoire par une conclusion générale et une bibliographie.

Chapitre 1

Généralités sur la téléphonie

1.1 Introduction :

Le domaine de télécommunication mobile a connu un remarquable essor dans notre pays ces dernières années, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre) en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large, et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés. Les réseaux de la 1ere génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunication dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la seconde génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active de nos jours.

Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75. Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la seconde génération de norme permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation de WAP permettant d'accéder à internet, tant dit que pour la 3eme génération connus sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à internet et le transfert de données. En ce qui concerne la nouvelle génération 4G (LTE), déployer jusque-là que par quelque pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services.

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

1.2 Historique :

L'usage des services de communications mobiles a connu un essor remarquable, ces dernières années. La figure 1.1 illustre l'évolution du nombre d'abonnés mobiles au regard de la population mondiale. La fin 2012 environs de 6.4 milliards d'abonnés à travers le monde.

C'est véritablement un nouveau secteur de l'industrie mondiale qui s'est créé, regroupant notamment constructeurs de circuits électroniques, de terminaux mobiles, d'infrastructures de réseaux, développeurs d'applications et de services et opérateurs de réseaux mobiles.

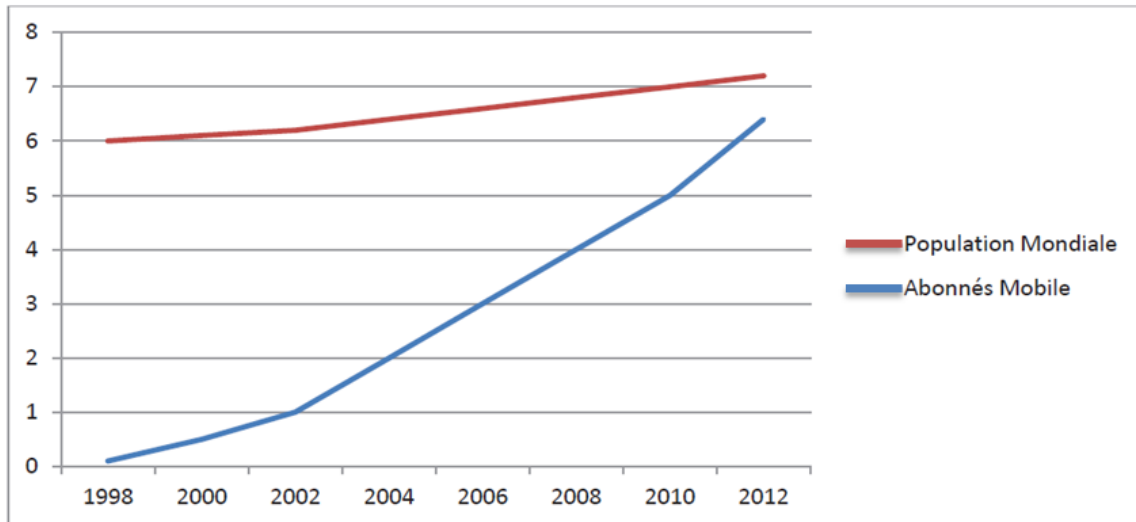


Figure 1.1 : Évolution du nombre d'abonnés mobiles à travers le monde [1].

1.3 Les différentes normes téléphoniques :

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

1.3.1 La première génération des téléphones mobiles (1G) :

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

1.3.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G) :

Le GSM est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des mini messages (SMS, limités à 80 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le

MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, dans ce concept, ils ont pensé à développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération.

1.3.2.1 Le réseau GSM :

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC. Réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. La figure 1.2 présente l'architecture du Réseau GSM.

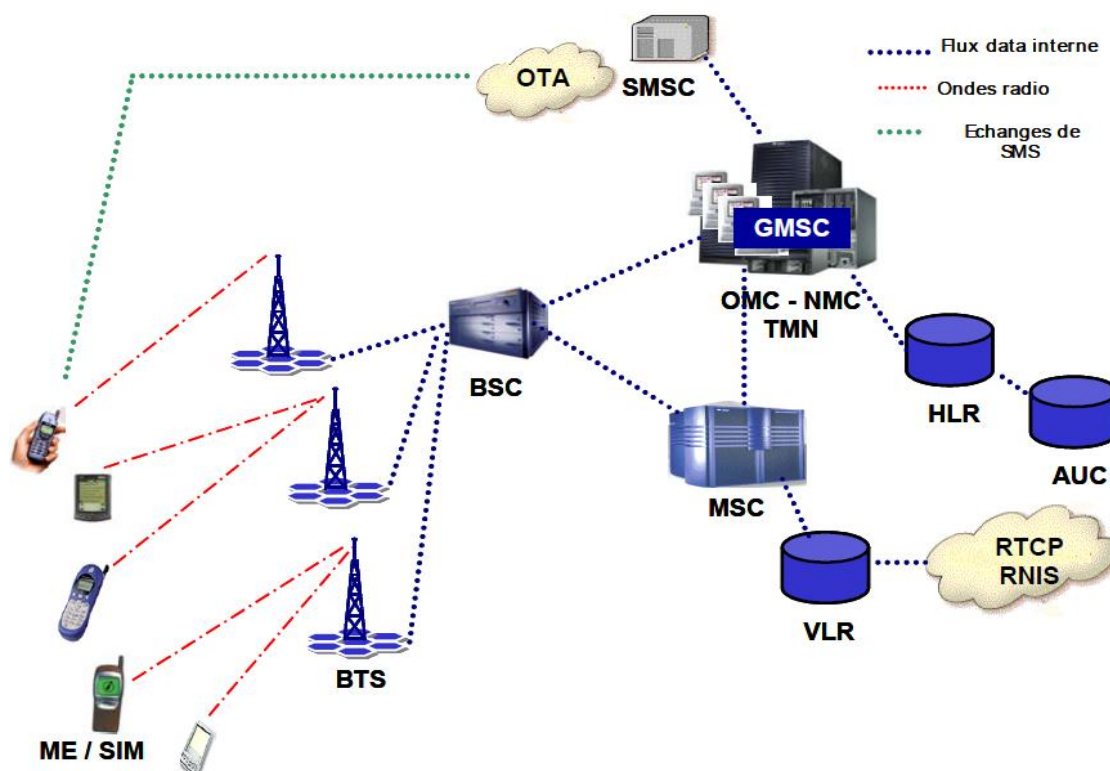


Figure 1.2 : Architecture du réseau GSM [1].

Ainsi le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

A. Le sous-système radio – BSS :

BSS pour base station sub-system, c'est un sous-système de l'architecture GSM qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio.

Le BSS comprend les BTS qui sont des émetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence et les BSC qui contrôlent un ensemble de BTS et permettent une première concentration des circuits.

B. Le sous-système d'acheminement – NSS :

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutations et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

Il se compose de plusieurs équipements, en citant quelques-uns :

- **Fonctions du HLR :**

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d'exploitation. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs.

Une base de données qui conserve des données statiques sur l'abonné et qui administre des données dynamiques sur le comportement de l'abonné.

Les informations sont ensuite exploitées par l'OMC. L'AUC est une base de données associée au HLR.

- **Fonctions du VLR :**

L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC. Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné visiteur.

- **Fonction du MSC :**

Les MSC sont des commutateurs de mobiles généralement associés aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Le MSC gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover si le MSC concerné est impliqué. (Le handover est un mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion d'une BTS vers une autre (handover inter BTS) ou, sur la même BTS d'un canal radio vers un autre (handover intra BTS). On parle de transfert automatique inter/intra cellule.

Le commutateur est un nœud important du réseau, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés. En connexion avec le VLR le MSC contribue à la gestion de la mobilité des abonnés (à la localisation des abonnés sur le réseau) mais aussi à la fourniture de toutes les télé services offerts par le réseau : voix, données, messageries... Le MSC peut également posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile.

- **Fonctions de l'AUC :**

Le centre d'authentification AUC (Authentication Center) mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications.

C. Le sous-système d'exploitation et de maintenance – OSS :

OSS (Opération Sub-System) permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

- **Présentation de l'OMC et du NMC :**

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

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

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

1.3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) :

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont but est de conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type "Data" à ses clients. Le GPRS est en mode paquets. La figure 1.3 présente l'architecture du réseau GPRS.

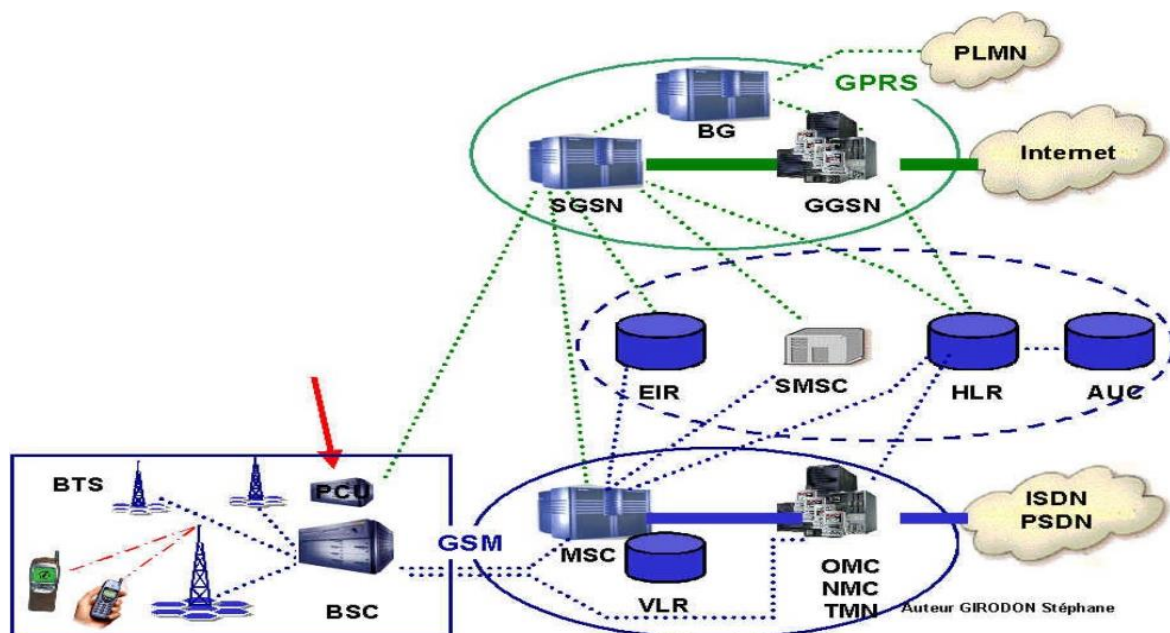


Figure 1.3 : Architecture du réseau GPRS [2].

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

A. Le nœud de service (SGSN) :

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

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

B. Le nœud de passerelle (GGSN) :

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

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

C. Le module BG pour la sécurité :

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

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

D. Les équipements GSM utilisés :

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

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

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

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

Le tableau 1.1 se compose de deux parties : la première partie présente les entités utilisées dans les deux réseaux GSM et GPRS et la deuxième partie présente les nouvelles entités ajoutées au réseau GSM ainsi de constituer le réseau GPRS.

Entités GSM/GPRS	Logiciel	Matériel
BTS	Extension requise	Aucun changement
BSC	Extension requise	Interface PCU
MSC/VLR	Extension requise	Aucun changement
HLR	Extension requise	Aucun changement
Nouvelles entités		
MS		Mobile station
SGSN		Serving GPRS Support Node
GGSN		Gateway GPRS Support Node
CGF		Charging Gateway Function
OMC-G		Operations And Maintenance Centre GPRS

Tableau 1.1 : Evolution du GSM au GPRS [1].

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

Deux protocoles sont alors utilisés :

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

❖ Le type de transmission dans le réseau GPRS :

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

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

1.3.3 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS) :

La troisième génération de la téléphonie mobile (3G) connue sous le nom UMTS à révolutionner le monde des télécommunications et des réseaux mobiles universels, en proposant de différentes gammes de services telles que la voix, l'envoi de données (internet).

En effet, l'objectif de cette technologie est d'apporter des améliorations aux différentes technologies existantes telles que, GSM, GPRS et EDGE afin d'optimiser la qualité de service rendue à l'abonné, cette amélioration est concentrée sur l'augmentation de débit (vitesse de transfert) en atteignant jusqu'à 2MB/s. Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

Ce standard est venu satisfaire le besoin et la demande exigeante des utilisateurs en termes de services offerts. En effet, les usagers de nos jours ne se contentent plus des services vocaux et aux SMS mais plutôt désirent accéder à l'information, quel que soit son type, n'importe où et n'importe quand, d'une manière rapide et efficace [3].

1.3.3.1 Définition de l'UMTS :

L'UMTS est l'un des principaux systèmes mobiles de troisième génération développé par l'ITU (International Télécommunication Union), elle représente l'une des technologies de la

téléphonie mobile qui ont succédées au GSM. Exploitant une large bande de fréquence de l'ordre de 5MHz et utilisant un protocole de transfert de données différent (service de paquet), elle offre la possibilité d'utiliser sur un téléphone mobile de nombreux services multimédias tels que la visiophonie, la télévision et internet, elle propose un débit supérieur à celui du GSM puisqu'il atteint 384 kbit/s dans sa première version et pourrait même atteindre jusqu'à 2 Mb/s dans le sens descendant (down Link).

La technologie UMTS assure la convergence entre les réseaux fixes et mobiles. En plus il offre un service de mobilité universelle, dépassant les limitations dues à la multiplicité des systèmes et des réseaux. Par conséquence, la couverture de l'UMTS sera mondiale [3].

1.3.3.2 Architecture des réseaux UMTS :

Le réseau UMTS diffère de celui du GSM, plus essentiellement au niveau de l'interface de transmission (W-CDMA au lieu du TDMA ou du FDMA) utilisée par le GSM. En effet, Le réseau propose une architecture et un découpage plus ouvert qui sépare les fonctions liées à la technologie d'accès appelée (UTRAN) de celles qui ne dépendent pas du mode d'accès, cette architecture a été établie par le consortium 3GPP, elle est divisée en 3 blocs principaux :

- Réseau d'accès radio (UTRAN).
- Réseau cœur (Core Network).
- l'équipement terminal (User Equipement).

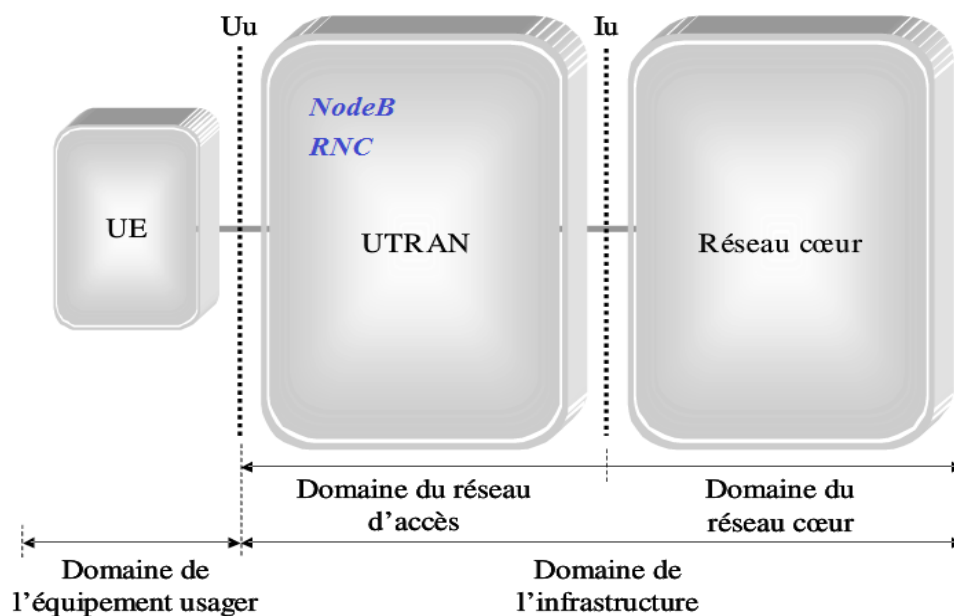


Figure 1.4 : Schéma synoptique du système UMTS [1].

En effet, chaque équipement doit réaliser une fonction bien déterminée dans le réseau, alors que des interfaces d'échange, notés par **Uu** et **Iu**, assurent les échanges et la communication entre les différentes entités du réseau.

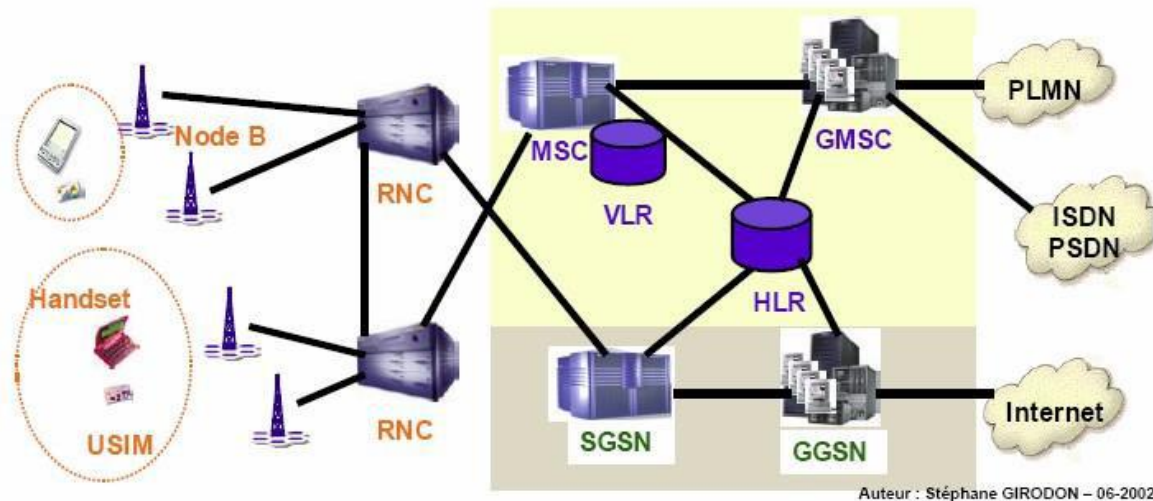


Figure 1.5 : Architecture de l'UMTS [3].

1.3.3.3 Le réseau d'accès (UTRAN) [3]:

Le réseau d'accès propose les fonctions permettant d'acheminer les informations (trafic de données et trafic de signalisation) depuis l'utilisateur jusqu'au réseau cœur. C'est l'UTRAN qui est utilisé pour ce domaine. Il fournit à l'équipement usager les ressources radio et les mécanismes nécessaires pour accéder au cœur du réseau. C'est la plus importante innovation apportée par l'UMTS.

L'UTRAN consiste deux éléments distincts :

- Le Node B convertit le flux de données entre les deux interfaces Iub et Uu. Il participe également dans la gestion des ressources Radio.
- RNC qui contrôle les ressources radio dans son domaine. Le RNC est le point d'accès pour tous les services UTRAN que fournit le CN, par exemple la gestion des connexions à l'UE.

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement usager

et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il est chargé d'effectuer d'autres fonctions comme :

- Sécurité : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.
- Mobilité : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.
- Gestion des ressources radio : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- Synchronisation : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.

1.3.3.4 Architecture de l'UTRAN :

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées Node B), des contrôleurs radio RNC (*Radio Network Controller*) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.

L'UTRAN comporte principalement des stations de base, qui sont appelées Node B, réparties sur l'ensemble du territoire et des contrôleurs de réseau radio (RNC). Le RNC fournit les fonctionnalités de contrôle et de passerelle (*gateway*) pour plusieurs Node B. Un Node B et un RNC peuvent être co-localisés dans le même équipement, même si la plupart des implantations comportent un RNC distinct situé dans un site central et qui sert de concentrateur pour le trafic de nombreux Node B répartis géographiquement. Qu'ils soient ou pas séparés physiquement, il y a une interface logique entre le RNC et les Nodes B, connue sous le nom de Iub. Le RNC et les Nodes B connectés sont appelés RNS « sous-système de réseau radio » (*Radio Network Subsystem*). Il peut y avoir plusieurs RNS (plusieurs RNC) présents dans un réseau UTRAN [4].

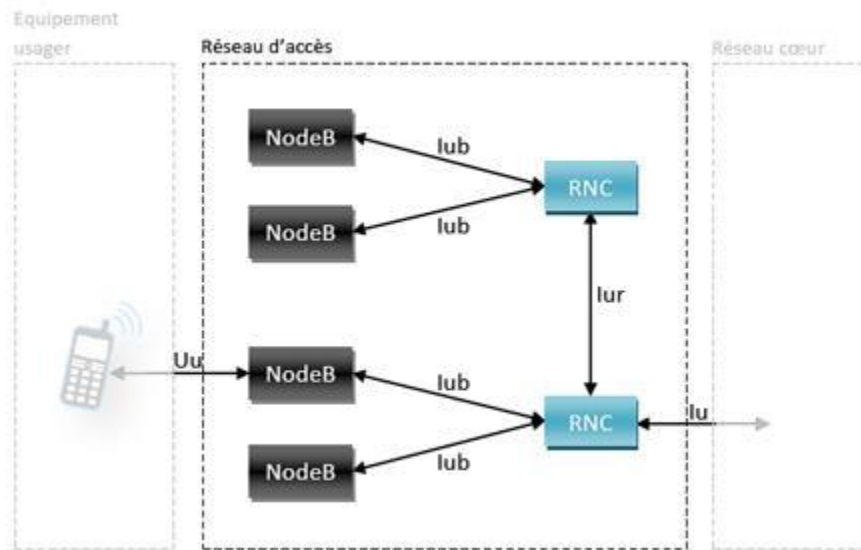


Figure 1.6 : Architecture du réseau d'accès [3].

Node B :

Le rôle principal du Node B est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules de l'UTRAN avec un équipement usager. Le Node B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Il régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement. Nous pouvons trouver deux types de Node B :

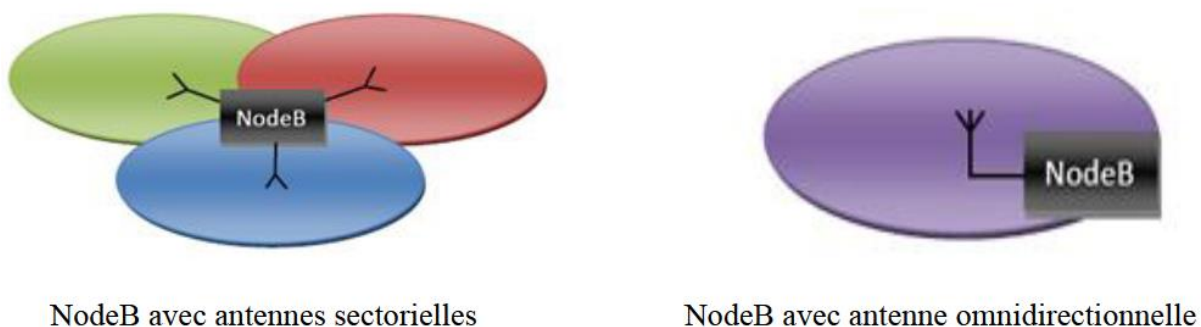


Figure 1.7 : Les types de Node B.

Le RNC :

Le RNC est un contrôleur de Node B c'est l'équivalent du BSC dans le réseau GSM, Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC pour définir les procédures de communication entre les 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 ...).

1.3.3.5 Les techniques d'accès multiples :

Afin d'accéder au réseau, on est obligé de partager les ressources radio existantes sachant que ces ressources sont très insuffisantes ce qui a poussé les différents organismes des télécommunications à se doter de différentes techniques d'accès qui permettront un partage idéal de ces ressources, parmi ces techniques on trouve :

❖ **FDMA (*Frequency Division Multiple Access*):**

Cette technique est utilisée dans la première génération de la téléphonie, elle consiste à attribuer pour chaque utilisateur une fréquence pour toute la durée de communication, cette fréquence ne pourra être utilisée par un autre utilisateur tant qu'elle est occupée par ce dernier, comme le montre la **Figure 1.8**.

❖ **TDMA (*Time Division Multiple Access*):**

Cette technique est une amélioration de FDMA, elle est utilisée dans le système GSM, elle offre la possibilité de partager la bande de fréquence par plusieurs usagers en attribuant un intervalle de temps (appelé time slot) à chaque utilisateur comme le montre la **Figure 1.9**.

❖ **CDMA (*Code Division Multiple Access*):**

La technique CDMA constitue une méthode d'accès où tous les utilisateurs partagent la même bande au même instant en attribuant à chaque utilisateur un code unique qui détermine les fréquences et la puissance utilisées, on a présenté cette technique dans la **Figure 1.10**.

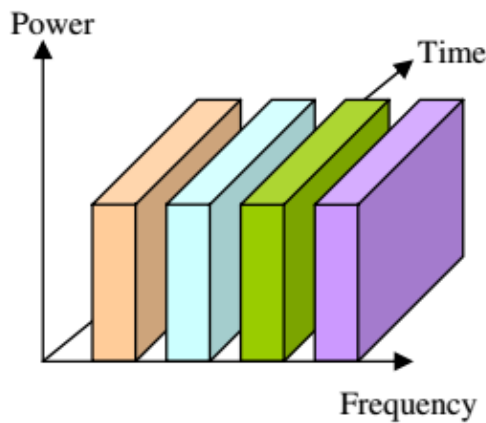


Figure 1.8 : L'accès FDMA [3].

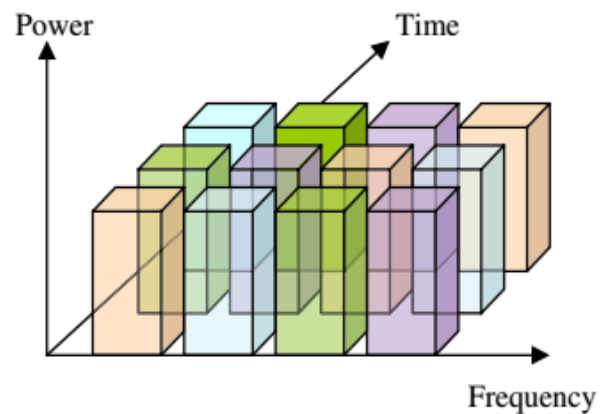


Figure 1.9 : L'accès TDMA [3].

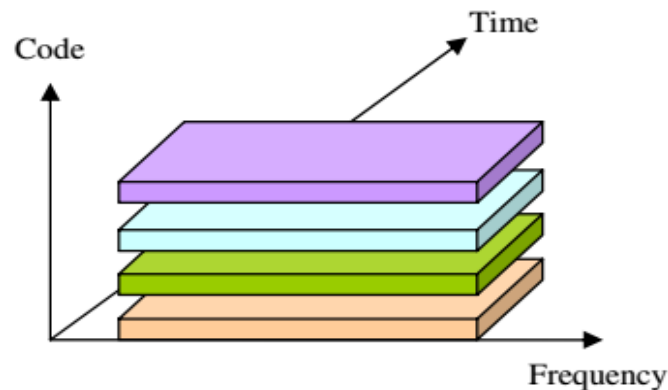


Figure 1.10 : L'accès CDMA [3].

❖ W-CDMA (*Wideband-Code Division Multiple Access*) :

Elle représente la même technique que CDMA, en utilisant une bande plus large de 5 MHz, elle est basée sur le processus d'étalement de spectre, ses améliorations par rapport aux précédentes techniques c'est qu'elle permet de réutiliser les mêmes fréquences aux niveaux de toutes les cellules et l'exploitation de multiples trajets et des débits plus rapides grâce aux différents multiplexages utilisés par cette technique et parmi ces techniques on trouve :

- **Le TDD** : dans ce type de multiplexage une seule fréquence est utilisée pour la voie montante et la voie descendante, il est utilisé en cas où le spectre n'est disponible qu'en quantité limitées.

- **Le FDD** : permet l'échange de données entre le réseau et le mobile (envoi et réception des données) simultanément, car il attribue pour chaque voie une fréquence, il est mieux adapté pour les macro-cellules.

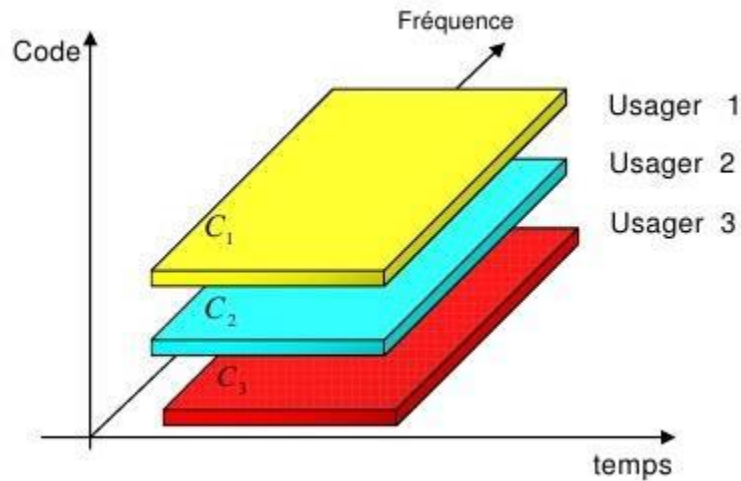


Figure 1.11 : L'accès W-CDMA [5].

1.3.4 La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE) :

La norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, comme le résume le tableau suivant :

		LTE	LTE-advanced
Débits crêtes maximums	DownLink	300 Mb/s	1 Gb/s
	UpLink	75 Mb/s	500 Mb/s
Bandes de fréquence		1.4 à 20 MHz	100 Mhz
Latence	Données	10 ms	10ms (RTT)
	Session	100 ms	50ms
Efficacité spectrale DL/UL	Max	5.0/2.5 b/s/Hz	30/15 b/s/Hz
	Moyen	1.8/0.8 b/s/Hz	2.6/0.2 b/s/Hz
	En limite	0.04/0.02 b/s/Hz	0.009/0.07 b/s/Hz

Tableau 1.2 : Différents Paramètres du LTE-Advanced [1].

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.

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

1.3.4.1 Définition des réseaux LTE :

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

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

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

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

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

1.3.4.2 Historique sur la 4G :

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

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

La société japonaise NTT DoCoMo (Nippon Telegraph et Téléphone) a testé, en Février 2007, un prototype de communication 4G système MIMO 4x4 appelé VSF-OFCDM à 100 Mbit/s tout en se déplaçant, et 1 Gbit/s à l'arrêt. Un an plus tard, le commissaire européen Viviane Reding a proposé de réaffecter des 500-800 MHz pour les communications sans fil.

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

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

Le 25 Février 2010, l'Estonie a ouvert EMT LTE "4G" travail en réseau dans le régime d'essai. Le 5 Juin 2010, Sprint Nextel a publié le premier Smartphone 4G, l'Evo HTC 4G. En Juillet 2010, MTS Ouzbékistan à Tachkent déployé LTE. Le 25 août 2010, la Lettonie a ouvert LMT LTE "4G" travail en réseau dans le régime d'essai de 50% du territoire [1].

1.4 Conclusion :

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

Ainsi, la mise en œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'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 GPRS constitue une évolution majeure vers la troisième génération (UMTS). Il est conçu pour la transmission de données en mode paquet pour assurer l'accès simple au réseau Internet.

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

Chapitre 2

La voix IP

2.1 Introduction :

La VoIP, ou Voice Over IP en anglais, est une technique qui permet le transport de la voix via la technologie IP à travers internet ou tout autre réseau acceptant le protocole TCP/IP.

La voix sur IP constitue actuellement l'évolution la plus importante du domaine des télécommunications. Avant 1970, la transmission de la voix s'effectuait de façon analogique sur des réseaux dédiés à la téléphonie. La technologie utilisée était la technologie électromécanique (Crossbar). Dans les années 80, une première évolution majeure a été le passage à la transmission numérique (TDM). La transmission de la voix sur les réseaux informatiques à commutation de paquets IP constitue aujourd'hui une nouvelle évolution majeure comparable aux précédentes.

La migration des entreprises vers ce genre de technologie n'est pas pour rien. Le but est principalement est de : minimiser le coût des communications ; utiliser le même réseau pour offrir des services de données, de voix, et d'images ; et simplifier les coûts de configuration et d'assistance.

Grace à la VoIP, il est possible d'émettre et de recevoir les messages vocaux, les emails, le fax, se créer un répondeur automatique, d'assister à une conférence audio et / ou vidéo etc.

L'objectif de ce chapitre est l'étude de cette technologie et de ses différents aspects. On parlera en détail de l'architecture de la VoIP, ses éléments et son principe de fonctionnement.

2.2 Présentation de la voix sur IP :

2.2.1 Définition :

VoIP signifie Voice over Internet Protocol ou Voix sur IP. Comme son nom l'indique, la VoIP permet de transmettre des sons (en particulier la voix) dans des paquets IP circulant sur Internet. La VoIP peut utiliser du matériel d'accélération pour réaliser ce but et peut aussi être utilisée en environnement de PC [6].

2.2.2 Les différentes architectures d'un réseau VoIP :

2.2.2.1 Ordinateur à ordinateur :

Les deux correspondants utilisent un PC rattaché au réseau Internet par l'intermédiaire d'un fournisseur d'accès Internet. Cette technique nécessite des participants à la

communication d'avoir un PC muni d'un modem, d'une carte réseau, d'un microphone, d'un haut-parleur et d'un logiciel de téléphonie IP compatible de chaque côté.

2.2.2.2 Ordinateur à téléphone :

Dans ce scénario, l'un des correspondants utilise un PC rattaché au réseau Internet par un fournisseur d'accès Internet, l'autre correspondant utilise un téléphone rattaché au réseau téléphonique.

Une passerelle est nécessaire entre les deux pour rendre possible cette technique et faire la conversion entre réseaux

2.2.2.3 Téléphone a téléphone :

Chaque des deux téléphones doit être accordé à une passerelle pour leur permettre de communiquer sur réseau IP.

2.3 Les différents éléments pouvant composés un réseau VoIP [6], [7] :

La figure 2.1 décrit, de façon générale, la topologie d'un réseau de téléphonie IP.

Elle comprend toujours des terminaux, un serveur de communication et une passerelle vers les autres réseaux. Chaque norme a ensuite ses propres caractéristiques pour garantir une plus ou moins grande qualité de service. L'intelligence du réseau est aussi déportée soit sur les terminaux, soit sur les passerelles / contrôleur de commutation, appelées Gatekeeper. On retrouve les éléments communs suivants :

2.3.1 Le routeur :

Permet d'aiguiller les données et le routage des paquets entre deux réseaux.

Certains routeurs permettent de simuler un Gatekeeper grâce à l'ajout de cartes spécialisées supportant les protocoles VoIP.

2.3.2 La passerelle :

Permet d'interfacer le réseau commuté et le réseau IP.

2.3.3 Le PABX-IP :

Est le commutateur du réseau téléphonique classique. Il permet de faire le lien entre la passerelle ou le routeur, et le réseau téléphonique commuté (RTC). Toutefois, si tout le réseau devient IP, ce matériel devient obsolète.

2.3.4 Le switch :

Il assure la distribution et la communication de dizaines de port Ethernet a 10/100 voire 1000Mbps/s. suivant les modèles, il peut intégrer la télé alimentation des ports Ethernet a la norme 802.3f pour l'alimentation des IP- phones ou des bornes Wifi en 48V.

2.3.5 Le Gate Keeper :

Il effectue les translations d'adresses et gère la bande passante et les droits d'accès. C'est le pont de passage obligé pour tous les équipements de sa zone d'action.

2.3.6 Le MCU :

Le MCU (multi conférence unit) est un élément optionnel et gère les conférences audio vidéo.

2.3.7 L'IP-Phone :

C'est un terminal téléphonique fonctionnant sur le réseau LAN IP avec une norme soit propriétaire, soit SIP, soit H.323. Il peut y avoir plusieurs codecs pour l'audio, et il peut disposer d'un écran monochrome ou couleur, et d'une ou plusieurs touches soit programmables, soit préprogrammées.

Il est général doté d'un hub passif à un seul pouvoir alimenter le PC de l'utilisateur (L'IP PHONE se raccorde sur la seule prise Ethernet mural et le PC se raccorde derrière l'IP PHONE).

On peut utiliser un Soft-Phone qui est logiciel qui assure toutes les fonctions téléphoniques et qui utilise la carte son et le micro du PC de l'utilisateur, et aussi la carte Ethernet du PC. Il est géré soit par le Call Manager, soit par le PABX-IP.

2.3.8 Les Terminaux :

Sont généralement de type logiciel (software phone) ou matériel (hardphone), le softphone est installé dans le PC de l'utilisateur. L'interface audio peut être un microphone et des haut-parleurs branchés sur la carte son, même si un casque est recommandé. Pour une meilleure clarté, un téléphone USB ou Bluetooth peut être utilisé.

Le hardphone est un téléphone IP qui utilise la technologie de la Voix sur IP pour permettre des appels téléphoniques sur un réseau IP tel que l'Internet au lieu de l'ordinaire système PSTN. Les appels peuvent parcourir par le réseau internet comme par un réseau privé.

Un terminal utilise des protocoles comme le SIP (Session Initiation Protocol) ou l'un des protocoles propriétaire tel que celui utilisée par Skype.

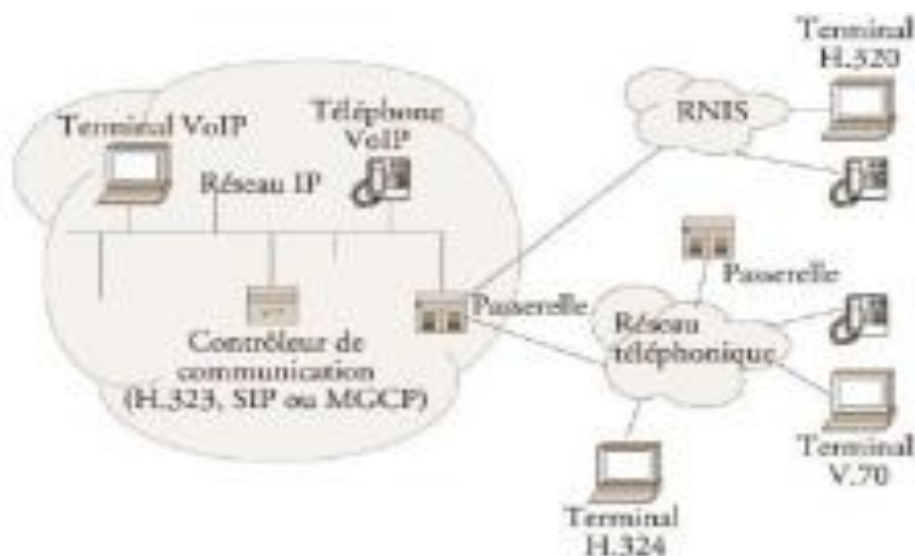


Figure 2.1 : Architecture générale de la voix sur IP [6].

2.4 Principe de fonctionnement :

La voix sur IP caractérise l'encapsulation d'un signal audio numérique (la voix) au sein de protocole IP. Cette encapsulation permet de transporter la voix sur tout le réseau compatible

TCP/IP. Le transport de la voix sur un réseau IP nécessite au préalable sa numérisation. Il convient alors de récapituler les étapes nécessaires à la numérisation de la voix avant d'entrer dans les détails de la VoIP [7].

2.4.1 Numérisation :

Les signaux de la voix (analogiques) doivent d'abord être convertis sous forme Numérique suivant le format PCM (Pulse Code Modulation) à 64Kbits/s. La modulation d'impulsion codée est une technique d'échantillonnage quantifiée sur une série de symboles dans un code numérique (binaire).

2.4.2 Compression :

Lors de la numérisation, le codage PCM se contente de mesurer des échantillons indépendamment des uns des autres. Un échantillon du signal n'est pas isolé, mais corrélé avec d'autres (précédent ou suivant) En tenant compte des informations, il est possible de prévoir la valeur du nouvel échantillon et donc de ne transmettre qu'une partie de l'information. C'est ce qu'on appelle la prédiction. Cela permet de réduire la taille du paquet pour optimiser la bande passante.

Il existe deux grands types de compression : le codage différentiel et le codage par synthèse.

2.4.3 Décompression :

Coté réception, les informations reçues sont décompressées il est nécessaire pour cela d'utiliser le même codec que pour la compression puis reconvertir dans le format approprié pour le destinataire (analogique, PCM 64Kbps, etc.).

2.5 Les principaux protocoles de la VoIP : [7]

Le respect de contraintes temporelles est le facteur le plus important lorsque l'on souhaite transporter la voix. Il faut aussi penser à implémenter un mécanisme de signalisation pour assurer la connexion entre les utilisateurs.

Plusieurs protocoles de VOIP ont vu le jour, les deux protocoles les plus utilisés sont H323 et SIP.

Le protocole H.323 a été élaboré dans le milieu des télécommunications à l'inverse du protocole SIP qui a été développé dans le milieu informatique.

2.5.1 Le protocole H323 : [7]

Ce fut en 1996 la naissance de la première version du protocole permettant le transport de la voix sur IP appelés H.323. Issu de l'organisation de standardisation européenne ITU-T sur la base de signalisation voix RNIS. Ce standard regroupe un ensemble de protocoles de communication intégrant la voix, l'image et les données sur le même réseau de transport de type IP.

Plus qu'un protocole H323 ressemble davantage à une association de plusieurs protocoles différents et qui peuvent être regroupés en trois catégories : la signalisation, La négociation de codec, et le transport de l'information.

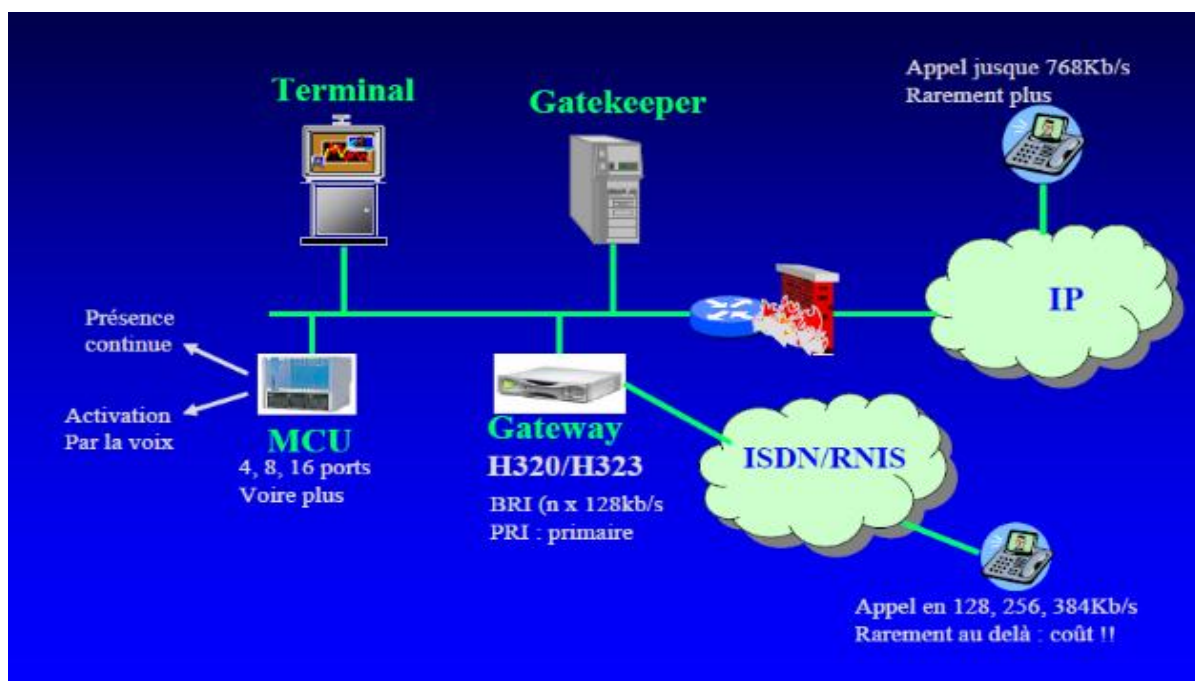


Figure 2.2 : Protocole H.323 [8].

2.5.1.1 Fonctionnement :

Le protocole H.323 est utilisé pour l'interactivité en temps, notamment la visioconférence (signalisation, enregistrement, contrôle d'admission, transport et encodage).

Il s'inspire du protocole H.323 est une adaptation de H.320 qui proposait une solution pour la visioconférence sur un réseau RNIS, donc H.323 est adaptation de H.320 pour les réseaux IP.

2.5.1.2 La signalisation :

A. Objectifs de la signalisation :

La signalisation a pour objectif de réaliser les fonctions suivantes :

- **Recherche et traduction d'adresses :**

Sur la base du numéro de téléphone du destinataire, il s'agit de trouver son adresse IP ou l'adresse IP de la passerelle desservant le destinataire. Cette fonction est prise en charge par le Gatekeeper. Elle est effectuée soit localement soit par requête vers un annuaire centralisé.

- **Contrôle d'appel :**

L'équipement terminal (ou une passerelle) situé à l'origine de l'appel établit une connexion avec l'équipement de destination et échange avec lui les informations nécessaires à l'établissement de l'appel. Dans le cas d'une passerelle, cette fonction implique également de supporter la signalisation propre à l'équipement téléphonique à la quelle est raccordée et de traduire cette signalisation dans le format défini .323. Le contrôle d'appel est pris en charge soit par les équipements terminaux soit par le Gatekeeper. Dans ce cas, tous les messages de signalisation sont via le Gatekeeper.

B. Les protocoles de signalisation dans le cadre de H.323 :

Trois protocoles de signalisation sont spécifiés dans le cadre de H.323 à savoir :

- **RAS (Registration, Admission and Status):**

Ce protocole est utilisé pour communiquer avec un Gatekeeper. Il sert notamment aux équipements terminaux pour découvrir l'existence d'un Gatekeeper et s'enregistrer auprès de ce dernier ainsi que pour les demandes de traduction d'adresse. La signalisation RAS utilise des messages .225.0.6 transmis sur un protocole de transport non fiable comme UDP.

- **Q.931 :**

H.323 utilise Q.931 (version simplifiée de signalisation RNIS) pour l'établissement et le contrôle d'appels téléphoniques sur IP.

- **H.245 :**

Ce protocole est utilisé pour l'échange de capacités entre deux équipements terminaux. Par exemple le type de codec à activer. Il peut également servir à mesurer le RTD (Round Trip Delay) d'une communication.

2.5.1.3 Déroulement d'une communication H.323 :

Une communication H.323 se déroule en cinq phases :

1. Etablissement d'appel.
2. Echange de capacité et réservation éventuelle de la bande passante à travers le protocole RSVP.
3. Etablissement de la communication audio-visuelle.
4. Invocation éventuelle de service en phase d'appel (par exemple, transfert d'appel, changement de bande passante, etc).
5. Libération de l'appel.

2.5.1.4 Les avantages et les inconvénients de la technologie H.323 :

A) Les avantages majeurs sont :

- Gestion de la bande passante.
- Support multipoint : H.323 permet des conférences multipoints via une structure centralisée de type MCU ou ad hoc.
- Support multicast : H.323 permet également de faire des transmissions en multicast.
- Interopérabilité : les paramètres (les codecs, le débit) sont négociés de manière transparente.
- Flexibilité : une conférence H.323 peut inclure des terminaux hétérogènes.

B) Les inconvénients :

- La complexité de mise en œuvre et les problèmes d'architecture.
- De nombreuses options susceptibles de poser des problèmes d'interopérabilité.

2.5.1.5 Conclusion sur H.323 :

Le protocole H.323 est une des normes envisageable pour la VoIP .Cependant, elle est pour l'instant surtout employé par des programmes propriétaires. La documentation est difficile d'accès en dehors des efforts faits par le projet Open H.323 pour rendre cette technologie accessible à tous.

2.5.2 Le protocole SIP : [6]

2.5.2.1 Description générale du protocole SIP :

Le protocole SIP (Session Initiation Protocol) est un protocole normalisé et standardisé par l'IETF (décrit par le RFC 3261 qui rend obsolète le RFC 2543, et complété par le RFC 3265) qui a été conçu pour établir, modifier et terminer des sessions multimédia. Il se charge de l'authentification et de la localisation des multiples participants. Il se charge également de la négociation sur les types de média utilisables par les différents participants en encapsulant des messages SDP (Session Description Protocol). SIP ne transporte pas les données échangées durant la session comme la voix ou la vidéo. SIP étant indépendant de la transmission des données, tout type de données et de protocoles peut être utilisé pour cet échange. Cependant le protocole RTP (Real-time Transport Protocol) assure le plus souvent les sessions audio et vidéo. SIP remplace progressivement H323.

SIP est le standard ouvert de VoIP, interopérable, le plus étendu et vise à devenir le standard des télécommunications multimédia (son, image, etc.). Skype par exemple, qui utilise un format propriétaire, ne permet pas l'interopérabilité avec un autre réseau de voix sur IP et ne fournit que des passerelles payantes vers la téléphonie standard. SIP n'est donc pas seulement destiné à la VoIP mais pour de nombreuses autres applications telles que la visiophonie, la messagerie instantanée, la réalité virtuelle ou même les jeux vidéo.

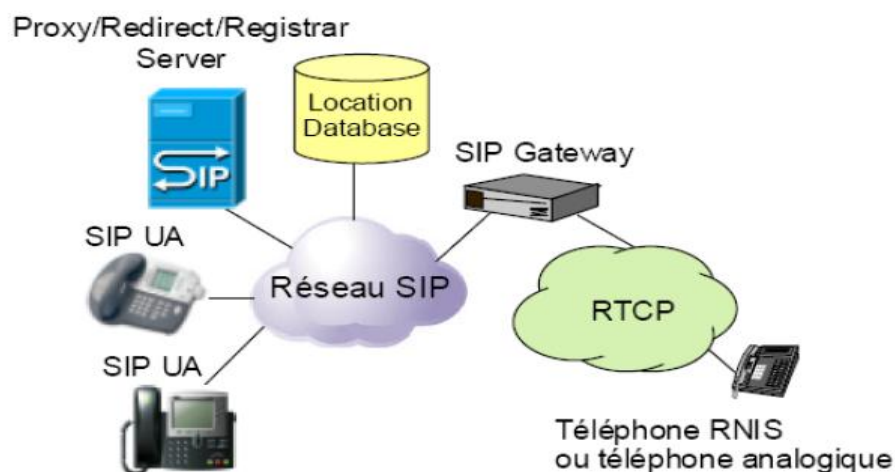


Figure 2.3 : Protocole SIP.

2.5.2.2 Principe de fonctionnement :

Puisque on choisira le protocole SIP pour effectuer notre travail, on s'approfondira à expliquer les différents aspects, caractéristiques qui font du protocole SIP un bon choix pour l'établissement de la session, les principales caractéristiques du protocole SIP sont :

A. Fixation d'un compte SIP :

Il est important de s'assurer que la personne appelée soit toujours joignable. Pour cela, un compte SIP sera associé à un nom unique. Par exemple, si un utilisateur d'un service de voix sur IP dispose d'un compte SIP et que chaque fois qu'il redémarre son ordinateur, son adresse IP change, il doit cependant toujours être joignable. Son compte SIP doit donc être associé à un serveur SIP (proxy SIP) dont l'adresse IP est fixe. Ce serveur lui allouera un compte et il permettra d'effectuer ou de recevoir des appels quelques soit son emplacement. Ce compte sera identifiable via son nom (ou pseudo).

B. Changement des caractéristiques durant une session :

Un utilisateur doit pouvoir modifier les caractéristiques d'un appel en cours. Par exemple, un appel initialement configuré en (voix uniquement) peut être modifié en (voix + vidéo).

C. Différents modes de communication :

Avec SIP, les utilisateurs qui ouvrent une session peuvent communiquer en mode point à point, en mode diffusif ou dans un mode combinant ceux-ci.

- **Mode Point à point** : on parle dans ce cas-là d'«unicast » qui correspond à la communication entre deux machines.
- **Mode diffusif** : on parle dans ce cas-là de « multicast » (plusieurs utilisateurs via une unité de contrôle MCU – Multipoint Control Unit).
- **Combinatoire** : combine les deux modes précédents. Plusieurs utilisateurs interconnectés en multicast via un réseau à maillage complet de connexion.

D. Gestion des participants :

Durant une session d'appel, de nouveaux participants peuvent rejoindre les participants d'une session déjà ouverte en participant directement, en étant transférés ou en étant mis en attente (cette particularité rejoint les fonctionnalités d'un PABX par exemple, où l'appelant peut être transféré vers un numéro donné ou être mis en attente).

E. Négociation des médias supportés :

Cela permet à un groupe durant un appel de négocier sur les types de médias supportés. Par exemple, la vidéo peut être ou ne pas être supportée lors d'une session.

F. Adressage :

Les utilisateurs disposant d'un numéro (compte) SIP disposent d'une adresse ressemblant à une adresse mail (sip:numéro@serveursip.com). Le numéro SIP est unique pour chaque utilisateur.

G. Modèle d'échange :

Le protocole SIP repose sur un modèle Requête/Réponse. Les échanges entre un terminal appelant et un terminal appelé se font par l'intermédiaire de requêtes. La liste des requêtes échangées est la suivante :

- **Invite** : cette requête indique que l'application (ou utilisateur) correspondante à l'url SIP spécifié est invité à participer à une session. Le corps du message décrit cette session (par ex : média supportés par l'appelant). En cas de réponse favorable, l'invité doit spécifier les médias qu'il supporte.
- **Ack** : cette requête permet de confirmer que le terminal appelant a bien reçu une réponse définitive à une requête Invite.
- **Options** : un proxy server en mesure de contacter l'UAS (terminal) appelé, doit répondre à une requête Options en précisant ses capacités à contacter le même terminal.
- **Bye** : cette requête est utilisée par le terminal de l'appelé à fin de signaler qu'il souhaite mettre un terme à la session.

- **Cancel** : cette requête est envoyée par un terminal ou un proxy server à fin d'annuler une requête non validée par une réponse finale comme, par exemple, si une machine ayant été invitée à participer à une session, et ayant accepté l'invitation ne reçoit pas de requête Ack, alors elle émet une requête Cancel.
- **Register** : cette méthode est utilisée par le client pour enregistrer l'adresse listée dans l'URL TO par le serveur auquel il est relié.

H. Codes d'erreurs :

Une réponse à une requête est caractérisée, par un code et un motif, appelés respectivement code d'état et raison phrase. Un code d'état est un entier codé sur 3 digits indiquant un résultat à l'issue de la réception d'une requête. Ce résultat est précisé par une phrase, textbased (UTF-8), expliquant le motif du refus ou de l'acceptation de la requête.

Dans un système SIP on trouve deux types de composantes, les agents utilisateurs (UAS, UAC) et un réseau de serveurs (Registrar, Proxy).

L'**UAS** (User Agent Server) représente l'agent de la partie appelée. C'est une application de type serveur qui contacte l'utilisateur lorsqu'une requête SIP est reçue. Et elle renvoie une réponse au nom de l'utilisateur.

L'**U.A.C** (User Agent Client) représente l'agent de la partie appelante. C'est une application de type client qui initie les requêtes.

Le **Registrar** est un serveur qui gère les requêtes REGISTER envoyées par les Users Agents pour signaler leur emplacement courant. Ces requêtes contiennent donc une adresse IP, associée à une URI, qui seront stockées dans une base de données (figure 2.3).

Les **URI SIP** sont très similaires dans leur forme à des adresses email : sip: utilisateur@domaine.com. Généralement, des mécanismes d'authentification permettent d'éviter que quiconque puisse s'enregistrer avec n'importe quelle URI.

SIP permet donc de mettre en place une communication. Pour cela avant que la connexion soit établie il se charge d'envoyer plusieurs paquets entre les postes afin de définir le début et la fin de conversation, son type et sa composante (type d'encodage utilisé pour l'audio), ses requêtes sont répertoriées sous divers codes.

1. L'UA identifié par l'URI sip : personnel@domaine.fr souhaite contacter l'UA d'URI sip : personne2@domaine.fr. Pour cela il envoie une requête de type INVITE à destination de cette URI.

2. Le proxy du domaine domaine.fr fait suivre la requête INVITE et le signale à l'UA de l'appelant en lui retournant le code d'état 100 TRYING.
3. L'UA de l'appelé a reçu le message mais la communication n'est pas encore acceptée en effet, dans une application téléphonique on se retrouve dans la situation où le téléphone sonne et où l'on attend que la personne décroche. L'UA de l'appelé signale cela en renvoyant le code d'état 180 RINGING au proxy qui va l'envoyer à l'UA de l'appelant.
4. L'UA de l'appelé accepte la communication et retourne le code d'état 200 OK au proxy qui la relaye à l'UA de l'appelant.
5. L'UA de l'appelant envoie un message d'acquiescement. A partir de ce moment, la connexion entre les deux UA est initialisée et plus aucun message ne passe par le proxy.
6. Les deux UA a présent peuvent s'envoyer des données via la connexion qui a été décrite dans le message INVITE (UDP ou TCP). Cette connexion utilisée pour l'échange de données est totalement indépendante de la connexion utilisée pour la signalisation SIP.
7. Si, un UA souhaite fermer la connexion, il envoie un message BYE.
8. Le message BYE est acquiescé via un code d'état 200 OK. La connexion entre les deux UA est close.

2.5.2.3 Les avantages et les inconvénients : [7]

- SIP est un protocole Ouvert : les protocoles sont détaillés et accessibles à tous en téléchargement.
- Standard : l'IETF a normalisé le protocole et son évolution continue par la création ou l'évolution avec d'autres protocoles qui fonctionnent avec SIP.
- SIP est Flexible : utilisé pour tout type de sessions multimédia (voix, vidéo, musique.).
- Permet de Téléphoner sur les réseaux publics.

- SIP a beaucoup de Points communs avec H.323 : entre autre l'utilisation du protocole RTP et quelques codecs.

Par contre une mauvaise implémentation ou une implémentation incomplète du protocole SIP dans les User Agents peut perturber le fonctionnement ou générer du trafic superflu sur le réseau. Un autre inconvénient est le faible nombre d'utilisateurs.

2.5.2.4 Conclusion sur SIP :

La simplicité, la rapidité et la légèreté d'utilisation, tout en étant très complet, sont autant d'arguments qui pourraient permettre à SIP de convaincre les investisseurs. De plus, ses avancées en matière de sécurité des messages sont un atout important par rapport à ses concurrents.

2.5.3 Les protocoles de transport : [7]

Les protocoles de transport utilisés dans la VoIP sont RTP, RTCP, UDP, TCP

2.5.3.1 Le protocole RTP :

A) Présentation :

Le protocole RTP (Real Time Transport Protocol) développé par l'IETF, afin de faciliter le transport réel, de bout en bout, des flots de données audio et vidéo sur les réseaux IP. Le protocole RTP n'est pas un protocole réel de transfert, puisque son utilisation se fait généralement sur UDP ce qui permet d'atteindre plus facilement le temps réel, protocole RTP se complète par un protocole de contrôle qui transmet des rapports de réception RTCP mais il n'est cependant pas obligatoire.

Il est surtout utilisé pour garantir la qualité de service des communications sur un réseau IP initialement best effort.

Les applications temps réel constitue un véritable problème pour le réseau Internet.

B) Avantages et inconvénients :

- Le protocole RTP permet de reconstituer la base de temps des différents flux multimédia (audio, vidéo) ; de détecter les pertes de paquets ; d'identifier le contenu des paquets pour leur transmission sécurisée.
- Par contre, il ne permet pas de réserver des ressources dans le réseau ou d'apporter une fiabilité dans réseau. Ainsi il ne garantit pas le délai de livraison.

2.5.3.2 Le protocole RTCP :

A) Présentation :

Le protocole RTCP est fondé sur la transmission périodique de paquets de contrôle à tous les participants d'une session. C'est le protocole UDP qui permet le multiplexage des paquets de données RTP et des paquets de contrôle RTCP.

Le protocole RTP utilise le protocole RTCP, Real-time-Transport Control Protocol, qui transporte les informations supplémentaires suivantes pour la gestion de la session.

Les récepteurs utilisent RTCP pour renvoyer vers les émetteurs un rapport sur la QOS.

Ces rapports comprennent le nombre de paquets perdus, le paramètre indiquant la variance d'une distribution (plus communément appelé la gigue : c'est-à-dire les paquets qui arrivent régulièrement ou irrégulièrement) et le délai aller-retour. Ces informations permettent à la source de s'adapter, par exemple, de modifier le taux de compression pour maintenir la même QOS.

C) Avantages et inconvénients du protocole RTCP :

Le protocole RTCP est adapté pour la transmission de données temps réel, Il permet d'effectuer un contrôle permanent sur une session et ses participants. Par contre il fonctionne en stratégie bout à bout, et il ne peut pas contrôler l'élément principal de la communication, qui est le réseau.

2.5.3.3 Le protocole TCP :

Le protocole TCP (Transmission Control Protocol) permet, au niveau des applications, de gérer les données en provenance de la couche inférieure du modèle (protocole IP).

Lorsque les données sont fournies au protocole IP, celui-ci les encapsule dans des datagrammes IP. Le protocole TCP est un protocole orienté connexion, c'est-à-dire qu'il permet à deux machines qui communiquent de contrôler l'état de la transmission.

Le protocole TCP permet principalement de :

- Remettre en ordre les datagrammes en provenance du protocole IP.
- Vérifier le flux de données afin d'éviter une saturation du réseau.
- Formater les données en segments de longueur variable afin de les remettre au protocole IP.
- Permet aussi de multiplexer les données.

2.5.3.4 Le protocole UDP :

Contrairement aux données où seul le débit global compte, il faut garantir pour la voix un flux le plus régulier possible. Pour ne pas ralentir le trafic, il faudrait utiliser des protocoles de transport simplifié, quitte à ne pas prendre en compte la gestion des erreurs, mais la qualité perçue est très dépendante des fluctuations de délais dues aux congestions dans le réseau.

Ainsi le protocole UDP basé sur la même couche que TCP. Cependant, il présente des performances moyennes par rapport à TCP, car il permet l'envoi de paquets sans contrôle de réception.

2.5.3.5 Les protocoles secondaires :

Les protocoles secondaires utilisés pour le fonctionnement de la VoIP sont :

- **DHCP** : pour les attributions d'adresse IP, de DNS.

- **TETP** : pour la configuration et la mise à jour.
- **DNS** : pour les services d'annuaire et de localisation.
- **HTTP** : pour l'administration.
- **ENUM** : concernant SIP, pour la correspondance des adresse SIP et numéro E.164 (RTC) en utilisant DNS.

2.6 Points forts et limites de la voix sur IP : [6]

- Réduction des couts.
- Standards ouverts.
- Un réseau voix, vidéo et données (à la fois).
- Un service PABX distribué ou centralisé.

Les points faibles de la voix sur IP sont :

- Peu de fiabilité et mauvaise qualité sonore.
- Dépendance dans l'infrastructure technologique et support administratif exigeant.
- Vol.
- Attaque de virus.

2.7 Conclusion :

Dès à présent, il est possible de prévoir qu'un développement substantiel devait se faire dans le domaine des télécommunications d'entreprises car c'est là que la notion d'intégration complète voix-données pourra prendre toute sa dimension économique.

Le développement de la téléphonie entre passerelles, de poste ordinaire à poste ordinaire, est quant à lui vraisemblablement voué, dans un premier temps, à un écrémage du trafic sur déploiement. Il ira ensuite sans doute plus loin, ne serait-ce que lorsque les opérateurs traditionnels eux-mêmes adopteront la norme IP pour l'ensemble de leurs transmissions d'informations.

Sur le plan commercial, au-delà de la dimension concurrentielle déjà présente avec la fin des monopoles de télécommunication, la voix sur IP introduit une nouvelle dimension : celle de choix rapport qualité / prix par l'utilisateur lui-même. Là aussi, voilà un nouveau défi pour les opérateurs de télécommunication, qu'ils soient traditionnels ou nouveaux venus, car jusqu'à présent le niveau de la qualité de service a toujours été défini par l'opérateur lui-même sans discussion avec l'utilisateur.

Sur le plan industriel, l'avenir sera aux entreprises qui auront anticipé suffisamment la généralisation de la norme IP et de ses évolutions, ce qui conduit à l'évidence à inciter vivement l'industrie dans ce sens.

Chapitre 3

Etude détaillée des réseaux 4G

3.1 Introduction :

Le LTE a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS (d'où son nom de *Long Term Evolution*), lors d'un atelier organisé par le 3GPP appelé *Future Evolution Workshop*. Cette évolution était alors destinée à maintenir la compétitivité de l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà [NTT DoCoMo *et al*, 2004]. Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est conclue en septembre 2006 avec la définition des grands principes de la technologie LTE [3GPP 25.912, 2006]. Les travaux de spécification proprement dit se sont alors déroulés jusqu'à décembre 2008, date où la première version des spécifications a été approuvée.

Le LTE est ainsi défini dans la Release 8 du 3GPP. Du fait du saut technologique qu'il représente par rapport au HSDPA, le LTE est considéré comme constituant une quatrième étape de l'évolution des réseaux d'accès mobiles, ou 4G. On peut ainsi véritablement parler d'une révolution de l'UMTS, plutôt que d'une évolution.

L'instar de chaque nouvelle génération de réseau d'accès, le LTE a pour objectif de proposer une capacité accrue et fait appel à une nouvelle technique d'accès à la ressource fréquentielle. Cet ouvrage décrit la norme LTE, et explique les choix de conception effectués. En particulier, les évolutions technologiques par rapport au HSPA sont largement documentées.

3.2 LTE (4G) :

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

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

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [1].

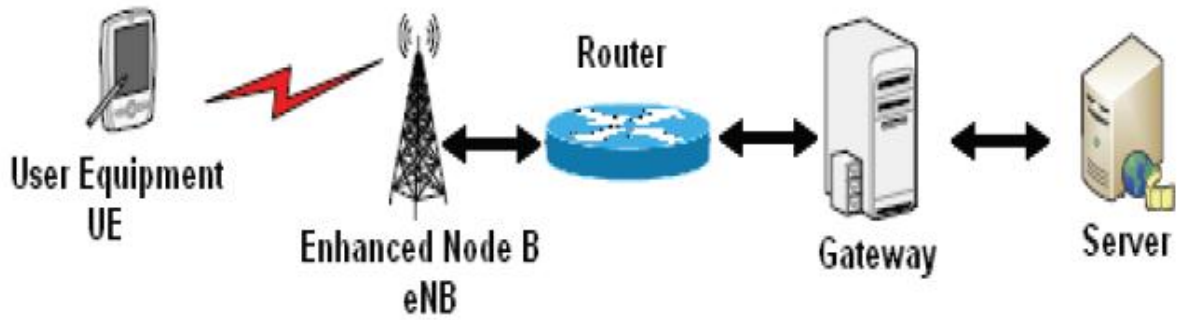


Figure 3.1 : Présentation générale sur le système LTE [1].

3.3 Architecture de LTE :

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 3.2 présente l'architecture du réseau LTE.

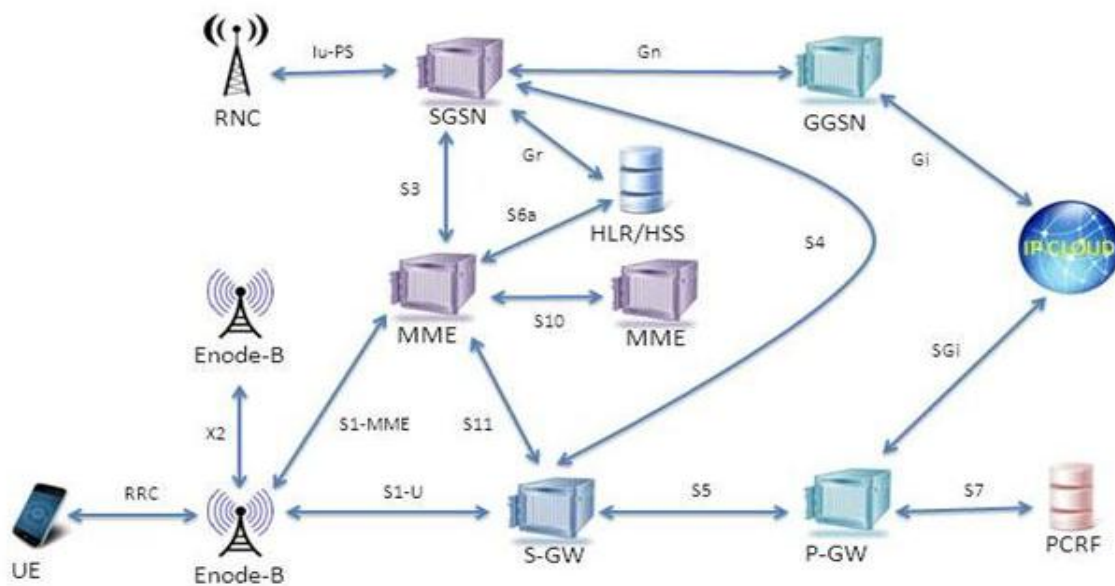


Figure 3.2 : Architecture générale du LTE.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System). La figure 3.3 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

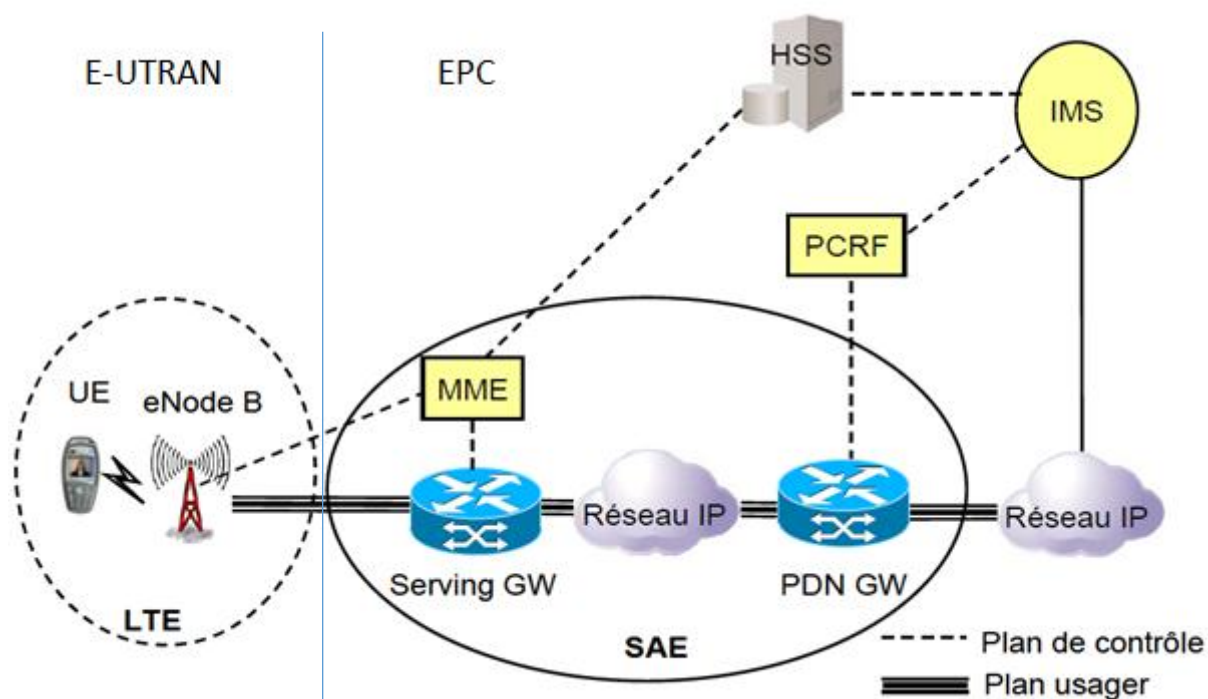


Figure 3.3: Architecture d'EPS (Evolved Packet System).

3.3.1 EPC : Evolved Packet Core :

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

EPC Simplifie le réseau d'architecture à tout IP, comme il assure la mobilité entre 3GPP based système, et aussi non 3GPP based système par exemple WIMAX et CDMA2000.

Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs éléments comme la montre la figure suivante :

❖ **MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8) :**

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

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

❖ **HSS : Home Subscriber Service :**

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

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

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

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

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

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

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

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving GetWay (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter eNodeB handover,

puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

❖ **P-GW: Packet-Switch GetWay :**

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

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

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

3.3.2 La partie radio E-UTRAN :

La partie radio du réseau, appelée « E-UTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2).

Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

❖ **eNodeB :**

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC.

3.3.3 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system) :

❖ Définition :

L'IP Multimedia Sub-system (IMS) est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée.

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux.

Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire, Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services [1].

3.4 Buts 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 [10].

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4ème génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.

- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le coût de signalisation.

3.5 Les caractéristiques fondamentales de la 4G :

La 4G permet effectivement d'avoir des performances de Qos très fiables, en citant par la suite quelques paramètres :

3.5.1 Débits et fréquences du réseau 4G :

L'évolution des débits suit une progression semblable à celle de la capacité de calcul.

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

L'établissement des standards de performances communément admis pour les réseaux 4G : 100 Mbit/s sur le lien radio descendant (antenne relais vers mobile), et 50 Mbit/s maximum sur le lien montant (mobile vers antenne relais). La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais).

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

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

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- Deux antennes en réception.
- Une antenne en émission.

Pour le LTE y auna, deux antennes d'émission à la station de base et deux antennes en réception au niveau de l'UE.

L'utilisateur peut ainsi accéder à ses services favoris chez lui ou hors de son domicile avec une fluidité homogène. En complément, le débit est jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et une course aux débits est en marche dans certains pays.

Enfin, des débits toujours plus élevés ouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, sources de revenus et/ou de différenciation pour les opérateurs.

3.5.2 Latence :

A. Latence du plan de contrôle :

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à L'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

B. Latence du plan usager :

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

3.5.3 Codage et sécurité :

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

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

3.5.4 Multiplexage :

Il existe deux modes de multiplexage de fréquences :

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

1 symbole peut transmettre 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM). Par exemple, 1 symbole représente un carton, et dans un carton nous pouvons avoir une boîte ou 6 boîtes. Si nous souhaitons transporter le plus de boîtes, nous avons intérêt à mettre 6 boîtes par carton, ce qui fragilise encore plus le transport, nous favoriserons donc le 128 QAM (6 bits à transmettre) si le mobile et la station de base sont proches (transport peu éloigné entre le point A et le point B).

Les transmissions downlink et uplink sont organisés en deux types de structures qui sont :

- Structure de type 1 : duplex de fréquence division FDD.
- Structure de type 2 : duplex par séparation temporelle TDD.

3.5.5 Les modes FDD et TDD du LTE :

L'interface radio du LTE comprend les modes FDD et TDD, ainsi que le mode FDD half-duplex. La gestion des modes FDD et TDD a été décidée afin de garantir une interface radio universelle, déployable quelle que soit la disponibilité du spectre et permettant ainsi une itinérance (*roaming*) globale. Ces deux modes ont été développés de manière à présenter un haut degré de similitude. Ainsi, si la structure de trame diffère, la structure d'une sous trame est identique dans les deux modes, à l'exception des sous-frames spéciales employées en TDD à la transition entre voie descendante et voie montante. De plus, les paramètres de base de la couche physique sont identiques pour les deux modes.

Cette harmonisation permet de réutiliser une grande part des implémentations pour les deux modes et ainsi de réduire les coûts de développement.

Les structures de trame pour les modes FDD et TDD du LTE ainsi que les configurations voie montante/voie descendante possibles en TDD.

3.5.6 L'architecture de l'interface radio :

A. Plan usager et plan de contrôle :

Ces deux plans sont matérialisés par des piles protocolaires qui partagent un tronc commun (la partie inférieure) et qui se distinguent notamment dans les interactions avec les couches supérieures : alors que la signalisation NAS est véhiculée par le plan de contrôle de l'interface radio, son plan usager permet de transporter sur celle-ci les paquets délivrés ou à destination de la couche IP.

Ces deux piles protocolaires sont représentées sur la figure suivante.

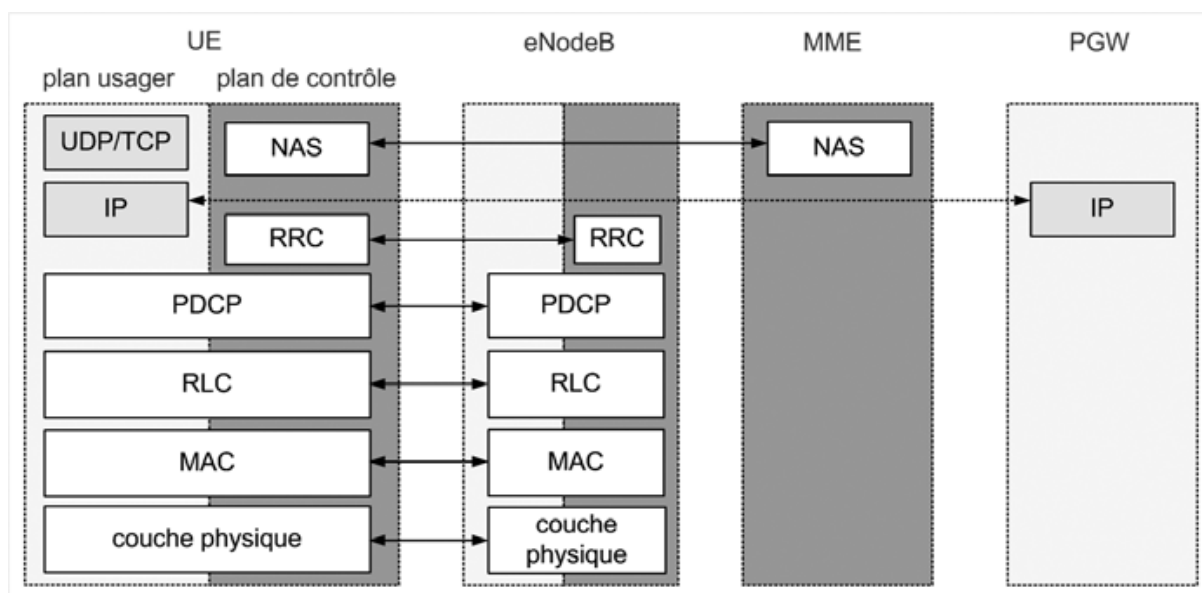


Figure 3.5 : Piles protocolaires des plans usager et de contrôle sur l'interface radio [12].

En LTE comme en GSM et UMTS, les protocoles du plan usager de l'interface radio correspondent aux deux premières couches du modèle OSI. La structure de l'interface radio du système LTE possède de nombreuses similitudes avec celle définie pour l'UMTS, comme le montre la figure 3.5.

La principale différence réside dans le rôle de la couche PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*). En UMTS, son unique rôle est de réaliser une compression d'en-tête des paquets IP. Ce protocole n'est pratiquement pas utilisé sur les réseaux UMTS actuels.

En LTE en revanche, le protocole PDCP est utilisé systématiquement, car il est impliqué dans la sécurité de l'Access Stratum (chiffrement et intégrité). On notera cependant que toutes

ces couches, si elles portent le même nom en UMTS et en LTE, sont néanmoins très différentes dans ces deux systèmes [12].

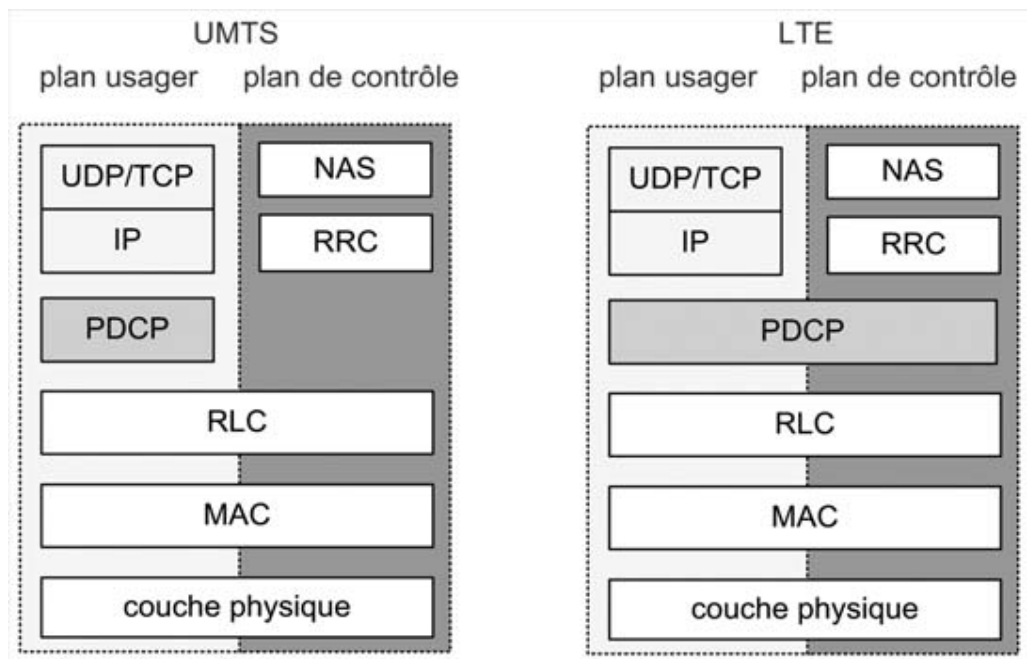


Figure 3.6 : Piles protocolaires des interfaces radio en UMTS et en LTE [12].

Les données traitées par PDCP, RLC, MAC et PHY appartiennent :

- au plan de contrôle lorsqu'il s'agit de données de signalisation communiquées par la couche RRC.
- au plan usager lorsqu'il s'agit d'autres données (transmises par la couche IP).

Les notions de plan de contrôle et de plan usager sont transparentes aux couches RLC, MAC et PHY : celles-ci traitent les données délivrées par la couche supérieure, suivant la configuration indiquée par RRC, sans distinction a priori entre données de contrôle et données de l'utilisateur. Nous verrons plus loin que le traitement effectué par PDCP diffère en revanche suivant la nature des données reçues.

Indépendamment de ces deux plans, chaque couche utilise dans son protocole des informations de contrôle qu'elle échange avec l'entité paire distante, dans l'en-tête ajouté par la couche à l'unité de donnée. Cela permet à l'entité paire distante de traiter les données transmises de façon appropriée.

Il s'agit donc d'informations de contrôle propres à la couche.

B. Interactions entre les couches :

La figure 3.7 détaille le découpage en couches et les interactions logiques entre celles-ci pour les données du plan de contrôle et celles du plan usager. Cette architecture s'applique à l'UE et à l'eNodeB.

Deux entités paires distantes d'une couche (N) échangent entre elles des unités de données appelées *Protocol Data Unit* (PDU), formées d'un en-tête du protocole associé à cette couche N et de blocs de données. Ces blocs sont des unités de données délivrées par la couche supérieure (M), ou des segments de ces unités de données si ces dernières doivent être segmentées avant la transmission sur l'interface radio. L'unité de données de la couche M est appelée *Service Data Unit* (SDU) dans le contexte de la couche N , car elle porte des données de service que la couche N n'interprète pas.

Ainsi, une PDU est-elle aussi une SDU pour la couche immédiatement inférieure, et ainsi de suite.

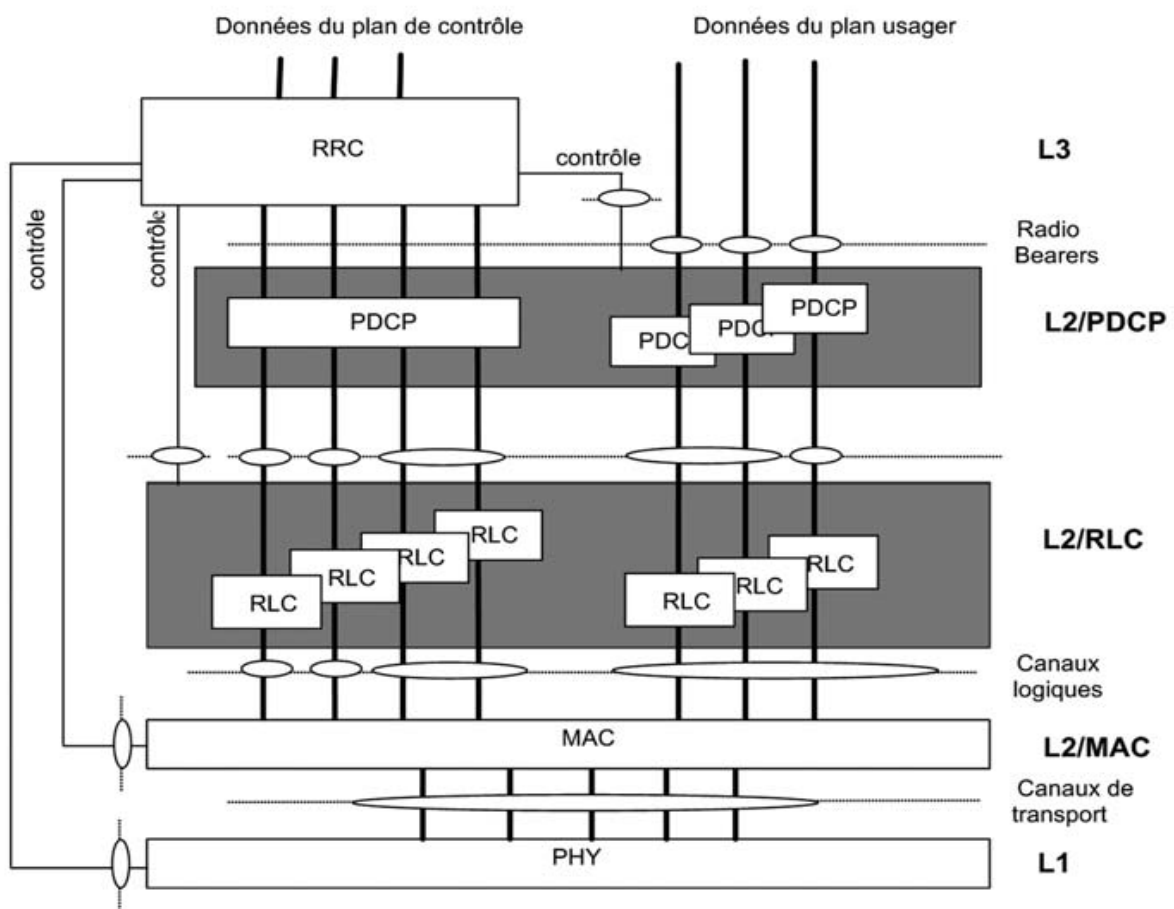


Figure 3.7 : La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio [12].

Par exemple, la couche PDCP de l'UE traite un paquet reçu de la couche IP et lui ajoute un en-tête, contenant notamment un numéro de séquence PDCP. Cette unité de donnée forme une nouvelle PDU PDCP, qui doit être transmise à la couche PDCP distante (celle de l'eNodeB).

Pour cela, PDCP délivre la PDU à l'entité de la couche RLC associé au service. Cette entité RLC reçoit donc une nouvelle SDU RLC, qu'elle peut éventuellement segmenter ou concaténer avec d'autres SDU RLC précédemment reçues de la couche PDCP, afin de constituer une PDU RLC qui pourra être transmise sur l'interface radio sans segmentation ultérieure. A son tour, la couche RLC ajoute un en-tête à cette PDU qu'elle a formée, en-tête qui permet à l'entité distante de reconstituer la SDU RLC d'origine en rassemblant les segments reçus dans différentes PDU ou en identifiant les blocs concaténés dans cette PDU.

Ce transfert vertical de SDU entre couches du même équipement s'effectue via des points d'accès logiques entre couches, désignés par le terme générique *Service Access Points* (SAP) et représentés par des ellipses sur la figure précédente. Ils portent des noms spécifiques selon le niveau considéré : radio bearer au niveau RLC/PDCP, canal logique entre RLC et MAC, canal de transport entre MAC et PHY.

Bandes	Fréquences UL/DL (MHz)
1	1920-1980/2110-2170
2	1850-1910/1930-1990
3	1710-1785/1805-1880
4	1710-1755/2110-2155
5	824-849/869-894
6	830-840/875-885
7	2500-2570/2620-2690
8	880-915/925-960
9	1750-1785/1845-1880
10	1710-1770/2110-2170
11	1428-1453/1476-1501
12	698-716/728-746
13	777-787/746-756
14	788-798/758-768
15	704-716/734-746

Tableau 3.1 : Les bandes de FDD.

Bandes	Fréquences UL/DL (MHz)
33.34	1900-1920 2010-2025
35.36	1850-1910 1930-1990
37	1910-1930
38	2570-2620
39	1880-1920
40	2300-2400

Tableau 3.2 : Les bandes de TDD.

3.5.7 La mobilité :

La mobilité est une fonction clé pour les réseaux mobiles. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale est moins qu'en GSM, ou équivalent. Le système intègre également des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra-système [13].

3.5.8 Modulation adaptative et codage :

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

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM.

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM.

3.5.8.1 La modulation 16QAM :

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

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

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

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

3.5.8.2 La modulation QPSK :

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

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

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

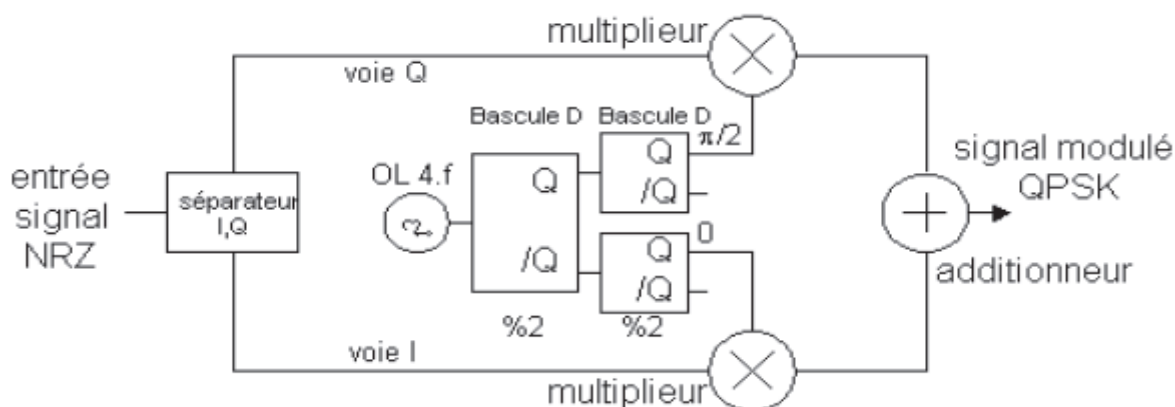


Figure 3.8 : Schéma du principe du modulateur QPSK.

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

3.5.9 Les types de transmission utilisée dans la 4 G :

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

3.5.9.1 OFDMA :

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE. Elle est également utilisée par d'autres systèmes de radiocommunication, tels

les versions évoluées des normes de réseaux locaux sans fil WIFI (IEEE 802.11 versions n, IEEE 802.22 et WiBro) ainsi que par certaines normes de télévision numérique. Comme pour d'autres techniques de codage permettant l'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA), L'objectif est de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) et d'en attribuer dynamiquement des parties à plusieurs utilisateurs [1].

❖ Origine et avantages :

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

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

❖ Principes :

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

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre, ce qui permet pour un même débit global d'avoir sur chaque canal un débit plus faible, et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7 μ s pour le LTE), cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portées (quand le débit binaire sur une porteuse est élevé, l'écho d'un symbole arrivant en retard à cause d'une propagation multi-trajets perturbe les symboles suivants):

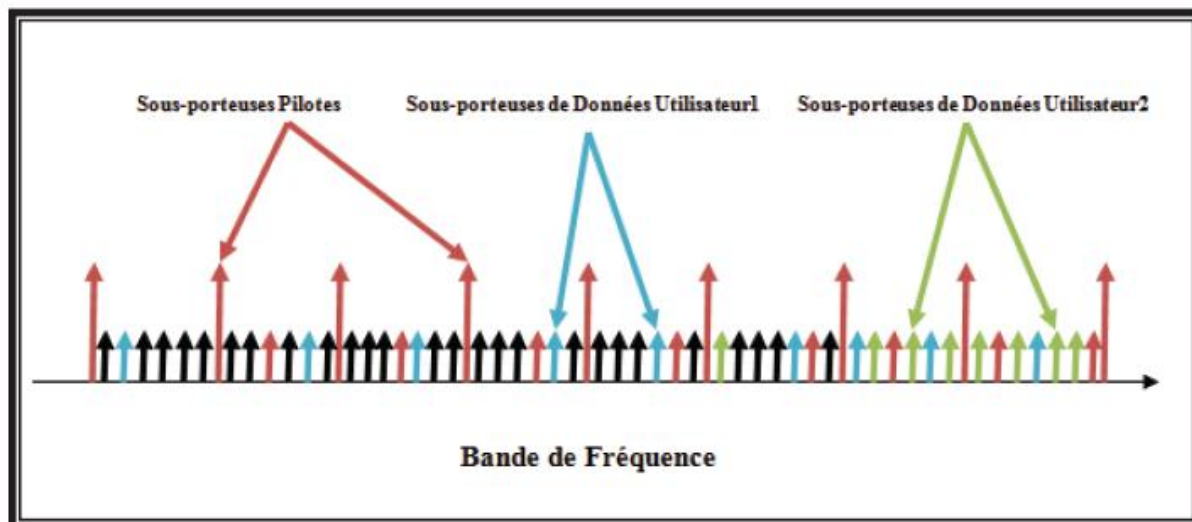


Figure 3.9 : Les porteuses de l'OFDMA [1].

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

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

Un CP (préfixe cyclique) est utilisé dans les transmissions OFDMA, afin de conserver l'orthogonalité et les propriétés sinusoïdales du signal pour les canaux à trajets multiples. Ce préfixe cyclique est ajouté au début des symboles émis. En LTE, deux longueurs différentes de préfixe cyclique sont prévues pour s'adapter à des temps différents de propagation du canal de transmission qui dépendent de la taille de la cellule radio et de l'environnement : un préfixe cyclique normal de 4,7s, et un préfixe cyclique étendu de 16,6s utilisé dans les très grandes cellules radio (ce préfixe représente de 7 à 25 % de la durée d'un symbole).

Ce codage est associé dans les réseaux LTE à des modulations de type QPSK ou QAM utilisées sur chacun des canaux, pour s'adapter aux conditions radio locales et à la distance séparant l'antenne de chaque terminal [1].

3.5.9.2 SC-FDMA :

La Single-carrier FDMA est une nouvelle technologie d'accès qui utilise simultanément les techniques de multiplexages de type accès multiple à répartition en fréquence, et celui d'accès multiple à répartition dans le temps (multiplexage fréquentiel et temporel), cette technique comme l'OFDMA se base sur la répartition du signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales qui permet l'accès simultané de plusieurs utilisateurs attachés au réseau, sauf que la SC-FDMA se caractérise par son facteur de crête PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) plus faible que celui du l'OFDMA [9].

3.5.9.3 Principe de modulation SC-FDMA :

La modulation SC-FDMA est une technique de transmission mono-porteuse mais très proche de la modulation OFDM. Cette technique consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses, non pas directement les symboles source comme en OFDM, mais leur représentation fréquentielle après les avoir réparties sur la bande du système selon un certain mode que nous présenterons. La Figure 3.10 montre la chaîne de transmission d'un tel système.

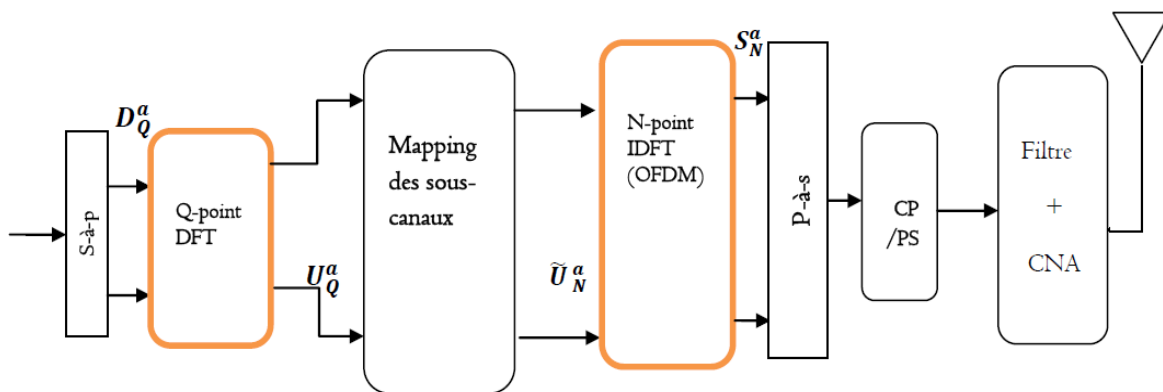


Figure 3.10 : Emetteur SC-FDMA [9].

3.5.9.4 Principe de la démodulation SC-FDMA :

Le principe de la démodulation du système SC-FDMA consiste à démoduler le signal sur chacune des sous-porteuses du système. En effet, le signal reçu est d'abord ramené en bande de base, avant d'être échantillonné pour le traitement numérique du signal. Après suppression de l'intervalle de garde, un démodulateur DFT permet d'obtenir les symboles modulant chaque porteuse. Un égaliseur est ensuite mis en œuvre, comme dans la technique SC/FDE, dans le

but de supprimer la contribution du canal sur chaque sous-porteuse du signal, et de récupérer ainsi les symboles fréquentiels.

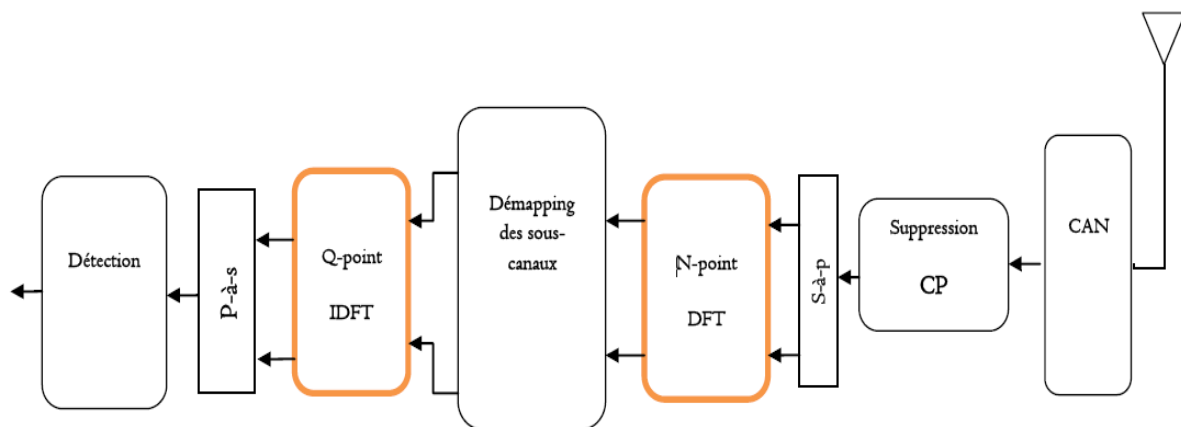


Figure 3.11 : Récepteur SC-FDMA [9].

3.5.9.5 Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA :

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

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

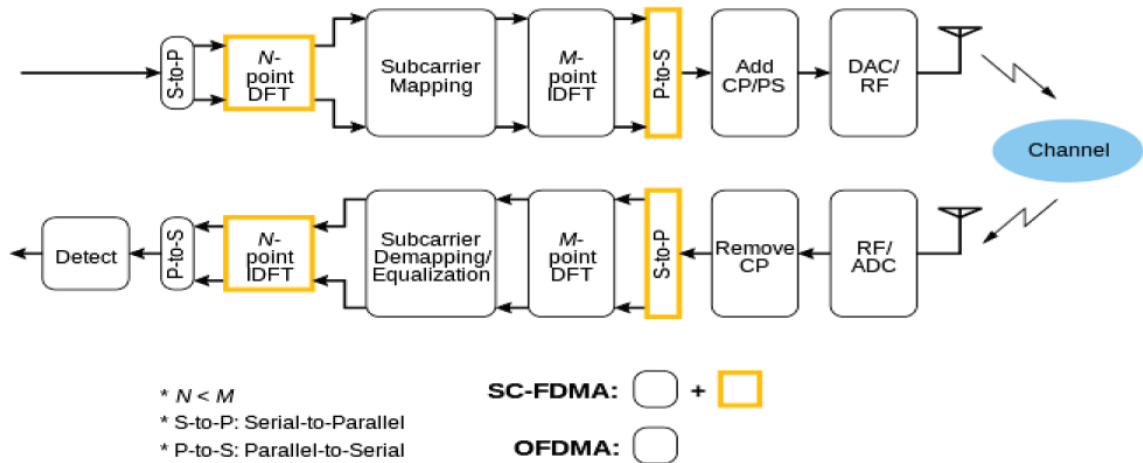


Figure 3.12 : Similitude entre une chaîne OFDMA et SC-FDMA [1].

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

3.6 Les Performance des réseaux 4G :

3.6.1 Une mobilité à toute épreuve :

L'un des challenges des réseaux mobiles est d'être disponible partout et tout le temps.

Pour cela les réseaux 4G ont été prévus pour fonctionner aussi bien dans les zones denses que dans les zones rurales. Une cellule 4G peut couvrir 5km de diamètre dans les zones fortement peuplées et s'étendre jusqu'à 100 km dans les zones les plus reculées.

3.6.2 Des temps de réponse rapides :

L'utilisation d'une communication à des débits toujours plus élevés ne peut être plus optimale si le transfert de données se fait dans un délai trop long. La 4G propose pour cela une latence moyenne de 20ms et peut descendre en dessous de 5ms.

3.6.3 La voix sur IP :

La 4G propose un service de voix sur IP. En effet ce standard s'appuie sur un réseau de transport de paquet IP. Il n'est pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre la VoIP.

3.6.4 Débit sur l'interface radio :

Le débit de la 4G est de 100 Mbit/s descendant et 50 Mbit/s montant. L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz. Les technologies utilisées sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant. Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.

En considérant HSDPA à 14,4 Mbit/s avec une allocation d'une bande de 5 MHz, l'efficacité spectrale est de 2,9 bit/s/Hz dans le sens descendant.

Avec la 3G il est nécessaire d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz. Avec la LTE, il est possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes : 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20MHz, pour les sens descendant et montant. L'intention est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.

3.6.5 Connexion permanente :

Principe des accès haut débit où la connectivité est permanente pour l'accès à Internet.

Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il s'agira d'envoyer ou recevoir du trafic. Ce changement d'état s'opère en moins de 100 ms. Le réseau pourra recevoir le trafic de tout terminal rattaché puisque ce dernier dispose d'une adresse IP, mettre en mémoire ce trafic, réaliser l'opération de paging afin de localiser le terminal et lui demander de réserver des ressources afin de pouvoir lui relayer son trafic.

3.6.6 Délai pour la transmission de données :

Moins de 5 ms entre l'UE et l'Access Gateway, ceci dans une situation de non-charge où un seul terminal est ACTIF sur l'interface radio. La valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio. Ceci permet de supporter les services temps réel IP nativement, comme la voix sur IP et le streaming sur IP.

3.6.7 Co-existence et Interfonctionnement avec la 3G :

Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et la 2G/3G est toujours possible. Le handover pourra aussi s'effectuer entre LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs CDMA évolueront aussi vers la LTE qui devient le vrai standard de communication mobile de 4^{ème} génération.

3.6.8 Flexibilité dans l'usage de la bande :

Comme indiqué précédemment E-UTRAN doit pouvoir opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20MHz.

3.7 Exemple de Qualité de Service :

3.7.1 Contraintes communes aux applications multimédia :

Dans les applications multimédia, les données sont soumises à des contraintes temporelles quasi temps réel. Cela implique qu'il n'est pas possible d'utiliser le protocole de transport TCP puisque si des paquets sont détruits en cas de congestion, leur réémission serait pénalisante et inutile pour le flux multimédia. Il faut donc utiliser un protocole de transport non fiable tel que l'UDP.

3.7.2 La téléphonie sur IP :

La principale contrainte de la téléphonie sur IP est le délai. Pour qu'une conversation puisse avoir lieu convenablement, il est nécessaire d'avoir une latence inférieure à 35 ms.

Pour assurer ce délai, les routeurs ne doivent pas comporter des files d'attente trop longues.

En effet, de longues files d'attente permettent d'obtenir un débit plus élevé puisque moins de paquets sont perdus mais le temps passé dans les files augmente. Dans l'idéal, les routeurs doivent avoir une file prioritaire à faible latence pour les flux de voix sur IP.

3.7.3 La vidéoconférence :

Pour la vidéoconférence, le débit est essentiel pour que la qualité de la vidéo soit suffisante et les contraintes en termes de délais sont identiques à celles de la voix sur IP. Il est en effet très gênant que l'image soit décalée du son ou que le média soit saccadé.

3.8 Capacité d'appels voix :

La capacité d'appels voix caractérise le nombre maximal d'utilisateurs pouvant passer des appels voix simultanément sur une cellule. Cette capacité en LTE est souvent appelée capacité voix sur IP (VoIP), car le service voix en LTE n'est supporté que par la VoIP. Elle est évaluée par simulation informatique du réseau dans des scénarios bien définis.

Les chiffres présentés dans le tableau suivant correspondent au scénario UIT « macrocellulaire urbain ». Ce dernier représente un scénario de déploiement dense urbain selon les mêmes caractéristiques que celles exposées à la section précédente, à la différence que les UE se déplacent dans des véhicules à une vitesse de 30 km/h. De plus, les paramètres détaillés de ce scénario, en particulier les modèles de propagation, diffèrent de ceux du 3GPP case 1. Les résultats selon ces deux scénarios ne peuvent donc être comparés. Les spécifications détaillées du scénario UIT macrocellulaire urbain peuvent être consultées dans [UIT-R, 2009] [12].

Capacité VoIP (nombre d'UE/cellule/MHz)	
FDD	TDD
69	67

Tableau 3.3 : Capacité VoIP [12].

Sur une bande de 10 MHz, une cellule LTE correspondant au scénario indiqué pourra donc écouler 690 appels voix simultanés en FDD et 670 en TDD. Ces chiffres supposent bien sûr qu'aucun autre trafic n'est présent sur la cellule. Dans le cas contraire, ce nombre sera inférieur puisque les ressources radio du système devront être partagées entre les différents utilisateurs et services.

3.9 Conclusion :

LTE est une technologie avancée de communication radio mobile qui propose des débits d'ordre supérieur, et un bon niveau de QoS pour ses abonnés. Elle est soutenue par les européens et proposée par l'organisme 3GPP qui a déjà fixé toute la gamme de la téléphonie mobile fondée sur le monde des télécommunications.

Cette technologie prise en charge surtout par Alcatel commence à prendre de l'avance par rapport au WiMAX. Cependant, le déploiement à grande échelle est freiné par le coup induit par l'incompatibilité avec les équipements UMTS déjà fonctionnels.

Chapitre 4

Installation et configuration d'une voix IP basée sur l'outil Asterisk

4.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous proposons de réaliser une plateforme intégrant certains services de voix sur IP offerts par Asterisk.

Cette réalisation consiste à la mise en place et la configuration d'une machine contenant le serveur Asterisk, d'autre part l'installation et la configuration du client X-Lite et la configuration de certains services.

4.2 Description de la plateforme :

4.2.1 Eléments matériels :

- Une machine Linux pour l'installation du serveur Asterisk et le gestionnaire des relations clients.
- Des PCs clients équipés d'un système d'exploitation Windows 7 professionnel et d'un logiciel X-Lite.

Les PCs sont connectés au réseau local.

4.2.2 Eléments logiciels :

- Asterisk : utilisé comme serveur de téléphonie qui est un autocommutateur téléphonique privée (PABX) open source pour les systèmes d'exploitation INUX, il est publié sous licence GPL.

Asterisk comprend un nombre très élevé de fonctions, tel que les appels téléphoniques, la messagerie vocale, les files d'attentes, les conférences, etc. Il implémente plusieurs protocoles H.320, H.323, SIP et IAX.

- X-lite : utilisé comme client de téléphonie, une application dédié à l'acheminement des communications audio et vidéo.
- WireShark : est un analyseur de paquets libre utilisé dans le dépannage et l'analyse de réseaux informatiques.

4.3 Architecture du réseau VoIP déployé :

La figure 4.1 montre l'architecture adoptée au cours de la configuration de la solution de VoIP à base d'Asterisk.

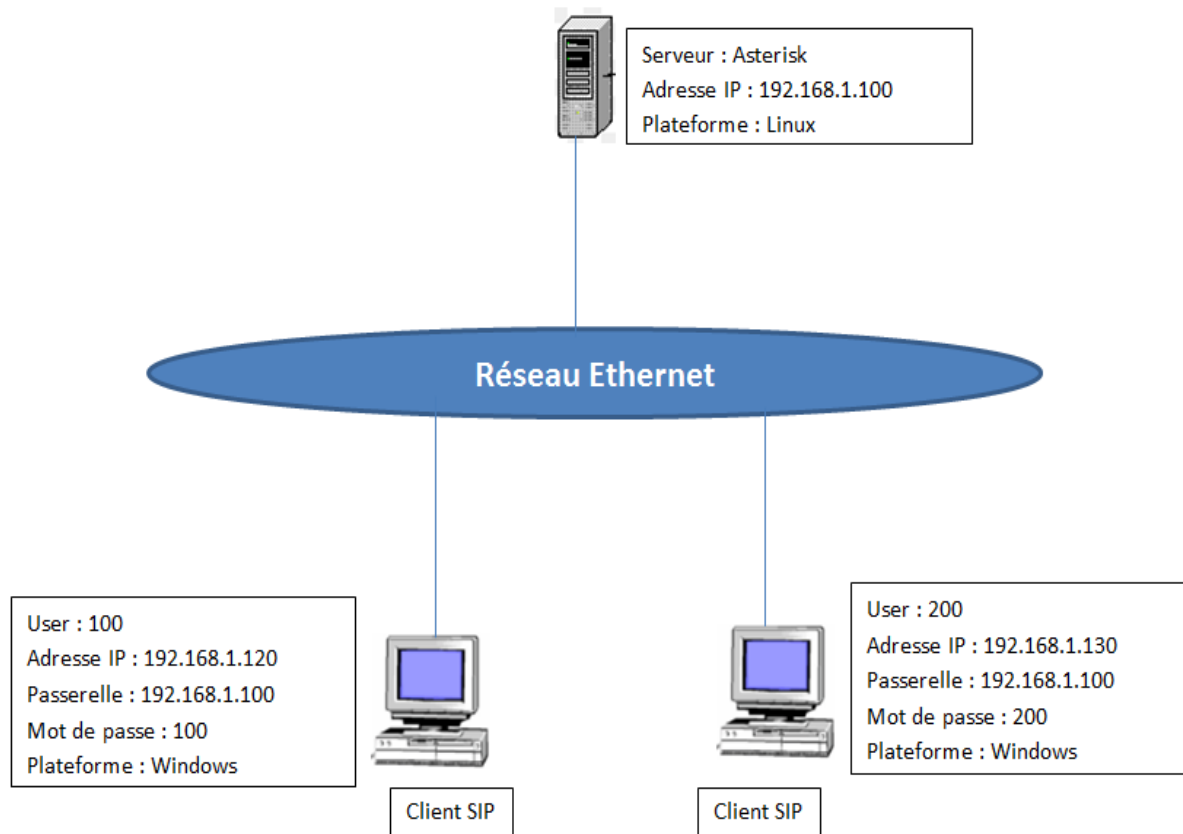


Figure 4.1 : Architecture du réseau VoIP à réaliser.

- **Les deux clients SIP** : Sont des machines sur lesquelles installé le système d'exploitation Windows 7 et un client X-Lite.
- **Machine serveur** : Sur laquelle installé un système d'exploitation Linux Centos, et le serveur de VoIP, Asterisk.
- **Firewall** : Un firewall software est installé dans la machine serveur pour limiter l'accès.

4.4 Mise en place du serveur Asterisk et du client X-Lite :

4.4.1 Configuration d'Asterisk :

Asterisk étant bien installé, nous allons maintenant procéder à sa configuration. Cette étape nécessite la compréhension du principe de routage des appels à travers ce serveur.

Pour passer à la configuration on tape la commande « setup » une fenêtre s'affiche :

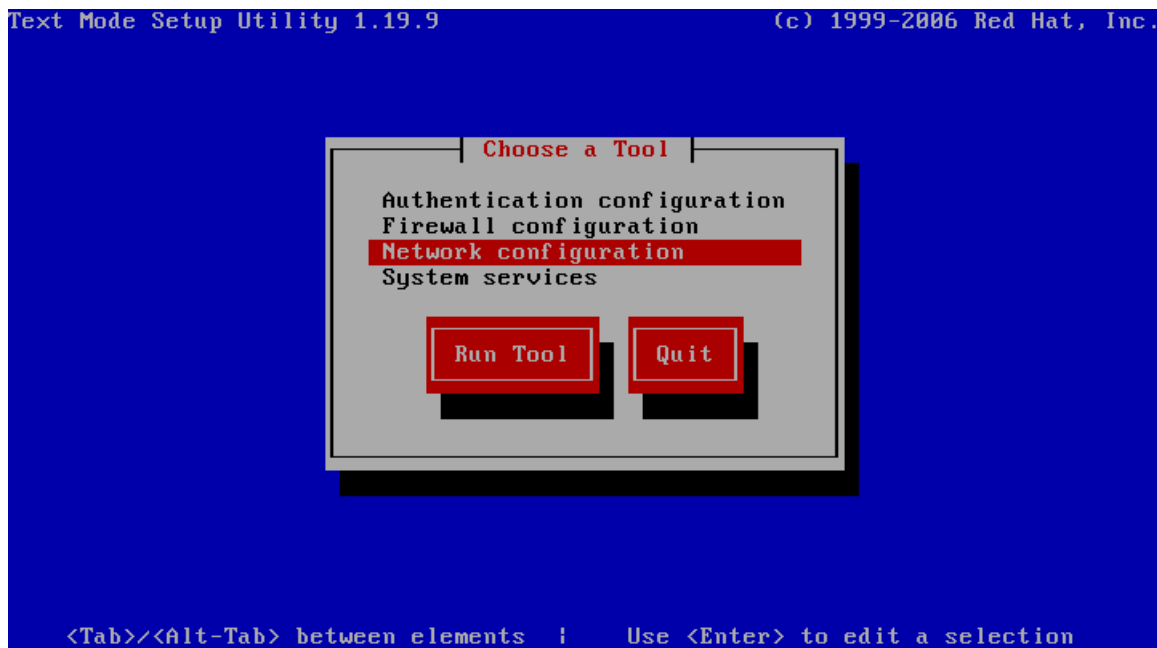


Figure 4.2 : Configuration de la carte réseau.

Après la configuration de la carte réseau, nous accédons à l'interface web de configuration d'Asterisk en entrant l'adresse du serveur dans un navigateur internet :

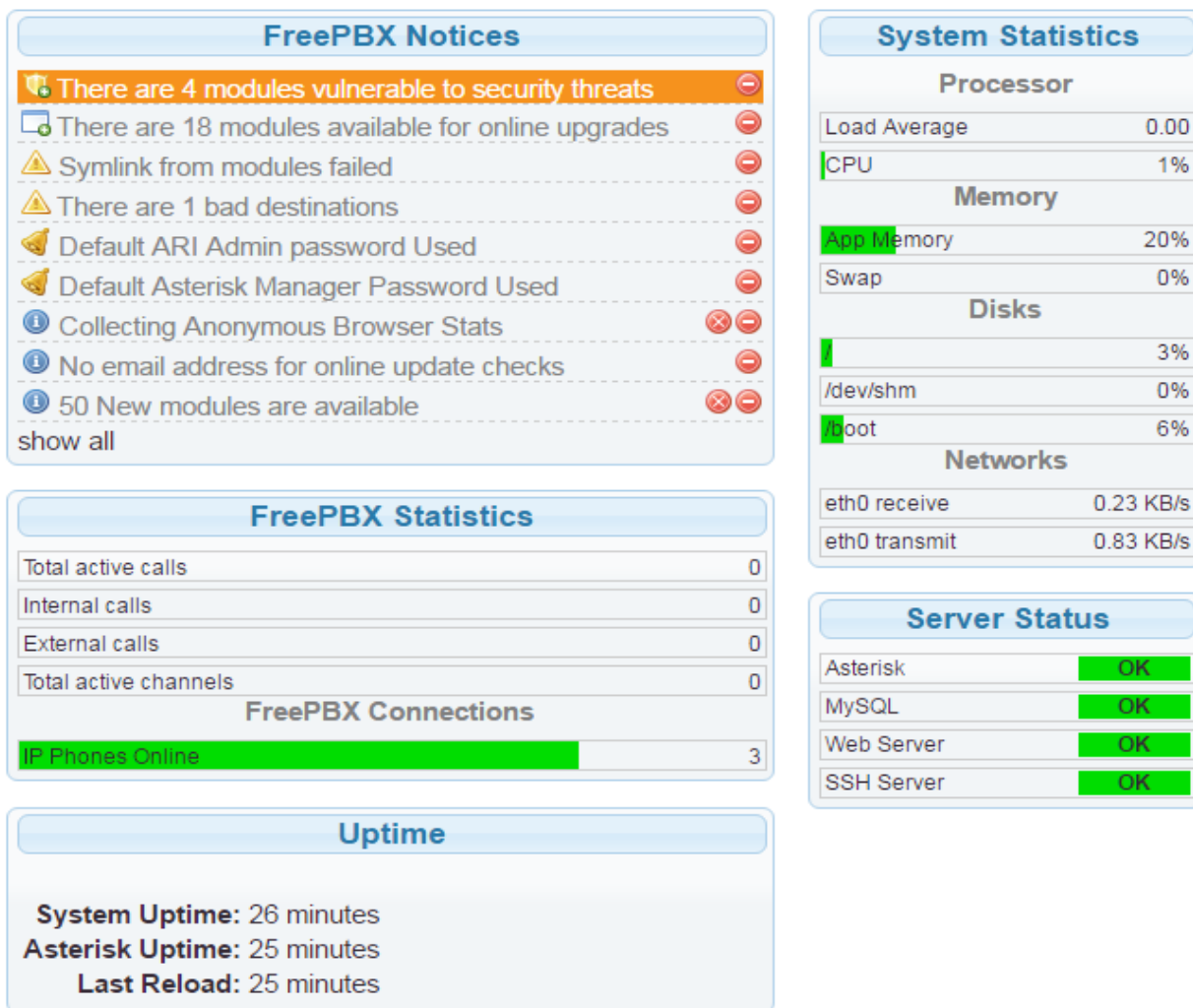


Figure 4.3 : Configuration Asterisk.

Nous commençons par ajouter des extensions (ici generic SIP device). Une extension représente simplement un numéro de téléphone comme le présente la figure suivante :

- Add Extension

User Extension	<input type="text" value="100"/>
Display Name	<input type="text" value="user1"/>
CID Num Alias	<input type="text"/>
SIP Alias	<input type="text"/>

- Extension Options

Outbound CID	<input type="text"/>
Asterisk Dial Options	<input type="text" value="Ttr"/> <input type="checkbox"/> Override
Ring Time	<input type="text" value="Default"/>
Call Forward Ring Time	<input type="text" value="Default"/>
Outbound Concurrency Limit	<input type="text" value="No Limit"/>
Call Waiting	<input type="text" value="Enable"/>
Call Screening	<input type="text" value="Disable"/>
Pinless Dialing	<input type="text" value="Disable"/>
Emergency CID	<input type="text"/>
Queue State Detection	<input type="text" value="Use State"/>

- Assigned DID/CID

DID Description	<input type="text"/>
Add Inbound DID	<input type="text"/>
Add Inbound CID	<input type="text"/>

Figure 4.4 : Ajout des extensions.

Pour chaque extension, nous indiquons le numéro SIP, le nom qui s'affichera pour les appels passés et le mot de passe SIP ("secret"). Le bouton "submit" enregistre les modifications, mais sans les appliquer.

Après avoir ajouté toutes les extensions, il faut appliquer les modifications sur le serveur, ce qui redémarrera le service Asterisk.

4.4.2 Installation et configuration du Client X-Lite :

X-Lite est un logiciel propriétaire gratuit client de téléphonie sur IP appelé également softphone, basé sur le protocole standard ouvert SIP.

X-Lite est un logiciel multiplateforme pour Mac OS X, Windows et Linux. Associé à un compte SIP, il permet de bénéficier de tous les services téléphoniques traditionnels : conférence, double appels...

La figure suivante montre l'interface de configuration du softphone x-lite :

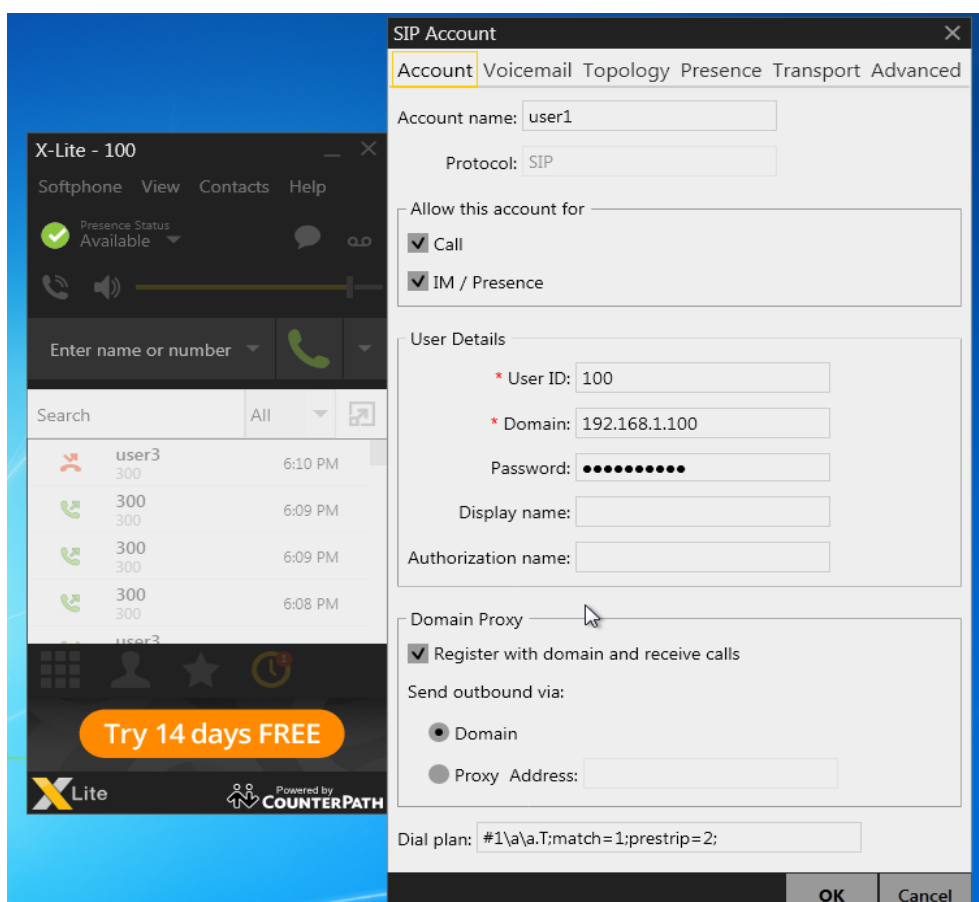


Figure 4.5 : Configuration X-Lite.

Pour configurer le client X-Lite l'utilisateur « 100 » et aussi « 200 » doivent accéder au menu « Sip Account Setting » puis de ce menu vers le sous menu « Sip Account». Dans la fenêtre qui s'ouvre, il suffit de remplir les champs illustré suivant des deux utilisateurs :

L'utilisateur 100 :

- Identifiant affiché pour l'utilisateur (user ID) : 100
- Identifiant servant à loguer l'utilisateur (User Name) : user1
- Mot de passe associé (User Name) : user123456
- Nom de domaine (Domain) : 192.168.1.100

4.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'environnement matériel du travail, ainsi que les différents logiciels open sources adoptés pour mettre en place plusieurs services de voix sur IP.

4.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous proposons de réaliser une plateforme intégrant certains services de voix sur IP offerts par Asterisk.

Cette réalisation consiste à la mise en place et la configuration d'une machine contenant le serveur Asterisk, d'autre part l'installation et la configuration du client X-Lite et la configuration de certains services.

4.2 Description de la plateforme :

4.2.1 Eléments matériels :

- Une machine Linux pour l'installation du serveur Asterisk et le gestionnaire des relations clients.
- Des PCs clients équipés d'un système d'exploitation Windows 7 professionnel et d'un logiciel X-Lite.

Les PCs sont connectés au réseau local.

4.2.2 Eléments logiciels :

- Asterisk : utilisé comme serveur de téléphonie qui est un autocommutateur téléphonique privée (PABX) open source pour les systèmes d'exploitation INUX, il est publié sous licence GPL.

Asterisk comprend un nombre très élevé de fonctions, tel que les appels téléphoniques, la messagerie vocale, les files d'attentes, les conférences, etc. Il implémente plusieurs protocoles H.320, H.323, SIP et IAX.

- X-lite : utilisé comme client de téléphonie, une application dédié à l'acheminement des communications audio et vidéo.
- WireShark : est un analyseur de paquets libre utilisé dans le dépannage et l'analyse de réseaux informatiques.

4.3 Architecture du réseau VoIP déployé :

La figure 4.1 montre l'architecture adoptée au cours de la configuration de la solution de VoIP à base d'Asterisk.

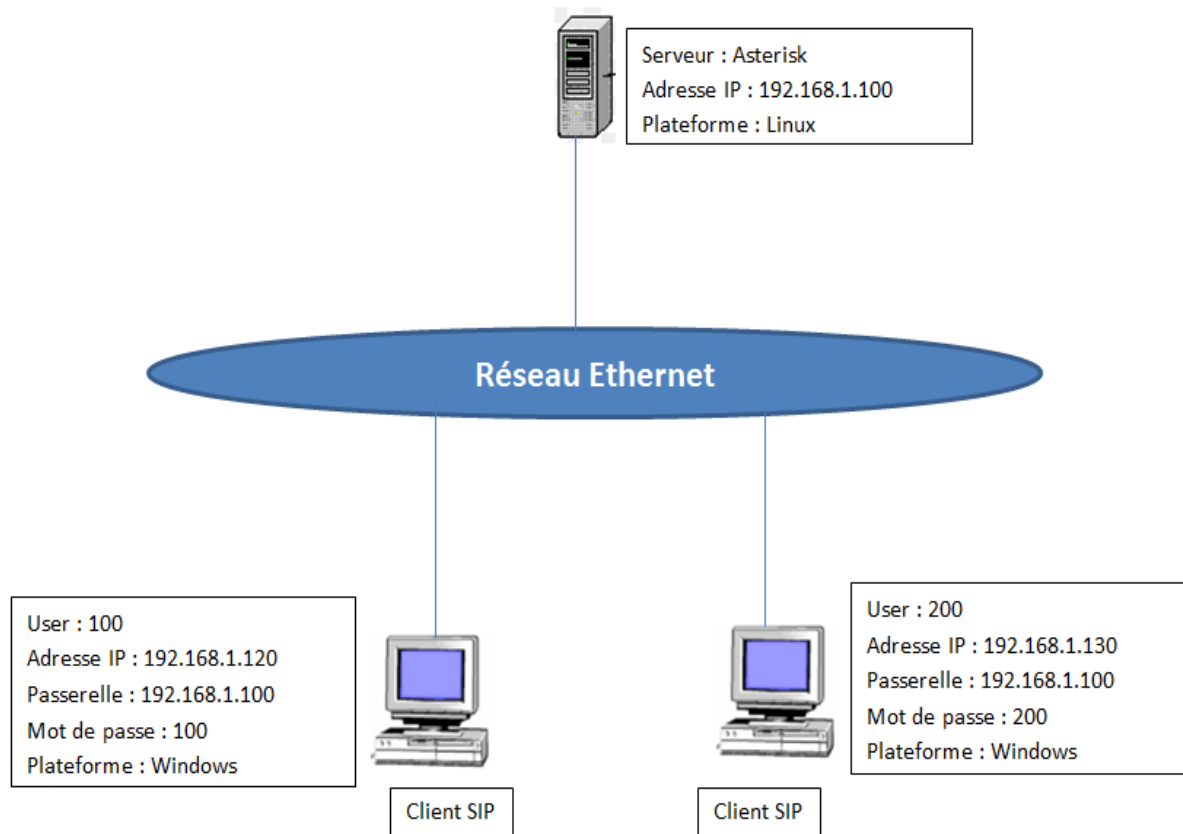


Figure 4.1 : Architecture du réseau VoIP à réaliser.

- **Les deux clients SIP** : Sont des machines sur lesquelles installé le système d'exploitation Windows 7 et un client X-Lite.
- **Machine serveur** : Sur laquelle installé un système d'exploitation Linux Centos, et le serveur de VoIP, Asterisk.
- **Firewall** : Un firewall software est installé dans la machine serveur pour limiter l'accès.

4.4 Mise en place du serveur Asterisk et du client X-Lite :

4.4.1 Configuration d'Asterisk :

Asterisk étant bien installé, nous allons maintenant procéder à sa configuration. Cette étape nécessite la compréhension du principe de routage des appels à travers ce serveur.

Pour passer à la configuration on tape la commande « setup » une fenêtre s'affiche :

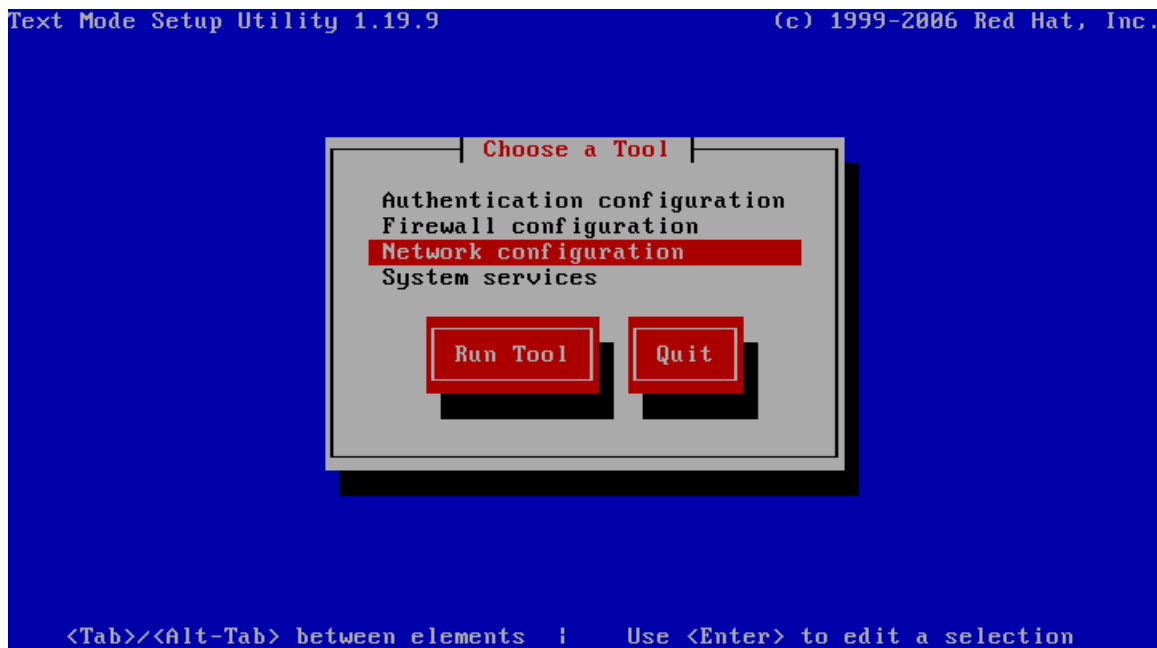


Figure 4.2 : Configuration de la carte réseau.

Après la configuration de la carte réseau, nous accédons à l'interface web de configuration d'Asterisk en entrant l'adresse du serveur dans un navigateur internet :

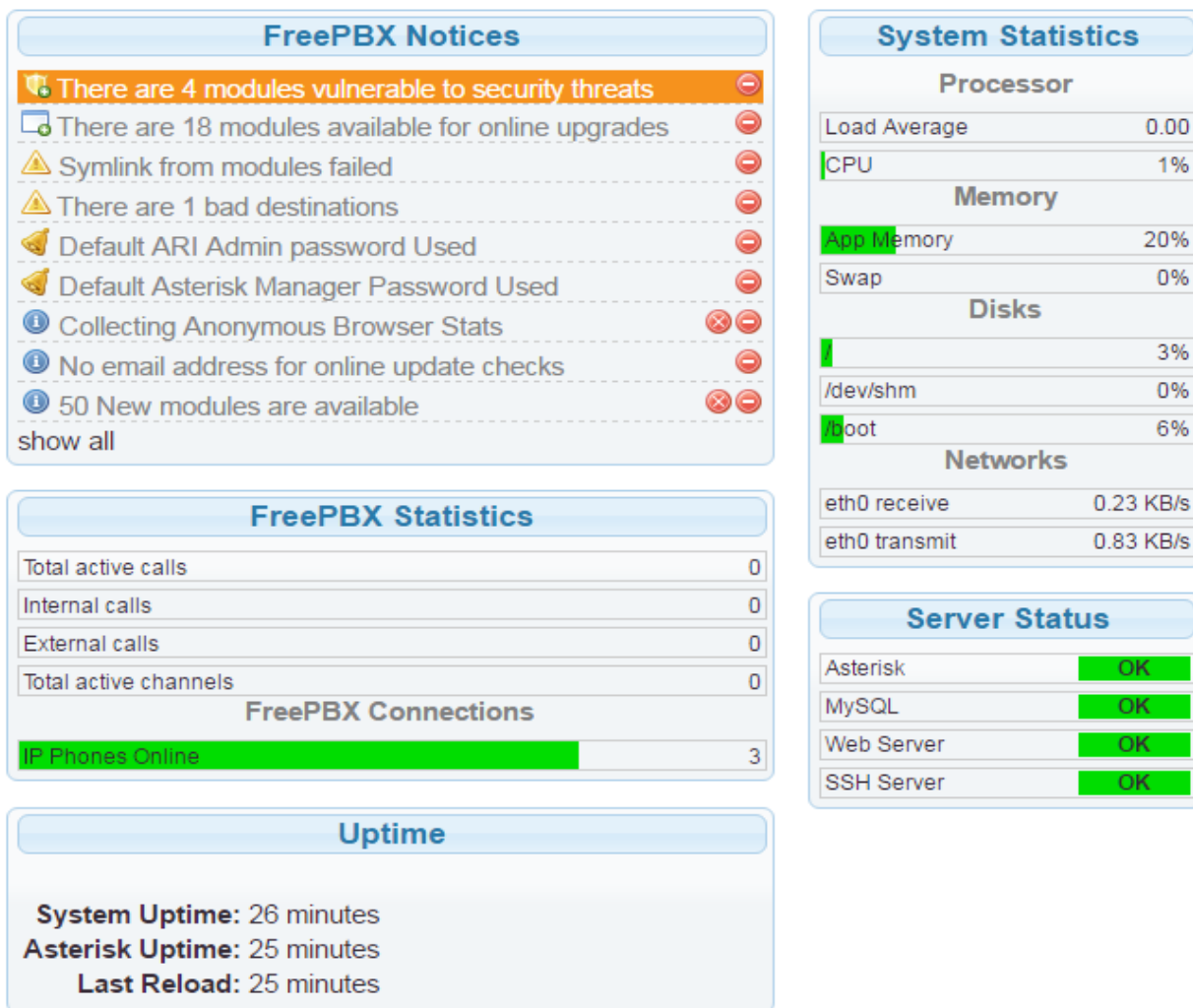


Figure 4.3 : Configuration Asterisk.

Nous commençons par ajouter des extensions (ici generic SIP device). Une extension représente simplement un numéro de téléphone comme le présente la figure suivante :

- Add Extension

User Extension [?]	<input type="text" value="100"/>
Display Name [?]	<input type="text" value="user1"/>
CID Num Alias [?]	<input type="text"/>
SIP Alias [?]	<input type="text"/>

- Extension Options

Outbound CID [?]	<input type="text"/>
Asterisk Dial Options [?]	<input type="text" value="Ttr"/> <input type="checkbox"/> Override
Ring Time [?]	<input type="text" value="Default"/>
Call Forward Ring Time [?]	<input type="text" value="Default"/>
Outbound Concurrency Limit [?]	<input type="text" value="No Limit"/>
Call Waiting [?]	<input type="text" value="Enable"/>
Call Screening [?]	<input type="text" value="Disable"/>
Pinless Dialing [?]	<input type="text" value="Disable"/>
Emergency CID [?]	<input type="text"/>
Queue State Detection [?]	<input type="text" value="Use State"/>

- Assigned DID/CID

DID Description [?]	<input type="text"/>
Add Inbound DID [?]	<input type="text"/>
Add Inbound CID [?]	<input type="text"/>

Figure 4.4 : Ajout des extensions.

Pour chaque extension, nous indiquons le numéro SIP, le nom qui s'affichera pour les appels passés et le mot de passe SIP ("secret"). Le bouton "submit" enregistre les modifications, mais sans les appliquer.

Après avoir ajouté toutes les extensions, il faut appliquer les modifications sur le serveur, ce qui redémarrera le service Asterisk.

4.4.2 Installation et configuration du Client X-Lite :

X-Lite est un logiciel propriétaire gratuit client de téléphonie sur IP appelé également softphone, basé sur le protocole standard ouvert SIP.

X-Lite est un logiciel multiplateforme pour Mac OS X, Windows et Linux. Associé à un compte SIP, il permet de bénéficier de tous les services téléphoniques traditionnels : conférence, double appels...

La figure suivante montre l'interface de configuration du softphone x-lite :

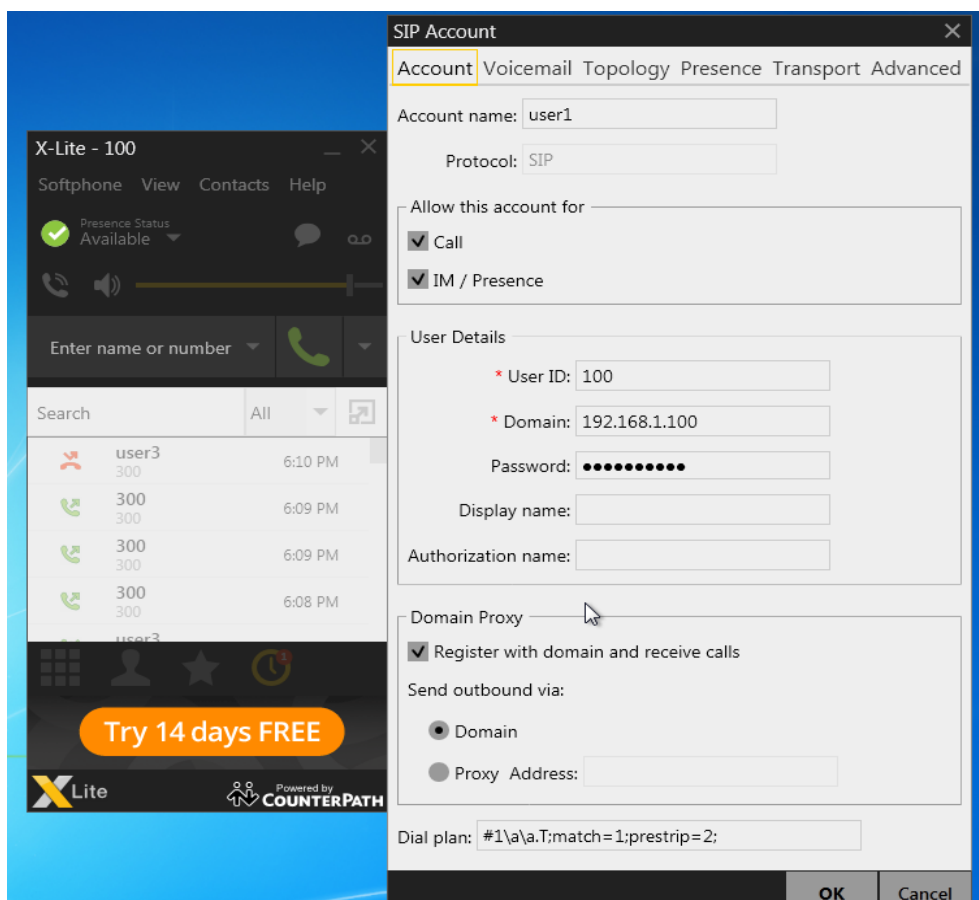


Figure 4.5 : Configuration X-Lite.

Pour configurer le client X-Lite l'utilisateur « 100 » et aussi « 200 » doivent accéder au menu « Sip Account Setting » puis de ce menu vers le sous menu « Sip Account». Dans la fenêtre qui s'ouvre, il suffit de remplir les champs illustré suivant des deux utilisateurs :

L'utilisateur 100 :

- Identifiant affiché pour l'utilisateur (user ID) : 100
- Identifiant servant à loguer l'utilisateur (User Name) : user1
- Mot de passe associé (User Name) : user123456
- Nom de domaine (Domain) : 192.168.1.100

4.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'environnement matériel du travail, ainsi que les différents logiciels open sources adoptés pour mettre en place plusieurs services de voix sur IP.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail, après avoir établi des études sur la voix IP et les réseaux 4G, est de voir les performances de cette génération dans la transmission de la voix sur un réseau IP.

La VoIP est un service en pleine expansion dans le monde. Sa qualité est faible surtout dans le cadre de l'utilisation de l'Internet public.

On peut s'attendre à une amélioration de cette qualité dans les années à venir mais cela prendra du temps et surtout coûtera beaucoup d'argent.

L'avenir du service VoIP dépendra des efforts de rééquilibrage des tarifs que feront les opérateurs historiques, de l'évolution des taxes de répartition dans le temps. La fourniture du service doit être encouragée dans nos pays car il pourra répondre à un besoin social des populations qui ont un pouvoir d'achat bas.

Nous pensons que les opérateurs historiques doivent fournir des gammes de service dont les prix varient en fonction de la qualité.

Enfin, les Organes de Régulation doivent arriver à faire une bonne politique de régulation afin que la VoIP puisse se développer de manière harmonieuse avec la téléphonie classique.

Ce travail a été une expérience fructueuse qui nous a permis de mieux s'enrichir dans le domaine des télécommunications. Cette expérience nous a permis de savoir comment gérer et optimiser le temps dans le but d'en profiter au maximum.

Bibliographie

[1] : BOUCHENTOUF Hadjer et BOUDGHENE STAMBOULI Riyad, « Etudes des performances des réseaux 4G(LTE) ». Mémoire de MASTER en Télécommunication, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2013.

[2] : TONYE.E et EWOUSSAOUA.L, « Planification et ingénierie des Réseaux de Télécoms », mémoire pro 2 de télécommunication, Université de Yaounde I, 2011

[3] : YAHIA Mokrane et KAROU Sadek, « Etude et mise en service d'une liaison Mini-Link TN pour un réseau de transmission 3G Traffic Node». Memeoir de MASTER en Télécommunication et Réseaux, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.

[4] : « www.efort.com », Date de consultation avril 2017.

[5] : « UMTS. Les origines, L'architecture, La norme », Auteur : Pierre Lescuyer, Edition : "DUNOD", Année : 2006.

[6] : Rebha Bouzaida, « Étude et Mise en place d'une Solution VOIP Sécurisée» Mémoire de projet de fin d'études présenté Pour l'obtention du Master Professionnel En Nouvelles Technologies Des Télécommunications et Réseaux, 2010-2011.

[7] : MANSOUR KHOUDJA Tamani, « implémentation d'un serveur asterisk pour la VoIP d'un réseau LAN» Mémoire de fin d'études présenté Pour l'obtention du diplôme de Master en électronique option réseaux et télécommunications, UMMTO, 2014-2015.

[8] :«http://www.memoireonline.com/10/13/7591/m_Etude-d-une-offre-technique-innovante-de-telephonie-sur-IP--Camtel-Cameroun24.html » Date de consultation avril 2017.

[9] : BRAHIMI Zouheira et ZELLOUMA Hadjra, « Effet d'HPA sur le système SC-FDMA » Mémoire de fin d'études présenté Pour l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE, Université Echahid Hamma Lakhdar-El Oued, 2015.

Bibliographie

[10] : Tarek BCHINI, « Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération » thèse en vue d'obtention du DOCTORAT, l'université de TOULOUSE, 2010.

[11] : SEIDE.G, « Planification d'un réseau de quatrième génération à Partir D'un Réseau De Troisième Génération », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise des sciences appliquées (génie informatique), Université de MONTREAL, 2011.

[12] : « LTE et les réseaux 4G », Auteur : Yannick Bouguen, Éric Hardouin et François - Xavier Wolff, Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.

[13] : YOES.H et ALWIS, « Evaluation des Performances Des Techniques D'Accès OFDMA et SC-FDMA Dans La Technologie LTE », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2012.