

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -
Université Mohammed Seddik BENYAHIA – Jijel –
Faculté des Sciences et de la Technologie



MÉMOIRE

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

En : Électronique

Option : Systèmes des Télécommunications

Thème

**Transition 2G/3G/4G en communication mobile :
cas site université d'ATM Mobilis**

Proposé par

M^{me} : MERDJANA. Hassina

M^r : HADDAD. Sofiane

M^r : BOUFERSADA. Ammar

Réalisé par

HACINI Kamel

KHELIFI Reda

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Au nom d'ALLAH le très Miséricordieux, le tout Miséricordieux à qui nous devons tout.

Au terme de ce travail, Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce projet dans les meilleures conditions.

Nous voudrions dans un premier temps remercier Monsieur **Boufersada Ammar**, notre encadreur externe, ingénieur et chef de centre maintenance d'ATM Mobilis Jijel, pour ses efforts, ses explications, sa disponibilité, ses conseils, son bon sens d'orientation et son soutien constant qui ont contribué à mener à bien ce projet.

Nos profonds remerciements s'adressent également à Madame **Merdjana Hassina** qui a fait l'honneur d'accepter d'être notre encadrante pédagogique. Pour cela, nous la remercions pour tous ses précieux conseils et recommandations qui ont été d'une grande utilité, nous lui exprimons notre profonde gratitude.

Aussi, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide de Monsieur **Haddad Sofiane**, on le remercie pour son bon sens d'orientation, pour sa patience et sa disponibilité durant notre préparation de ce projet.

Nous exprimons aussi notre reconnaissance à nos **enseignants** de l'université de Jijel qui ont si bien mené leur noble métier.

Nos vifs remerciements aux **membres du jury** pour l'honneur et l'amabilité d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail.

Dédicaces

Avec l'aide d'**Allah** le tout puissant clément et miséricordieux, j'ai pu accomplir ce travail que je dédie

À la mémoire de mon très cher père

Bachir, décédé trop tôt. Les mots ne seront jamais assez forts pour t'exprimer l'amour que je te portais. Ta patience sans fin, tes sacrifices, tes encouragements et tes précieux conseils ont été pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Depuis ma tendre enfance, tu étais mon plus fort repère, le meilleur des pères.

Que dieu, le tout puissant et miséricordieux lui accorde son infinie miséricorde et l'accueille dans son éternel paradis.

À ma très chère mère

Naima, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Tu as toujours été présente à mes côtés pour donner du sens à ma vie.

Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie.

À tous les membres de ma famille

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon affection

À mes amis

Avec qui je partage des moments de ma vie au fil du temps, je vous offre cette dédicace d'amitié

À mon cher binôme Reda

Et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail

À Dieu le tout puissant, mon créateur

À mes très chers parents

Pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien être. Je les remercie pour tout le soutien et l'amour qu'ils me portent depuis mon enfance et j'espère que leur bénédiction m'accompagne toujours. Que ce travail soit l'exaucement de leurs vœux tant formulés, le fruit de leurs innombrables sacrifices, bien que je ne m'en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le tout puissant, vous procurer santé, bonheur et longue vie.

À mes frères & ma chère sœur

Qui font ma force et ma fierté.

Votre amour et soutien continus ont eu le plus grand effet sur mon parcours, je vous souhaite tout le bonheur du monde.

À tous les membres de ma famille

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon affection.

À mes amis

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

À mon cher binôme Kamel

Et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Résumé

Ce projet de fin d'études vise à faire une étude sur la transition des réseaux mobiles de la deuxième génération passant par la troisième génération et arrivant enfin à la quatrième génération au niveau du site BTS université (18601) d'ATM Mobilis.

Cette étude s'est portée principalement sur les équipements et leurs fonctionnalités utilisés par le site étudié.

Ce projet regroupe les modules suivants : description des architectures et des techniques d'accès de chaque génération étudiée.

Une étude réelle a été effectuée au sein du site BTS université sur les équipements utilisés.

Mots clés

2G, 3G, 4G, LTE, Mobilité, Réseaux mobiles, BTS, RBS, TDMA, CDMA, Débit, ATM Mobilis...

Table des matières

TABLE DES MATIERES	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION GENERALE	1

Chapitre 1 : Généralités sur les télécommunications mobiles

1 INTRODUCTION	4
2 DEFINITION ET CONCEPT DE BASE	4
2.1 PRESENTATION DES CELLULES	4
2.2 PROPAGATION EN CONTEXTE RADIO-MOBILE	7
3 ARCHITECTURE D'UN RESEAU MOBILE	8
4 ALLOCATION DE SPECTRE	9
5 MOBILITE DANS LES RESEAUX MOBILES	9
6 PRESENTATION DU 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP)	9
7 ÉVOLUTION DES RESEAUX MOBILES	11
7.1 PREMIERE GENERATION (1G)	13
7.2 DEUXIEME GENERATION (2G)	13
7.2.1 <i>Présentation de l'infrastructure d'un réseau GSM (Global System for Mobile Communications)</i>	14
7.2.2 <i>Equipements et leurs fonctions dans un réseau GSM</i>	15
7.2.3 <i>Bandes de fréquences</i>	16
7.2.4 <i>Introduction du GPRS (General Packet Radio Service)</i>	16
7.2.5 <i>Introduction de l'évolution EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)</i>	16
7.3 TROISIEME GENERATION (3G)	17
7.3.1 <i>Présentation de l'infrastructure d'un réseau UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)</i>	18
7.3.2 <i>Bandes de fréquences</i>	18
7.3.3 <i>Introduction du HSPA (High Speed Packet Access)</i>	19
7.3.4 <i>Introduction du High Speed Packet Access + (HSPA+)</i>	19
7.4 EVOLUTION VERS LA QUATRIEME GENERATION (4G)	20
7.4.1 <i>Bandes de fréquences</i>	21
7.4.2 <i>LTE-Advanced</i>	21
7.4.3 <i>LTE-Advanced Pro</i>	22

8 CONCLUSION	22
Chapitre 2 : Deuxième et troisième génération de réseaux mobiles	
1 INTRODUCTION	24
2 EQUIPEMENTS ET FONCTIONS DANS UN RESEAU GSM	25
2.1 SOUS-SYSTEME FIXE (NSS)	25
2.1.1 Centre de commutation mobile (MSC)	25
2.1.2 Enregistreur de localisation géographique des abonnés (HLR)	26
2.1.3 Centre d'authentification (AUC)	26
2.1.4 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)	27
2.1.5 Enregistreur des identités des équipements (EIR)	27
2.2 SOUS-SYSTEME D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE (OSS)	27
2.2.1 Operations and Maintenance Center (OMC) et le Network and Management Center (NMC)	28
3 SOUS SYSTEME RADIO (BSS)	28
3.1 STATION DE BASE (BTS)	28
3.2 CONTROLEUR DE STATION DE BASE (BSC)	29
3.3 STATION MOBILE DE L'UTILISATEUR FINAL (MS)	29
3.3.1 Équipement mobile (ME)	29
3.3.2 Carte SIM	29
4 HANDOVER DANS LE GSM	30
4.1 HANDOVER INTER ET INTRA SYSTEMES	30
4.2 HARD HANDOVER	31
5 BANDES DE FREQUENCES	31
6 MODULATION	32
7 TECHNIQUES D'ACCES MULTIPLE	33
7.1 ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION EN FREQUENCE (FDMA)	33
7.2 ACCES MULTIPLE A REPARTITION DANS LE TEMPS (TDMA)	33
8 GENERAL PACKET RADIO SERVICE (GPRS)	34
9 ENHANCED DATA RATES FOR GSM EVOLUTION (EDGE)	35
10 ARCHITECTURE DU RESEAU 3G	37
10.1 RESEAU CŒUR (CN)	37
10.1.1 Domaine à commutation de circuits (CS)	38
10.1.2 Domaine à commutation de paquet (PS)	38
10.1.3 Éléments communs	38
10.2 RESEAU D'ACCES RADIO (UTRAN)	39
10.2.1 Node B	40
10.2.2 Radio Network Controller (RNC)	40
10.3 STATION MOBILE (MS)	40

10.3.1	Équipement mobile (ME)	41
10.3.2	Universal Subscriber Identity Module (USIM)	41
11	INTERFACES DANS LE RESEAU UMTS	41
12	BANDES DE FREQUENCES	42
13	HANDOVER EN UMTS	43
13.1	HANDOVER INTRA ET INTER SYSTEMES	43
13.2	SOFT HANDOVER	43
13.3	MECANISMES DE MOBILITE EN MODE CONNECTE COURAMMENT UTILISES EN 2G ET 3G	45
14	TECHNIQUES D'ACCES AU RESEAU UTILISEES EN 3G	45
14.1	DEFINITION DE LA TECHNIQUE ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION EN CODE (CDMA)	46
14.2	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	47
14.2.1	FH-CDMA (Frequency Hop)	48
14.2.2	DS-CDMA (Direct Séquence)	48
14.3	CONTROLE DE PUISSANCE	49
15	DUPLEXAGE	50
15.1	DUPLEX A REPARTITION EN FREQUENCE (FDD)	50
15.2	DUPLEX A REPARTITION DANS LE TEMPS (TDD)	50
16	EVOLUTION DE L'UMTS	50
16.1	HIGH SPEED PACKET ACCESS (HSPA)	51
16.2	HIGH SPEED PACKET ACCESS + (HSPA+)	51
17	CONCLUSION	52

Chapitre 3 : Quatrième génération de réseaux mobiles

1	INTRODUCTION	54
2	MOTIVATIONS POUR L'INTRODUCTION DU LTE	54
2.1	CAPACITE	54
2.2	DEBIT	56
2.3	LATENCE	56
3	PRESENTATION DE L'INFRASTRUCTURE D'UN RESEAU 4G	57
3.1	RESEAU D'ACCES (E-UTRAN)	57
3.2	RESEAU CŒUR (EPC)	58
3.2.1	Entité de gestion de la mobilité (MME)	59
3.2.2	Passerelle de service (SGW)	59
3.2.3	Passerelle PDN (PGW)	60
3.2.4	Service d'abonné de rattachement (HSS)	60
3.2.5	Policy Charging Rules Function (PCRF)	60

4 BANDES DE FREQUENCES	62
5 MODULATION	65
5.1 MODULATION EN QUADRATURE DE PHASE (QPSK)	66
5.2 MODULATION 16-QAM	66
5.3 MODULATION 64-QAM	66
6 TECHNIQUES D'ACCES MULTIPLE	66
6.1 MULTIPLEXAGE PAR REPARTITION ORTHOGONALE DE LA FREQUENCE (OFDM)	67
6.2 ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION EN FREQUENCE ORTHOGONALE (OFDMA)	68
6.3 SINGLE-CARRIER FDMA (SC-FDMA)	69
7 STRUCTURE DE TRAME DE L'INTERFACE RADIO	70
8 TECHNOLOGIE ENTREES MULTIPLES, SORTIES MULTIPLES (MIMO)	71
9 CANAUX	73
10 HANDOVER EN LTE	74
11 CONCLUSION	74

Chapitre 4 : Étude d'un site GSM ATM Mobilis

1 INTRODUCTION	76
2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL : ATM MOBILIS	76
2.1 ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE	77
2.2 REGIONS D'ATM MOBILIS	77
2.2.1 MSCs ATM Mobilis	78
2.2.2 LES HLR ATM Mobilis	78
3 ÉTUDE DU SITE BTS UNIVERSITE (18601) D'ATM MOBILIS	79
3.1 CARACTERISTIQUES DU SITE BTS	79
3.2 DESCRIPTION DU SITE BTS	80
3.2.1 Banc de batteries	80
3.2.2 Unité de climatisation	81
3.2.3 Antenne	81
3.2.4 Station de base RBS 6201	82
4 DESCRIPTION DE LA STATION DE BASE RBS 6201	84
4.1 SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE LA RBS 6201	84
4.2 ARCHITECTURE MATERIELLE	85
4.2.1 Étagère d'alimentation	85
4.2.2 Étagères radio	86
5 PROCESSUS DE MIGRATION SELON LA TECHNOLOGIE	87
5.1 TECHNOLOGIE 2G	87
5.1.1 Ancien équipement de la famille RBS 2000	87
5.1.2 Nouvel équipement RBS 6201	88

5.1.3	<i>Technique d'accès utilisée</i>	88
5.2	TECHNOLOGIE 3G	92
5.2.1	<i>Ancien équipement de la famille RBS 3000</i>	92
5.2.2	<i>Nouvel équipement RBS 6201</i>	93
5.2.3	<i>Technique d'accès utilisée</i>	93
5.3	TECHNOLOGIE 4G	95
5.3.1	<i>Nouvel équipement RBS 6201</i>	95
6	CONFIGURATION DES UNITES RADIO ET UNITES NUMERIQUES DE LA RBS 6201	97
7	UNITE DE TRANSMISSION	97
8	RETROSPECTIVES SUR L'EVOLUTION DE LA PARTIE DU RESEAU D'ACCES RADIO (RAN)	100
9	CONCLUSION	102
	CONCLUSION GENERALE	104
	BIBLIOGRAPHIE	106

Liste des abréviations

1

1G · *Première génération*

2

2G · *Deuxième génération*

3

3G · *Troisième génération*
3GPP · *3rd Generation Partnership Project*

4

4G · *Quatrième génération*

5

5G · *Cinquième génération*

A

ADSL · *Asymmetric digital subscriber line*
AMM · *Access Module Magazine*
ARPCÉ · *Autorité de Régulation de la Poste et des Communications Électroniques*
AT&T · *American Telephone & Telegraph*
ATM · *Asynchronous transfer mode*
ATM Mobilis · *Algérie Télécom Mobile Mobilis*
AUC · *Authentication Center*

B

BSC · *Base Station Controller*
BSS · *Base Station Subsystem*
BTS · *Base Transceiver Station*

C

CAPEX · *capital expenditure*
CDMA · *Code Division Multiple Access*
CN · *Core Network*
CoMP · *Coordinated Multi-Point*
CP · *Cyclic Prefix*
CPC · *Continuous Packet Connectivity*
CS · *Circuit Switched*

D

DC-HSDPA · *Dual Carrier HSDPA*
DC-HSUPA · *Dual Carrier HSUPA*
DCS 1800 · *Digital cellular system 1800 MHz*
DS-CDMA · *Direct Sequence Code Division Multiple Access*
DU · *Digital Unit*

E

EDGE · *Enhanced Data rates for GSM Evolution*
EFR · *Enhanced Full Rate*
eIMTA · *enhanced Interference Mitigation and Traffic Adaptation*
EIR · *Equipment Identity Register*
eNodeB · *Evolved Node B*
EPC · *Evolved Packet Core, Evolved Packet Core*
ETSI · *European Telecommunications Standards Institute*
eUTRAN · *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*

F

FDD · *Frequency Division Duplex*
FDMA · *Frequency Division Multiple Access*
FH-CDMA · *Frequency Hopping Code Division Multiple Access*

FSK · *Frequency Shift Keying*

G

GERAN · *GSM EDGE Radio Access Network*
 GGSN · *Gateway GPRS Support Node*
 GMSC · *Gateway Mobile Switching Centre*
 GMSK · *Gaussian Minimum-Shift Keying*
 GPRS · *General Packet Radio Service*
 GSM · *Global System for Mobile Communications*

H

HARQ · *Hybrid automatic repeat request*
 HetNet · *Heterogeneous networks*
 HLR · *Home Location Register*
 HSDPA · *High Speed Downlink Packet Access*
 HSPA+ · *High Speed Packet Access +*
 HSUPA · *High Speed Uplink Packet Access*

I

IDC · *In-Device Coexistence*
 IMEI · *International Mobile Equipment Identity*
 IMSI · *International Mobile Subscriber Identity*
 IoT · *Internet of Things*
 IP · *Internet Protocol*
 IS-95 · *Interim Standard 95*
 ISO · *International Organization for Standardization*

L

LAN · *Local Area Network*
 LTE · *Long Term Evolution*
 LTE-LAA · *LTE-License Assisted Access*
 LTE-M · *LTE-Machine*

LTE-U · *LTE-Unlicensed*

M

MAC · *media access control address*
 MCC · *Mobile Country Codes*
 M-commerce · *Mobile commerce*
 MIMO · *Multiple Input Multiple Output*
 MME · *Mobility Management Entity*
 MNC · *Mobile Network Codes*
 MS · *Mobile Station*
 MSC · *Mobile Switching Center*
 MSIN · *Mobile Subscription Identification Number*
 MSISDN · *Mobile Station ISDN Number*

N

NAS · *Non-Access Stratum*
 NLOS · *Non-Line-of-Sight*
 NMC · *Network and Management Center*
 NMT · *Nordic Mobile Telephone*
 NR · *New Radio*
 NSS · *Network Switching Subsystem*
 NTT · *Nippon Telephone and Telegraph*

O

OFDM · *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
 OFDMA · *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*
 OMC · *Operation and Maintenance Center*
 OPEX · *Operating Expenditure*
 OSS · *Operation and Support System*

P

PCU · *Packet Control Unit*
 PAM · *Pulse-amplitude modulation*
 PAPR · *Peak-to-Average Power Ratio*
 PCG · *Project Coordination Group*

PCRF · *Policy Charging Rules Function*

PDH · *Plesiochronous digital hierarchy*

PDN · *Packet Data Network*

PDU · *Power Distribution Unit*

PGW · *PDN Gateway*

PLMN · *Public Land Mobile Network*

PS · *Packet Switched*

PSK · *Phase Shift Keying*

PSU · *Power Supply*

Q

QAM · *Quadrature Amplitude Modulation*

QPSK · *Quadrature Phase Shift Keying*

R

RAN · *Radio Access Network*

RAT · *Radio Access Technology*

RAU · *Radio Access Unit*

RBS · *Radio Base Station*

RC2000 · *Radiocom 2000*

RET · *Remote Electrical Tilt*

RNC · *Radio Network Controller*

IS-95 · *Interim Standard 95*

RRC · *Radio Ressource Control*

RTC · *réseau téléphonique commuté*

RU · *Radio Unit*

RUS · *Radio Unit all Standards*

S

SAE · *System Architecture Evolution*

SC-FDMA · *single-carrier frequency division multiple access*

SDH · *synchronous digital hierarchy*

SGSN · *Serving GPRS Support Node*

SGW · *Serving Gateway*

SIM · *Subscriber Identity Module*

T

TACS · *Total Access Communications System*

TDD · *Time Division Duplex*

TDMA · *Time Division Multiple Access*

TMA · *Tower Mounted Amplifier*

TRX · *Transceiver*

TSG · *Technical Specification Groups*

TX · *Transmit*

U

UE · *User Equipment*

UIT · *Union Internationale des Télécommunications*

UIT-R · *Union Internationale des Télécommunications- Radiocommunication*

UMTS · *Universal Mobile*

Telecommunications System

USIM · *Universal Subscriber Identity Module*

UTRAN · *Universal Terrestrial Radio access network*

V

VLR · *Visitor Location Register*

W

W-CDMA · *Wideband Code Division Multiple Access*

WRC · *World Radiocommunication Conferences*

Liste des tableaux

TABLEAU 1.1 : DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE TELEPHONIE MOBILE. _____	12
TABLEAU 1.2 : ÉQUIPEMENTS ET LEURS FONCTIONS. _____	15
TABLEAU 1.3 : BANDES HERTZIENNES POUR LA TECHNOLOGIE W-CDMA EN DUPLEXAGE FDD. _____	18
TABLEAU 1.4 : BANDES HERTZIENNES POUR LA TECHNOLOGIE W-CDMA EN DUPLEXAGE TDD. _____	19
TABLEAU 2.1 : CODES MCC ET MNC DE L'ALGERIE. _____	30
TABLEAU 2.2 : INTERFACES DANS LE RESEAU UTRAN. _____	42
TABLEAU 2.3 : HANDOVER EN GSM, GPRS/EDGE ET EN UMTS. _____	45
TABLEAU 3.1 : ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION MOYENNE DE DONNEES DES UTILISATEURS DE SMARTPHONES. _____	55
TABLEAU 3.2 : COMPARAISON DES TERMINOLOGIES DES RESEAUX 4G ET 3G. _____	61
TABLEAU 3.3 : BANDES DE FREQUENCES POUR LA TECHNOLOGIE LTE. _____	63
TABLEAU 4.1 : SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE LA RBS 6201. _____	84
TABLEAU 4.2 : ROLE DES DIFFERENTES UNITES DU MODULE DE TRANSMISSION. _____	99

Liste des figures

FIGURE 1.1 : SYSTEME RADIO CELLULAIRE MIXTE.	6
FIGURE 1.2 : TOPOLOGIE D'UN RESEAU CELLULAIRE TRI SECTORISE A STRUCTURE HEXAGONALE.	7
FIGURE 1.3 : STRUCTURE D'UN RESEAU DE TELEPHONIE MOBILE.	8
FIGURE 1.4 : ÉVOLUTION DES RESEAUX MOBILES.	13
FIGURE 1.5 : ARCHITECTURE SIMPLIFIEE D'UN RESEAU GSM.	15
FIGURE 1.6 : ÉVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE LTE DURANT LES ANNEES SELON LES STANDARDS 3GPP.	22
FIGURE 2.1 : ARCHITECTURE D'UN RESEAU GSM.	25
FIGURE 2.2 : SCHEMA REPRESENTANT LES INFORMATIONS GEREES PAR LE HLR.	26
FIGURE 2.3 : PRINCIPE D'ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION EN FREQUENCE.	33
FIGURE 2.4 : PRINCIPE D'ACCES MULTIPLE PAR REPARTITION EN TEMPS.	34
FIGURE 2.5 : ARCHITECTURE DU RESEAU GPRS.	35
FIGURE 2.6 : SCHEMA GENERAL DE L'ARCHITECTURE D'UN RESEAU 3G.	37
FIGURE 2.7 : RESEAU D'ACCES UTRAN.	39
FIGURE 2.8 : STATION MOBILE (MS).	41
FIGURE 2.9 : SOFT HANDOVER.	44
FIGURE 2.10 : SOFTER HANDOVER.	44
FIGURE 2.11 : PRINCIPES DU SOFT HANDOVER ET DU HARD HANDOVER.	45
FIGURE 2.12 : TECHNIQUE CDMA.	46
FIGURE 2.13 : PRINCIPE D'UTILISATION DES CODES ORTHOGONAUX EN CDMA.	47
FIGURE 2.14 : PRINCIPE D'ETALEMENT DU SPECTRE.	49
FIGURE 2.15 : REPRESENTATION DES MODES FDD ET TDD.	50
FIGURE 3.1 : NOMBRE D'ABONNES MOBILES PAR TECHNOLOGIE.	55
FIGURE 3.2 : ARCHITECTURE RESEAU LTE/SAE.	57
FIGURE 3.3 : ARCHITECTURE DE L'E-UTRAN.	58
FIGURE 3.4 : REPRESENTATION DES CANAUX (BEARER) ENTRE LES DIFFERENTS ELEMENTS D'UN RESEAU LTE/SAE.	61
FIGURE 3.5 : DIAGRAMME DE CONSTELLATION DES MODULATIONS 4-QAM,16-QAM ET 64- QAM.	65
FIGURE 3.6 : PRINCIPE DE LA MODULATION OFDM.	67
FIGURE 3.7 : PRINCIPE D'INSERTION DU PREFIXE CYCLIQUE.	68
FIGURE 3.8 : DIFFERENCE ENTRE LES DEUX TECHNIQUES OFDM ET OFDMA.	68
FIGURE 3.9 : TECHNIQUES D'ACCES OFDMA ET SC-FDMA.	69
FIGURE 3.10 : STRUCTURE DE TRAME EN FDD ET FDD HALF-DUPLEX.	70
FIGURE 3.11 : STRUCTURE DE TRAME EN TDD.	71
FIGURE 3.12 : ILLUSTRATION SIMPLIFIEE DU FONCTIONNEMENT MIMO.	73
FIGURE 4.1 : LOGO DE MOBILIS.	76
FIGURE 4.2 : ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE ATM MOBILIS.	77
FIGURE 4.3 : REPRESENTATION D'UN SITE BTS.	79
FIGURE 4.4 : BANC DE BATTERIES.	80
FIGURE 4.5 : UNITE DE CLIMATISATION.	81
FIGURE 4.6 : COMPOSANTS INSTALLES SUR LE PYLONE.	82
FIGURE 4.7 : FEEDER, CONNECTEUR ET JUMPER.	82

FIGURE 4.8 : SERIE MACRO RBS 6000 EN CONFIGURATION INDOOR ET OUTDOOR.	83
FIGURE 4.9 : STATION DE BASE RBS 6201 DU SITE UNIVERSITE D'ATM MOBILIS.	84
FIGURE 4.10 : ARCHITECTURE MATERIELLE DE L'RBS 6201.	85
FIGURE 4.11 : SYSTEME D'ALIMENTATION (EN HAUT) ET SYSTEME DE DISTRIBUTION D'ENERGIE (EN BAS).	86
FIGURE 4.12 : UNITE RADIO (RU).	87
FIGURE 4.13 : UNITE NUMERIQUE (DU).	87
FIGURE 4.14 : STATION DE BASE RBS 2206.	88
FIGURE 4.15 : ATTRIBUTION DES INTERVALLES DE TEMPS (IT).	89
FIGURE 4.16 : SIGNAUX POUR TROIS UTILISATEURS.	89
FIGURE 4.17 : SIGNAUX DES TROIS UTILISATEURS COMBINES DANS LE CANAL.	90
FIGURE 4.18 : SIGNAL APRES LE PASSAGE DANS LE CANAL.	90
FIGURE 4.19 : SIGNAL D'ENTREE POUR CHAQUE UTILISATEUR.	91
FIGURE 4.20 : SIGNAUX MULTIPLEXES.	91
FIGURE 4.21 : SIGNAL REÇU PAR CHAQUE UTILISATEUR.	92
FIGURE 4.22 : STATION DE BASE RBS 3206.	93
FIGURE 4.23 : MESSAGE TRANSMIS UTILISANT LA TECHNIQUE CDMA.	94
FIGURE 4.24 : MESSAGE REÇU UTILISANT LA TECHNIQUE CDMA.	94
FIGURE 4.25 : BASE BAND 5216.	96
FIGURE 4.26 : PROCESSUS DE MIGRATION DES UNITES.	97
FIGURE 4.27 : EXEMPLE D'UNE LIAISON PAR FAISCEAUX HERTZIENS.	98
FIGURE 4.28 : MINI-LINK TN.	98
FIGURE 4.29 : ANTENNE ET UNITE RADIO.	100
FIGURE 4.30 : COMPARAISON ENTRE L'ANCIENNE ET LA NOUVELLE METHODE DE TRAVAIL.	101
FIGURE 4.31 : ANCIENNE ET NOUVELLE CONFIGURATION DU SITE BTS.	102

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La communication est l'une des richesses les plus fondamentales de toute société organisée. Déjà l'invention en 1876 du téléphone a été une avancée révolutionnaire pour l'homme qui avait dorénavant trouvé un moyen pour communiquer en temps réel avec des points de l'espace de plus en plus lointains, débarrassé de la contrainte d'une présence physique au côté de son interlocuteur. Cependant ces systèmes câblés présentaient en soit la tare de retenir prisonnier l'utilisateur, attaché aux prises murales caractérisant les réseaux filaires. Cette contrainte s'est avérée de plus en plus insupportable pour les peuples qui très tôt furent rêveurs et tout aussi exigeants faces aux progrès affichés dans les domaines des transmissions radio.

La délivrance fut possible avec, en début des années quatre-vingt, la première génération des réseaux mobiles, analogiques, qui offraient néanmoins très peu d'autonomie et ne proposaient pour tout service que le transport de la parole, et là encore dans des conditions difficiles.

Il aura fallu le début des années quatre-vingt-dix pour voir apparaître les premiers systèmes de téléphonie mobile efficaces, économiques et universels répondant aux exigences d'interconnexion et de mobilité du monde contemporain. Depuis, l'évolution des réseaux mobiles se fait à une vitesse céleste passant en une dizaine d'année de la deuxième génération aux réseaux dits de troisième génération qui offriront aux usagers non seulement une mobilité et une inter connectivité à l'échelle planétaire, mais aussi des services comparables à ceux offerts par les infrastructures existantes des réseaux d'opérateurs fixes d'origine européenne qui se sont imposés durant la dernière quinzaine d'année passée et ont été presque plébiscités par la majorité des opérateurs du monde entier.

En Algérie, les réseaux de télécommunications ont pris de plus en plus d'importance. Pour satisfaire au mieux les besoins et les intérêts des clients, les opérateurs doivent pouvoir offrir, au meilleur prix, des services d'excellente qualité.

Les utilisateurs des réseaux de télécommunications sont de plus en plus mobiles et de plus en plus exigeants en termes de fiabilité et de débit. Dans le but de satisfaire leurs demandes, les normes sont sans cesse améliorées. De nouveaux

services peuvent ainsi être offerts par les opérateurs de réseaux [1]. Le nombre total d'abonnements mobiles dans le monde s'élevait à environ 7,9 milliards au troisième trimestre de 2018 dont 5,7 milliards d'abonnements au haut débit mobile [2]. En Algérie, le parc de téléphonie mobile (2G, 3G et 4G) a connu une stabilité, passant de 45,818 millions d'abonnés fin 2016 à 45,846 millions en 2017 (nombre de puces vendus). Cette tendance à la stabilité, s'explique par la saturation du marché de la téléphonie mobile [3].

Afin de répondre à la demande croissante du haut débit, et pour surpasser les limitations de la 2G et la 3G en termes de débit, il a fallu déployer une nouvelle technologie dite 4G (LTE) qui implique de modifier le cœur du réseau et les émetteurs radio, mais aussi, l'utilisateur devra posséder un terminal mobile compatible.

De ce fait, l'opérateur ATM Mobilis, y compris les autres opérateurs (Djezzy et Ooredoo), voit nécessaire de déployer la 4G, qui va permettre aux utilisateurs mobiles d'accéder à leurs services en termes de disponibilité et de flexibilité. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet de fin d'études, en effet, on nous a confié la tâche d'étudier la transition du réseau 2G vers la 3G et ensuite vers la 4G pour le compte de l'opérateur public ATM Mobilis (BTS université).

Nous entamerons le travail par un premier chapitre qui portera sur les généralités des télécommunications mobiles et les étapes majeures de l'évolution de la technologie sans fil mobile.

Dans le deuxième chapitre, nous parlerons des aspects techniques des technologies de téléphonie mobile 2G et 3G.

Le troisième chapitre sera consacré à la technologie 4G dans lequel nous expliquerons la nécessité de migrer vers un réseau 4G et nous étudierons les aspects de cette technologie.

Le quatrième chapitre exposera les différents équipements qui ont contribué aux différents développements des générations mobiles au niveau de la BTS université d'ATM Mobilis.

Enfin, nous achèverons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE 1

Généralités sur les télécommunications mobiles

- 1** Introduction
- 2** Définition et concept de base
- 3** Architecture d'un réseau mobile
- 4** Allocation de spectre
- 5** Mobilité dans les réseaux mobiles
- 6** Présentation du 3GPP
- 7** Évolution des réseaux mobiles
- 8** Conclusion

1 Introduction

L'industrie de la télécommunication mobile a commencé depuis le début des années 1970. Cette industrie a assisté à une croissance explosive.

Passant de l'ère de l'analogique « 1G » à l'ère du numérique « 2G », la demande croissante de cette technologie a permis l'évolution vers d'autres générations qui peuvent permettre de surfer aussi sur internet avec un débit confortable « 3G » et « 4G ».

Dans ce chapitre nous allons décrire ces générations de réseaux mobiles.

2 Définition et concept de base

Par définition, un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne grâce à des fréquences formant un spectre hertzien. Ce réseau permet à des millions d'utilisateurs de téléphoner en même temps tout en étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité.

Le premier réseau mis en service était déjà basé sur le concept de motif cellulaire, concept défini au sein des laboratoires « Bell Labs » au début des années 1970. Cette technique est une composante technologique clé des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont aussi appelés réseaux cellulaires [4].

2.1 Présentation des cellules

Une cellule est contrôlée par un émetteur/récepteur appelé station de base, qui assure la liaison radio avec les terminaux mobiles sous sa zone de couverture. La couverture d'une station de base est limitée par plusieurs facteurs, notamment

- La puissance d'émission du terminal mobile et de la station de base ;
- La fréquence utilisée ;
- Le type d'antennes utilisé à la station de base et au terminal mobile ;
- L'environnement de propagation (urbain, rural, etc.) ;
- La technologie radio employée.

Une cellule est communément représentée sous la forme d'un hexagone ; en effet, l'hexagone est le motif géométrique le plus proche de la zone de couverture d'une cellule qui assure un maillage régulier de l'espace. Dans la réalité, il existe bien entendu des zones de recouvrement entre cellules adjacentes, qui créent de l'interférence intercellulaire.

On distingue plusieurs types de cellules en fonction de leur rayon de couverture, lié à la puissance d'émission de la station de base, et de leur usage par les opérateurs.

- Les cellules macro sont des cellules larges, dont le rayon est compris entre quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres. Les cellules macro couvrent l'ensemble d'un territoire de manière régulière et forment ainsi l'ossature de la couverture d'un réseau mobile. Elles sont contrôlées par des stations de base macro dont la puissance est typiquement de 40 W (46 dBm) pour une largeur de bande de 10 MHz. Leurs antennes sont placées sur des points hauts, comme des toits d'immeubles ou des pylônes.
- Les cellules micro sont des cellules de quelques dizaines à une centaine de mètres de rayon, destinées à compléter la couverture des cellules macro dans des zones denses ou mal couvertes. Les stations de base associées sont appelées des stations de base micro et leur puissance est de l'ordre de 10 W (40 dBm). Leurs antennes sont typiquement placées sous le niveau des toits, généralement en façade de bâtiments.
- Les cellules pico poursuivent le même but que les cellules micro, mais sont associées à des puissances plus faibles, de l'ordre de 0,25 à 5 W (24 à 37 dBm). Elles peuvent notamment servir à couvrir des hot spots, ou de grandes zones intérieures (indoor), tels que des aéroports ou des centres commerciaux. Les antennes des stations de base pico peuvent être placées comme celles des stations de base micro, ou au plafond ou contre un mur à l'intérieur des bâtiments.

- Les cellules femto sont de petites cellules d'une dizaine de mètres de rayon, principalement destinées à couvrir une habitation ou un étage de bureaux. Elles sont associées à des puissances faibles, de l'ordre d'une centaine de mW (20 dBm), et sont généralement déployées à l'intérieur des bâtiments.

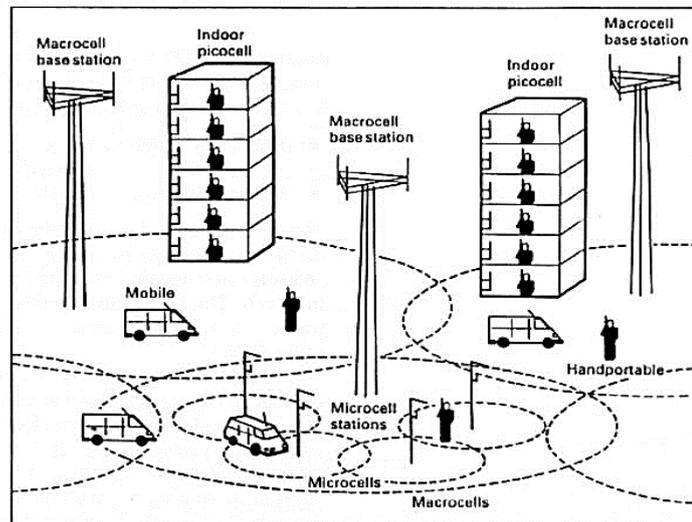


Figure 1.1 : Système radio cellulaire mixte.

Chaque station de base requiert un site radio, habituellement acquis ou loué par l'opérateur de réseaux mobiles, à l'exception des stations de base femto qui peuvent être déployées par l'utilisateur. On notera que seules les cellules macro sont généralement déployées selon un motif cellulaire régulier, les autres types de cellules venant dans la plupart des cas seulement compléter localement la couverture, formant alors un réseau dit hétérogène.

Afin de minimiser le nombre de stations de base macro, on utilise communément la tri sectorisation. Ce déploiement consiste pour une station de base à mettre en œuvre un système d'émission/réception dans trois directions distinctes appelées azimuts. Ceci s'effectue au moyen d'antennes directionnelles, chaque antenne pointant dans une direction donnée. Le schéma suivant présente une topologie commune de réseau macro cellulaire et illustre le concept de tri sectorisation, chaque flèche représentant la direction de pointage d'une antenne et chaque hexagone représentant une cellule. Dans le cas de la tri sectorisation, une cellule est aussi appelée un secteur. Notons que dans la réalité, notamment en milieu

urbain, les cellules ne sont pas disposées selon un motif aussi régulier et peuvent être de formes variées en fonction de la propagation locale [4].

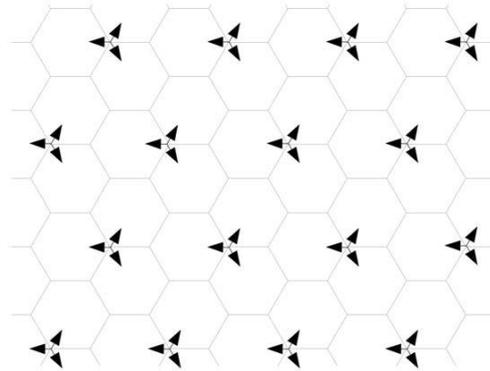


Figure 1.2 : Topologie d'un réseau cellulaire tri sectorisé à structure hexagonale.

2.2 Propagation en contexte radio-mobile

Le canal de transmission radio-mobile est l'un des médias de communication les plus variables : les ondes radioélectriques, parce qu'elles se propagent en traversant l'espace, sont sujettes aux nombreuses irrégularités de morphologie, de caractéristiques électromagnétiques, de température, d'humidité du milieu traversé, etc.

En parcourant le trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis est sujet à de nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Ces dégradations se traduisent en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système. Les dégradations du signal dues à la propagation en environnement radio-mobile peuvent être classées selon différentes catégories :

- Pertes de propagations dues à la distance parcourue par l'onde radio, ou affaiblissement de parcours (path loss) ;
- Atténuation de puissances du signal dues aux effets de masques (shadowing) provoqués par les obstacles rencontrés par le signal sur le trajet parcouru entre l'émetteur et le récepteur ;
- Evanouissement (fading) dans la puissance du signal dus aux nombreux effets induits par le phénomène de multi-trajets ;

- Brouillages dus aux interférences (Co-canal ou sur canal adjacent) créées par d'autres émissions. Ce type de perte est très important dans les systèmes de réutilisation de fréquences.
- Brouillages dus au bruit ambiant provenant d'émissions d'autres systèmes [5].

3 Architecture d'un réseau mobile

L'architecture d'un réseau mobile inclut trois entités fonctionnelles

- Le terminal mobile, appelé aussi équipement utilisateur (ou usager), abrégé en UE (User Equipment) ;
- Le réseau d'accès ou RAN (Radio Access Network) ;
- Le réseau cœur ou CN (Core Network).

On distingue également deux domaines

- Le domaine de l'UE, qui inclut les équipements propres à l'utilisateur ;
- Le domaine de l'infrastructure, constitué des équipements propres à l'opérateur.

La figure 1.3 présente la structure d'un réseau mobile. L'UE fait partie du domaine de l'équipement utilisateur et est interconnecté au réseau d'accès par l'intermédiaire de l'interface radio. L'élément d'interconnexion du réseau d'accès avec l'interface radio est la station de base. Le réseau d'accès et le réseau cœur sont rattachés au domaine de l'infrastructure et sont interconnectés par une ou plusieurs interfaces terrestres [4].

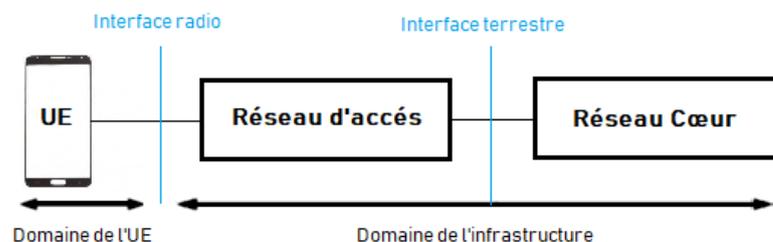


Figure 1.3 : Structure d'un réseau de téléphonie mobile.

4 Allocation de ressources

Le spectre est une ressource rare. Son organisation au niveau mondial est nécessaire à plusieurs titres. Elle garantit la compatibilité des systèmes entre pays, autorisant l'itinérance des utilisateurs à travers le monde. Elle permet aussi aux constructeurs d'équipements de réaliser des économies d'échelles substantielles, réduisant les coûts et favorisant le développement des technologies. Cette mission d'harmonisation au niveau mondial est assurée par le secteur Radiocommunications de l'UIT (Union internationale des télécommunications) ou UIT-R. Les WRC (World Radiocommunication Conferences) sont des forums internationaux organisés tous les quatre ans par l'UIT-R, au cours desquels les traités internationaux gouvernant l'utilisation du spectre de fréquences radio peuvent être revus [4].

5 Mobilité dans les réseaux mobiles

La mobilité est assurée par le mécanisme de handover qui est largement utilisé sur les réseaux mobiles, en particulier au sein d'un même système, car dans ce cas le dialogue entre stations de base est simplifié. Il est par exemple mis en œuvre pour la mobilité en appel au sein des systèmes GSM et UMTS, de même qu'entre ces deux systèmes pour la continuité des appels voix [4].

6 Présentation du 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Le 3GPP a pour objectif de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents. Contrairement à ce que son nom suggère, le champ d'activités du 3GPP ne se limite pas à la normalisation de systèmes 3G. Son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes

- GSM/GPRS/EDGE ;
- UMTS (FDD et TDD) ;
- LTE, ainsi que celles du réseau cœur EPC.

Le 3GPP est composé d'un groupe de coordination appelé PCG (Project Coordination Group) et de différents groupes de spécifications techniques appelés TSG (Technical Specification Groups).

Il convient d'indiquer que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel. Il définit des spécifications techniques qui sont par la suite approuvées et publiées par des organismes de normalisation régionaux, propres à un pays ou une région du monde.

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une Release (version). Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini plusieurs Releases

- Phase1 (1992) : GSM de base ;
- Phase 2 (1995) : fonctions GSM, y compris le codec EFR ;
- Release 96 : mises à jour GSM, débit de 14.4 kbps ;
- Release 97 : définition du GPRS ;
- Release 99 : introduction de l'UMTS ;
- Release 4 : ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur ;
- Release 5 : introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- Release 6 : introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- Release 7 : introduction du HSPA+ MIMO ;
- Release 8 : introduction des évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC ;
- Release 9 : évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, introduction du DC-HSUPA et seconde Release du LTE ;
- Release 10 : évolution du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée LTE-Advanced ;
- Release 11 : réseaux hétérogènes (HetNet), multipoint coordonné (CoMP), coexistence interne (IDC), interconnexion de services IP avancée ;
- Release 12 : agrégation de porteuses (2 porteuses de liaison montante, 3 porteuses de liaison descendante, agrégation de porteuses FDD / TDD), MIMO massive ;

- Release 13 : LTE-U / LTE-LAA, LTE-M ;
- Release 14 : Éléments pour introduire la 5G [4] [6].

7 Évolution des réseaux mobiles

Les systèmes mobiles comptent déjà un certain nombre d'évolution. Dans cette section, nous présentons ces différentes générations de réseaux mobiles résumées dans le tableau suivant

Génération	Acronyme	Description	Version des normes 3GPP	Débit Théorique (download)
1G	RC2000 et NMT	Analogique		
2G	GSM	Échanges de type voix uniquement	Phase 1, Phase 2 et 96.	9,05 Kbits/s
2.5G	GPRS	Échange de données seulement	97	171,2 Kbits/s
2.75G	EDGE	Évolution du GPRS	98	384 Kbits/s
3G	UMTS	Voix et données	99	144 Kbits/s rurale, 384 Kbits/s urbaine, 2 Mbits/s point fixe
3.5G ou 3G+	HSPA	Évolution de l'UMTS	5 et 6	14,4 Mbits/s
3.75G ou 3G++ ou H+	HSPA+	Évolution de l'UMTS	7	21 Mbits/s
3.75G ou H+ Dual Carrier	DC-HSPA+	Évolution de l'UMTS	8	42 Mbits/s
4G (3.9G)	LTE	Données	8 et 9	300 Mbits/s, 150 Mbits/s, 100 Mbits/s
4.5G	LTE-Advanced	Évolution de la LTE	10, 11 et 12	1 Gbit/s à l'arrêt, 100 Mbits/s en mouvement
4.9G	LTE-Advanced Pro	Évolution de la LTE	13	3 Gbits/s
5G	NR	Nouvelle technologie d'accès radio	14, 15 et 16	50 Gbits/s, 25 Gbits/s (labo : 25,2 Gbits/s, 10 Gbits/s, 3,6 Gbits/s)

Tableau 1.1 : Différentes technologies de téléphonie mobile.

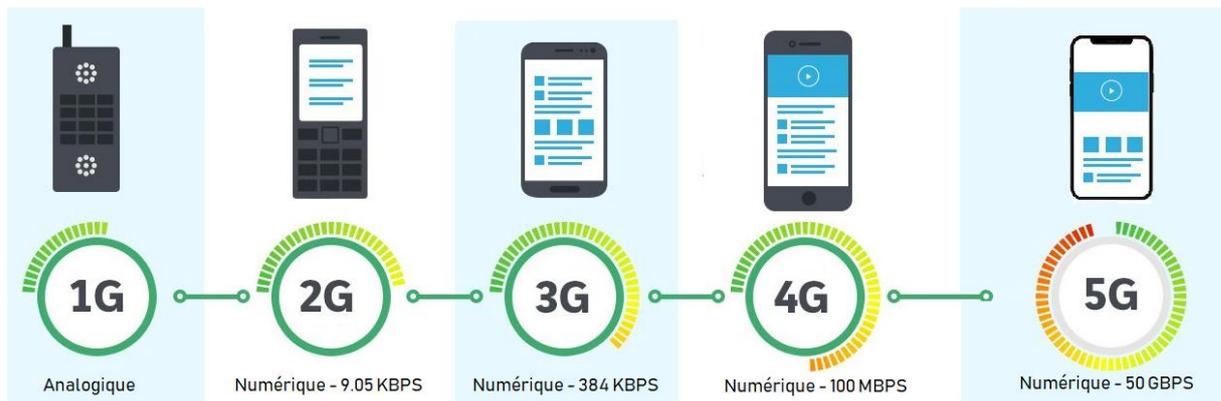


Figure 1.4 : Évolution des réseaux mobiles.

7.1 Première génération (1G)

La première génération de systèmes cellulaires 1G est la technologie de téléphonie mobile de première génération. Les téléphones portables étaient des téléphones analogiques et étaient introduits en 1980. En 1979, le premier système cellulaire dans le monde est devenu opérationnel par « Nippon Telephone and Telegraph (NTT) » à Tokyo, Japon. En Europe, les deux systèmes analogiques les plus populaires étaient « Nordic Mobile Telephone (NMT) » et « TACS », d'autres systèmes analogiques ont également été introduits dans les années 1980 à travers l'Europe.

Tous les systèmes offraient la fonctionnalité de handover et d'itinérance, mais les réseaux cellulaires n'étaient pas en mesure d'interagir entre les pays. C'était le principal inconvénient de la téléphonie mobile de première génération [7].

7.2 Deuxième génération (2G)

La 2G est la seconde génération pour la téléphonie mobile, elle est aussi connue sous le nom de GSM. Les premiers réseaux cellulaires de deuxième génération ont été commercialisés sous la norme GSM en Finlande par « Radiolinja » en 1991.

Les trois avantages principaux des réseaux 2G par rapport à leurs prédécesseurs étaient que les conversations téléphoniques étaient cryptées numériquement. Les réseaux 2G étaient nettement plus efficaces sur le spectre, permettant des taux de pénétration bien plus importants, mais aussi ils ont introduit les services

de données mobiles en commençant par le GPRS (2.5G) avec un débit théorique de 171.2 Kbit/s, puis le EDGE (2.75G) avec un débit allant jusqu'à 384 kbit/s qui a été déployé sur les réseaux GSM à partir de 2003, initialement par AT&T aux États-Unis.

Néanmoins, plusieurs opérateurs ont annoncé que la technologie 2G sera désactivée sur leurs réseaux afin qu'ils puissent récupérer ces bandes radio et les réutiliser pour de nouvelles technologies, mais en Algérie, cette étape risquera de prendre beaucoup de temps car sur les 45,846 millions abonnés actifs, 14,385 millions sont des abonnés au réseau GSM soit 31,38% d'abonnés [3], et cela s'explique majoritairement par l'utilisation de terminaux mobiles qui ne supportent pas les nouvelles technologies et qui doivent être changés.

7.2.1 Présentation de l'infrastructure d'un réseau GSM (Global System for Mobile Communications)

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe).

- Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs.
- Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.
- Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :
 - Le sous-système radio « BSS » contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur qui assure la transmission radioélectrique et la gestion de la ressource radio (BTS et BSC) ;
 - Le sous-système réseau ou d'acheminement « NSS » : Etablissement des appels et mobilité ;
 - Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance « OSS » : admission sur réseau [5].

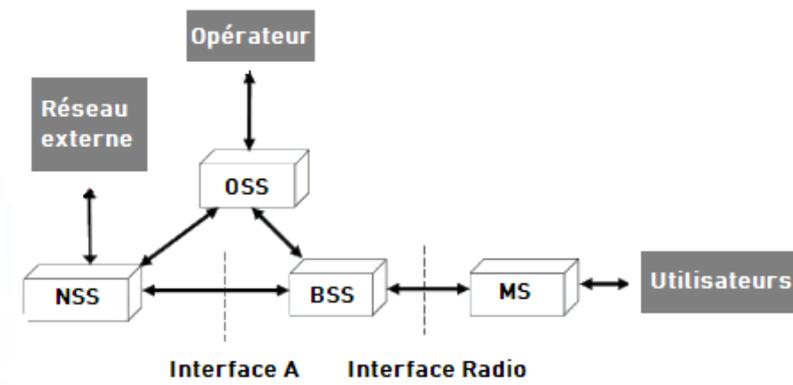


Figure 1.5 : Architecture simplifiée d'un réseau GSM.

7.2.2 Equipements et leurs fonctions dans un réseau GSM

Les principaux équipements utilisés dans le réseau GSM sont

Nom	Fonction
BTS	Station de base réceptionnant les appels entrant et sortant des ME.
BSC	Contrôleur des stations de base.
MSC	Commutateur de réseau.
HLR	Base de données sur l'identité et la localisation des abonnés.
AUC	Centre d'authentification des terminaux sur le réseau.
VLR	Base de données sur les visiteurs du réseau.
EIR	Enregistreur des identités des équipements
OMC	Centre d'exploitation et de maintenance du réseau de l'opérateur.
MS	Station mobile
SIM	Carte SIM identifiant l'abonné sur un réseau défini.

Tableau 1.2 : Équipements et leurs fonctions.

7.2.3 Bandes de fréquences

Les systèmes de téléphonie mobile qui se divisent en deux types de réseaux, GSM 900 et DCS 1800, fonctionnent respectivement à des fréquences voisines de 900 et 1800 MHz. Dans le cas du réseau GSM 900, la bande de fréquences comprise entre 890 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais, tandis que la bande comprise entre 935 et 960 MHz est utilisée dans le sens inverse. Dans la terminologie GSM, la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais est appelée « voie montante » ou « Uplink », par contre la transmission de l'antenne relais vers le téléphone mobile est, quant à elle, appelée « voie descendante » ou « Downlink ». La communication entre le mobile et la BTS s'effectue toujours sur deux fréquences séparées de 45 MHz. Autrement dit, si la BTS envoie ses données à la fréquence f_1 , le mobile enverra ses données vers la BTS à la fréquence f_1+45 MHz [5].

7.2.4 Introduction du GPRS (General Packet Radio Service)

La norme GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM. Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération 3G, on parle généralement de 2.5G pour classer la norme GPRS.

Le GPRS permet d'étendre l'architecture de la norme GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums. Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. La norme GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût [8].

7.2.5 Introduction de l'évolution EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

La norme EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation et permettant ainsi d'augmenter le débit des données. Tout comme la norme GPRS, Il est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner la norme EDGE.

7.3 Troisième génération (3G)

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA).

La 3G est caractérisée par la volonté des industriels de télécommunications de définir une norme au niveau mondial. Les enjeux étaient d'offrir une itinérance globale aux utilisateurs, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau grâce aux économies d'échelle. Dans cette perspective, ces entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupées au sein du consortium 3GPP. Cette démarche aboutit à l'élaboration de la norme UMTS à la fin des années 1990. Cette première version de la norme est appelée Release 99. Les innovations associées au système UMTS ont principalement trait au réseau d'accès, celui-ci s'interfaçant avec le réseau cœur GPRS. Les objectifs de l'UMTS étaient d'accroître la capacité du système pour le service voix mais surtout d'améliorer le support des services de données [4].

La différence majeure avec le GSM vient de l'interface radio. Celle-ci repose sur l'étalement de spectre à séquence directe.

L'étalement de spectre consiste à transmettre une information sur un signal occupant un spectre nettement plus grand que le minimum nécessaire. Cette technique a été d'abord utilisée dans les systèmes militaires à des fins de discrétion et parce qu'elle offre une bonne résistance aux brouillages hostiles. Depuis le milieu des années 90, elle est utilisée dans certains systèmes radio mobiles cellulaires.

En Algérie, au 31 décembre 2017, le parc d'abonnés 3G a atteint 21,592 millions avec un taux de pénétration au service téléphonique de troisième génération de 51,17% [3].

7.3.1 Présentation de l'infrastructure d'un réseau UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

L'introduction de l'UMTS est possible en gardant le même réseau et la même gestion globale (Exploitation, mobilité, facturation), le nouveau réseau vient se combiner aux réseaux déjà existants. Il faut néanmoins installer de nouvelles stations de base.

Les éléments qui viennent s'ajouter au réseau sont

- Le Node B ;
- Le RNC ;
- La carte USIM ;
- Le mobile.

7.3.2 Bandes de fréquences

Les bandes hertziennes suivantes avaient été définies par le 3GPP pour les systèmes 3G avec la méthode de duplexage fréquentiel FDD et TDD

Bande FDD	Pour la liaison montante (MHz)	Pour la liaison descendante (MHz)	Région principale
I	1920-1980	2110-2170	Europe, Asie
II	1850-1910	1930-1990	Amérique (Asie)
III	1710-1785	1805-1880	Europe, Asie (Amérique)
IV	1710-1755	2110-2155	Amérique
V	824-849	869-894	Amérique
VI	830-840	875-885	Japon
VII	2500-2570	2620-2690	Europe
VIII	880-915	925-960	Europe, Asie
IX	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	Japon
X	1710-1770	2110-2170	Amérique

Tableau 1.3 : Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en duplexage FDD [9].

Bande TDD	Gamme de fréquence (MHz)	Région principale
(a)	1900-1920	Europe, Asie
	2010-2025	
(b)	1850-1910	Amérique
	1930-1990	
(c)	1910-1930	Amérique
(d)	2570-2620	Europe

Tableau 1.4 : Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en duplexage TDD [9].

7.3.3 Introduction du HSPA (High Speed Packet Access)

Rapidement, la volonté apparut d'effacer les limites de la Release 99 en matière de débits. Les évolutions HSPA, aujourd'hui connues commercialement sous le nom de 3G+, furent introduites

- HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante ;
- HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.

Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système. La latence désigne le temps de réponse du système à une requête de l'utilisateur, et est un facteur clé de la perception des services de données par l'utilisateur [4].

7.3.4 Introduction du High Speed Packet Access + (HSPA+)

Dans certains pays tels que le Japon et les États-Unis, la technologie UMTS et ses évolutions HSPA ont cependant commencé à montrer leurs limites en termes de capacité. La mise sur le marché de terminaux attractifs comme les smartphones et l'introduction de nouveaux services impliquant une connexion quasi-continue au réseau sont des facteurs qui ont mené à un essor brutal des usages et du trafic à écouler par les réseaux. On fait à présent référence aux utilisateurs toujours connectés ou *always-on*.

Cette augmentation du trafic implique un partage des ressources entre les utilisateurs et, dans certains cas, une réduction des débits qui leur sont délivrés. Avec l'augmentation de la charge des réseaux, la qualité de service fournie aux clients se dégrade, ce qui pose un véritable problème aux opérateurs de réseaux mobiles. Deux pistes ont été suivies par le 3GPP afin de répondre à ces contraintes

- La définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ;
- La définition du LTE.

HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :

- Les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;
- La gestion des utilisateurs always-on.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008) [4].

7.4 Evolution vers la quatrième génération (4G)

Il s'agit d'une nouvelle technologie qui a premièrement été commercialisée utilisant la norme LTE (Long Term Evolution) fin 2009 par l'opérateur téléphonique suédois et finlandais « Telia », c'est une évolution des réseaux GSM/UMTS qui spécifie la prochaine génération du système d'accès mobile à large bande.

Les intérêts majeurs qu'a apportée la 4G par rapport à son antécédent 3G réside dans, l'augmentation considérable du débit qui peut atteindre 100 Mbits/s en liaison descendante et 50 Mbits/s en liaison montante, diminution de latence, et permet d'offrir plus de capacité et une mobilité qui peut aller jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences.

De ce fait, cette technologie a aussi été adoptée en Algérie à partir de l'année 2016 et comptait 9,868 millions d'abonnés à la fin 2017, tout opérateurs inclus [3].

7.4.1 Bandes de fréquences

Les bandes de fréquences hertziennes prévues par les normes 3GPP pour le LTE et le LTE Advanced sont très nombreuses (une quarantaine) et s'étalent de 450 MHz à 3,8 GHz (tout dépend des pays).

Il est parfois nécessaire d'effectuer un « réaménagement » du spectre en libérant des fréquences initialement attribuées au GSM (2G) et à l'UMTS (3G). De nombreux opérateurs réutilisent déjà une partie ou la totalité de la bande de fréquence des 1 800 MHz pour le LTE.

7.4.2 LTE-Advanced

La Release 10 de la technologie LTE, aussi connue sous le nom LTE-Advanced, a été achevée à la fin de 2010 et impliquait une flexibilité accrue du spectre LTE à travers l'agrégation de porteuses, élargissement de la transmission multi-antennes, introduction du support relais (Relay Node), et a apporté des améliorations dans le domaine de la coordination d'interférences dans les déploiements hétérogènes de réseaux.

La Release 11 a encore étendu les performances et les capacités du LTE. Une des principales caractéristiques de la LTE Release 11, finalisée fin 2012, était la fonctionnalité de l'interface radio pour transmission et réception multipoint coordonnées (CoMP). Autres exemples d'améliorations dans la Release 11, l'améliorations de l'agrégation de porteuses, une nouvelle structure de canaux de contrôle, et des exigences de performances pour les récepteurs d'appareils plus avancés.

La Release 12, achevée en 2014, était axée sur les petites cellules (Small cell) dotées de fonctionnalités telles que la double connectivité, activation / désactivation des petites cellules et atténuation améliorée des interférences et adaptation au trafic (eIMTA), ainsi que sur de nouveaux scénarios avec l'introduction de la communication directe entre périphériques et mise en service d'une communication de type machine (IoT) à complexité réduite.

7.4.3 LTE-Advanced Pro

La Release 13, finalisée à la fin de 2015, marque le début de la technologie LTE-Advanced Pro. Elle est parfois appelée 4,5G ou 4.9G dans le marketing et elle est considérée comme une technologie intermédiaire entre la 4G définis par les premières versions de LTE et la nouvelle interface radio 5G à venir. L'accès assisté par licence (LAA) pour prendre en charge le spectre sans licence en complément du spectre sous licence, la prise en charge améliorée de la communication de type machine et diverses améliorations en agrégation de porteuses, la transmission multi-antenne et la communication entre périphériques sont quelques faits saillants de la Release 13 [10].

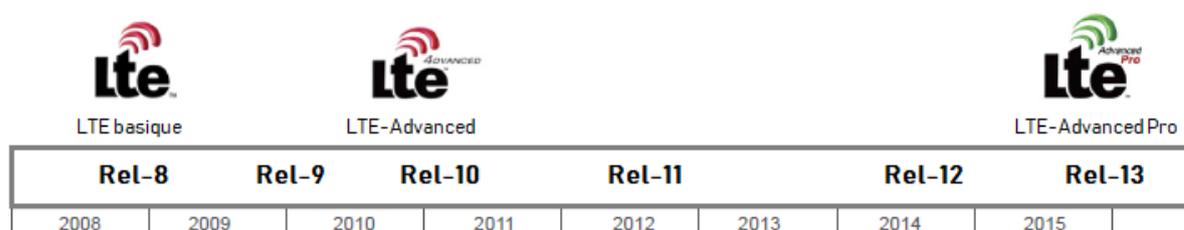


Figure 1.6 : Évolution de la technologie LTE durant les années selon les standards 3GPP.

8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept de base de la téléphonie mobile ainsi que les différentes générations de réseaux mobiles qui ont commencé par la première génération analogique et passant par l'ère du numérique avec la deuxième et la troisième génération pour arriver à la quatrième génération qui a amélioré les débits.

Dans le prochain chapitre, nous allons détailler les réseaux de deuxième et troisième génération.

CHAPITRE 2

Deuxième et troisième génération de réseaux mobiles

1 Introduction

Réseau 2G

- 2 Equipements et fonctions dans un réseau GSM
- 3 Sous système radio (BSS)
- 4 Handover dans le GSM
- 5 Bandes de fréquences
- 6 Modulation
- 7 Techniques d'accès multiple
- 8 General Packet Radio Service (GPRS)
- 9 Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)

Réseau 3G

- 10 Architecture du réseau 3G
- 11 Interfaces dans le réseau UMTS
- 12 Bandes de fréquences
- 13 Handover en UMTS
- 14 Techniques d'accès au réseau utilisées en 3G
- 15 Duplexage
- 16 Evolution de l'UMTS
- 17 Conclusion

1 Introduction

La téléphonie mobile est un domaine qui a connu de grandes évolutions. Tout a commencé avec un réseau analogique qui a ensuite été numérisé et a connu un énorme succès, mais pour assurer la continuité de l'amélioration des performances des services de transmission de données et contourner les problèmes liés aux débits, il a fallu approcher les performances des réseaux ADSL. Pour cela, d'autres évolutions ont pris l'ascendant dans le marché mondial.

Dans ce chapitre, nous allons étudier principalement la deuxième et la troisième génération de réseaux mobiles (2G et 3G) et présenter leurs architectures ainsi que les améliorations apportées à ces deux technologies au fil du temps.

Réseau 2G

Un réseau 2G est de type cellulaire, c'est-à-dire composé d'une multitude d'émetteurs-récepteurs radio, chacun d'entre eux définissant une cellule, soit une zone où le service 2G est accessible aux terminaux qui y sont présents.

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

2 Equipements et fonctions dans un réseau GSM

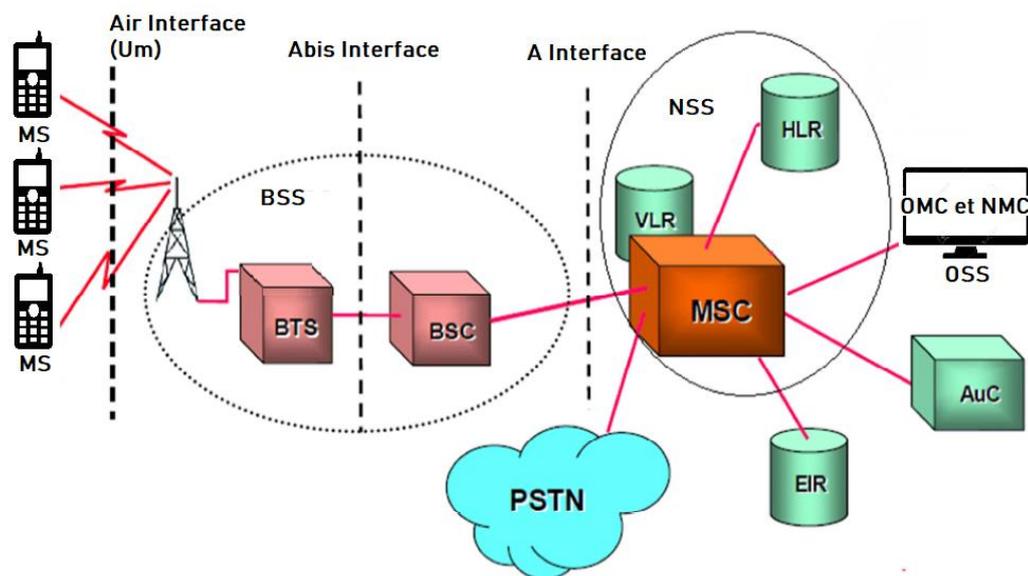


Figure 2.1 : Architecture d'un réseau GSM.

Le réseau cœur assure principalement les fonctions de commutation et de routage. Il est constitué des éléments suivants

2.1 Sous-système fixe (NSS)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes chiffrement, authentification ou roaming [5].

Le NSS se compose essentiellement des entités suivantes

2.1.1 Centre de commutation mobile (MSC)

En anglais Mobile Switching Center, Ils sont des commutateurs 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 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 offertes 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.

Un couple MSC / VLR gère généralement une centaine de milliers d'abonnés. Les commutateurs MSC sont souvent des commutateurs de transit des réseaux téléphoniques fixes sur lesquels ont été implantés des fonctionnalités spécifiques au réseau GSM.

2.1.2 Enregistreur de localisation géographique des abonnés (HLR)

C'est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés.

Un réseau peut posséder plusieurs HLR (Home Location Register) 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.

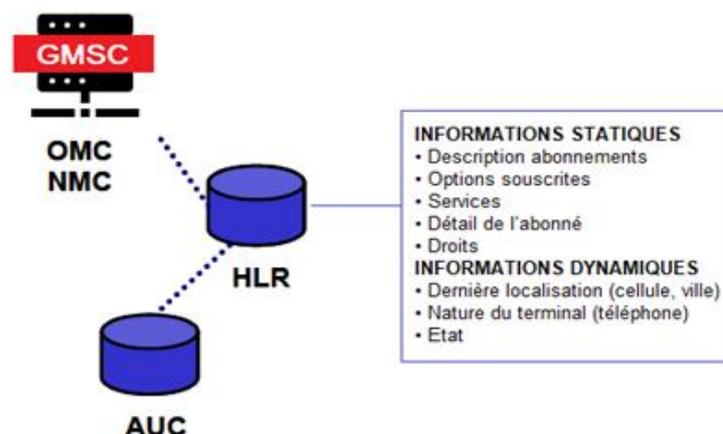


Figure 2.2 : Schéma représentant les informations gérées par le HLR.

2.1.3 Centre d'authentification (AUC)

Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AUC

(Authentication Center) de chaque abonné est associé au HLR. Pourtant le HLR fait partie du « sous-système fixe » alors que l'AUC est attaché au « sous-système d'exploitation et de maintenance ». L'AUC avec l'IMSI et le MSISDN fait partie des données clés insérées dans la carte SIM de chaque abonné [11].

2.1.4 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques, Elle est liée à un MSC. Il y en a donc plusieurs dans un réseau GSM. Elle contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR (Visitor Location Register) ; les données suivent l'abonné en quelque sorte [12].

2.1.5 Enregistreur des identités des équipements (EIR)

L'EIR (Equipment Identity Register) est une base de données contenant les identités des terminaux IMEI (International Mobile Equipment Identity). Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau. L'accès au réseau peut être refusé parce que le terminal n'est pas homologué, qu'il perturbe le réseau ou bien parce qu'il a fait l'objet d'une déclaration de vol [13].

2.2 Sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS)

Un Operation Support System ou un Operational Support System (abrégé en OSS) est l'ensemble des composants opérationnels ou les systèmes informatiques utilisés par un opérateur de télécommunications. Elle est synonyme de maintenance opérationnelle dans le domaine des télécommunications.

Le terme OSS est habituellement synonyme de systèmes de réseaux informatiques qui comprennent : le réseau de télécommunications lui-même et le maintien des processus tels que la maintenance du réseau [8].

Ils sont utilisés dans différents services tels que : le recensement, la performance et qualité de service, la gestion des erreurs réseaux...

2.2.1 Operations and Maintenance Center (OMC) et le Network and Management Center (NMC)

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC (Operations and Maintenance Center) et le NMC (Network and Management Center). 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. 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 [11].

3 Sous système radio (BSS)

Le sous-système radio BSS (Base Station Subsystem) 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. Le réseau d'accès radio est alors appelé GERAN.

3.1 Station de base (BTS)

La BTS (Base Transceiver Station) est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX. La BTS a pour fonction la gestion des transmissions radios (modulation, démodulation, égalisation, codage et correcteur d'erreurs).

La BTS gère la couche physique des réseaux. L'exploitation des données recueillies par la BTS est réalisée par le BSC.

La BTS gère la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure réseau de l'opérateur.

La BTS gère ensuite la liaison de données avec le BSC.

On distingue deux types de BTS : les BTS dites « normales » et les micro-BTS

La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses (limite technique rarement atteinte pour des raisons de fiabilité). Ainsi une BTS peut gérer au maximum une centaine de communications simultanées.

Le rayon d'une cellule varie entre 200 mètres en milieu urbain et 30 kilomètres en milieu rural. Une cellule est au minimum couverte par la triangulation de trois BTS. L'exploitation de la BTS se fait soit en local soit par télécommande au travers de son contrôleur de station (BSC) [11].

3.2 Contrôleur de station de base (BSC)

Le Base Station Controller (abrégé en BSC) gère les fréquences radio utilisées par ses différentes stations BTS, ainsi que les fonctions d'exploitation et de maintenance des stations de base qui sont télé-exploitées. Il assure de façon autonome les transferts intercellulaires des stations mobiles qui circulent dans sa zone de couverture [5].

3.3 Station mobile de l'utilisateur final (MS)

La MS (Mobile Station) est composée d'une part du terminal mobile et d'autre part d'un module d'identité d'abonné (carte SIM).

3.3.1 Équipement mobile (ME)

Le terme équipement mobile désigne un terminal équipé d'une carte SIM. Chaque ME (Mobile Equipment) reste muni d'une identité particulière IMEI. La norme définit pour les terminaux plusieurs classes suivant leur puissance maximale d'émission. En GSM 900, deux catégories, 2W en téléphone mobile portable et 8W en téléphone mobile embarqué dans les véhicules. En DCS 1800, de manière générale 1W pour l'ensemble des terminaux.

3.3.2 Carte SIM

C'est une carte à microprocesseur nécessaire à l'abonné GSM contenant toutes les données concernant un abonné et notamment les processus d'authentification et les informations relatives à l'abonnement. Elle contient l'International Mobile Subscriber Identity (IMSI), qui sert à identifier l'abonné dans n'importe quel système GSM, et les procédures de cryptographie qui sauvegardent le secret de l'information de l'utilisateur.

- IMSI est l'équivalent de l'adresse physique MAC de la carte SIM il présente la structure suivante : MCC/MNC/MSIN où
 - MCC = Mobile country Code : Indicatif du pays d'origine ;
 - MNC = Mobile Network Code : Identifiant de l'opérateur du réseau ;

- MSIN = Mobile Station Identification Number : Numéro de l'abonné.

Le tableau 2.1 donne les différents codes MCC et MNC utilisées en Algérie.

MCC	MNC	ISO	Pays	Réseau
603	01	Dz	Algérie	ATM-Mobilis
603	02	Dz	Algérie	Djezzy
603	03	Dz	Algérie	Ooredoo

Tableau 2.1 : Codes MCC et MNC de l'Algérie.

4 Handover dans le GSM

On peut caractériser un handover à partir des critères suivants

- La technologie d'accès radio (RAT) et/ou la fréquence respective des cellules source et cible ;
- L'interruption ou non du lien radio lors de la bascule.

Ainsi, un handover entre deux cellules du même système sera dit intra fréquence si les cellules sont portées par la même fréquence radio et inter fréquence dans le cas contraire. On parle de handover inter-RAT ou inter système lorsque les deux cellules appartiennent à deux systèmes différents. Les fréquences sont alors nécessairement différentes.

Le second critère est moins évident. Si le lien radio sur la cellule source est relâché avant l'établissement du lien radio sur la cellule cible, la bascule est réalisée avec une interruption de la transmission sur l'interface radio entre l'UE et le réseau. C'est le type de handover utilisé en GSM.

En GSM un handover est nécessairement inter fréquence puisque les cellules voisines sont portées sur des fréquences différentes [4].

4.1 Handover inter et intra systèmes

- Handover intra-cellule : à l'intérieur d'une cellule, dans le cas d'une congestion dans une cellule.
- Handover intra-BSC : entre deux cellules appartenant à la même BSC.

- Handover inter-BSC : entre deux cellules appartenant à deux BSC différents.
- Handover intra-MSC : le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre BSC, lui-même étant géré par le même MSC.
- Handover inter-MSC : entre deux cellules appartenant à deux zones de communications différentes (MSC).

4.2 Hard handover

Le hard handover se produit lorsque le canal radio de la cellule source est libéré et le canal dans la cellule cible est engagé. Ainsi, la connexion à la cellule source est rompue avant (ou au même moment) l'établissement de la liaison avec la cellule cible. Cette méthode est appelée « break before make » (qui signifie « rompre avant de faire »). Dans ce cas, il est important de minimiser la durée d'interruption de la communication. Ce type de handover est utilisé dans les réseaux mobiles GSM avec une durée d'interruption de quelques dizaines de millisecondes [14].

Dans le handover Hard, nous avons :

- Hard handover inter-fréquences : permet à un appareil mobile de passer d'une fréquence à une autre ;
- Hard handover inter-systèmes : permet à un appareil mobile de passer d'un système à un autre [14] [15].

5 Bandes de fréquences

En Algérie, l'ARPCÉ (Autorité de Régulation de la Poste et des Communications Électroniques) est chargée d'attribuer les licences d'exploitation des réseaux publics de télécommunications cellulaires et de fourniture de services de télécommunications au public.

L'opérateur ATM Mobilis, titulaire d'une licence GSM est autorisé à exploiter une largeur de bande de 2 x 8 MHz, composée d'une bande inférieure pour les communications des terminaux vers les stations de base et d'une bande supérieure pour les communications des stations de base vers les terminaux, séparées par un écart duplex de 45 MHz. La largeur de bande attribuée

correspond à 40 canaux de 200 kHz selon la norme GSM. Les fréquences des canaux attribués, exprimées en MHz, sont déterminées par les formules

$$F_i(n) = 907 + 0,2 \times n \quad (2.1)$$

Pour la bande inférieure (transmission mobile vers base).

$$F_s(n) = F_i(n) + 45 \quad (2.2)$$

Pour la bande supérieure (transmission base vers mobile).

"n" est le numéro du canal, compris entre 1 et 40 inclus.

Ces différents canaux sont disponibles sur l'ensemble du territoire national sous réserve des contraintes de coordination aux frontières.

Le titulaire est également autorisé à exploiter une largeur de bande de 2 x 6 MHz composée d'une bande inférieure pour les communications des terminaux vers les stations de base et d'une bande supérieure pour les communications des stations de base vers les terminaux, séparées par un écart duplex de 95 MHz. La largeur de bande attribuée correspond à 30 canaux de 200 kHz selon la norme GSM. Les fréquences des canaux attribués, exprimées en MHz, sont déterminées par les formules

$$F_i(n) = 1759 + 0,2 \times n \quad (2.3)$$

Pour la bande inférieure (transmission mobile vers base).

$$F_s(n) = F_i(n) + 95 \quad (2.4)$$

Pour la bande supérieure (transmission base vers mobile).

"n" est le numéro du canal, compris entre 1 et 30 inclus.

Ces différents canaux sont disponibles uniquement dans les agglomérations urbaines (villes ou ensembles urbains de plus de 100 000 habitants) [16].

6 Modulation

Le réseau GSM utilise la modulation GMSK (Gaussian Minimum-Shift Keying) qui est une forme évoluée de la modulation FSK ; elle est réalisée en faisant passer le signal binaire, avant modulation, au travers d'un filtre passe-bas ; ce filtre passe-bas remplace les fronts montants et descendants par une transition progressive, ce qui diminue la largeur spectrale du signal modulé. Il en résulte

que pour un même débit binaire, la modulation GMSK a comme avantage d'occuper une largeur de bande moins importante que la modulation FSK classique [8].

7 Techniques d'accès multiple

La bande de fréquence est une ressource rare qu'il faut partager entre tous les utilisateurs. Il est donc nécessaire de transmettre simultanément sur un même canal le plus grand nombre de messages possibles. On fait appel pour cela aux différentes techniques de multiplexage

7.1 Accès multiple par répartition en fréquence (FDMA)

L'accès multiple par répartition en fréquence (ou AMRF, en anglais Frequency Division Multiple Access ou FDMA) est une technique de contrôle d'accès au support utilisée en téléphonie mobile. Il s'agit d'un découpage en bandes de fréquences de manière à attribuer dynamiquement une partie du spectre à chaque utilisateur. De cette manière, chaque utilisateur se voit attribuer une ou plusieurs bandes de fréquences distinctes.

Nous pouvons schématiser ce multiplexage par la figure suivante

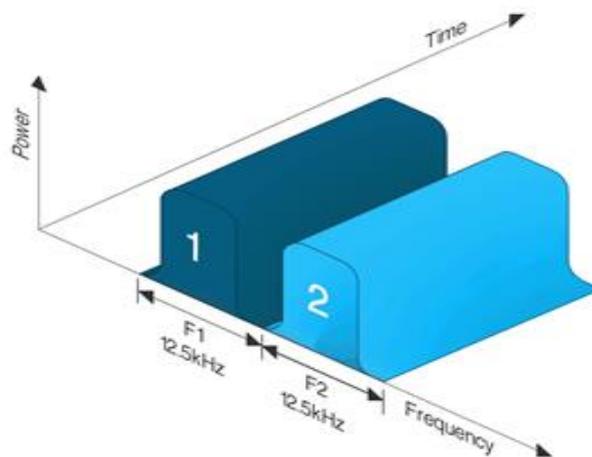


Figure 2.3 : Principe d'accès multiple par répartition en fréquence.

7.2 Accès multiple à répartition dans le temps (TDMA)

L'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT), en anglais (time division multiple access TDMA) est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il s'agit d'une division temporelle de la bande passante,

dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée à plusieurs abonnés simultanément.

Chaque porteuse (canal physique) supporte huit intervalles de temps (time slot) attribués à huit communications, c'est-à-dire que 8 personnes utilisent la même bande de fréquence, mais ils parlent l'un après l'autre. Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et en émettre sans interférence avec les autres abonnés.

Le GSM utilise le multiplexage TDMA auquel on ajoute la FDMA pour optimiser les ressources fréquentielles ; ce type de multiplexage peut être schématisé par la figure suivante où quatre canaux seulement ont été pris de toute la bande passante [13]

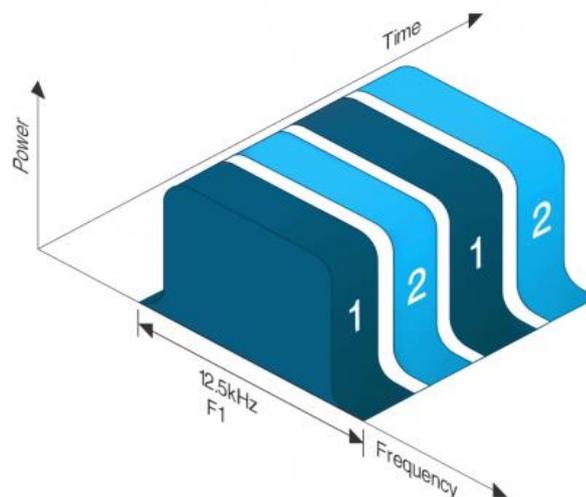


Figure 2.4 : Principe d'accès multiple par répartition en temps.

8 General Packet Radio Service (GPRS)

L'implémentation du GPRS ne nécessite aucun changement sur le côté hard du réseau GSM existant, à part l'introduction d'un équipement sur la BSC nommé PCU (Packet Control Unit) qui se charge de la gestion de la transmission par paquet.

L'intégration du GPRS dans une architecture GSM nécessite donc l'adjonction de nouveaux nœuds réseau qui sont

- SGSN : il envoie les paquets entrants et sortants de/vers un MS. Il fournit aussi le chiffrement et l'authentification et la gestion des sessions. Il est connecté au HLR, MSC, BSC (la BSC est connectée au SGSN via l'interface Gb).
- GGSN : est une passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le GGSN est notamment chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion.
- Le module BG pour la sécurité : Il est défini comme un nœud de passerelle permettant de relier un réseau GPRS à un réseau interconnectant différents réseaux GPRS. Ces BG jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux [11].

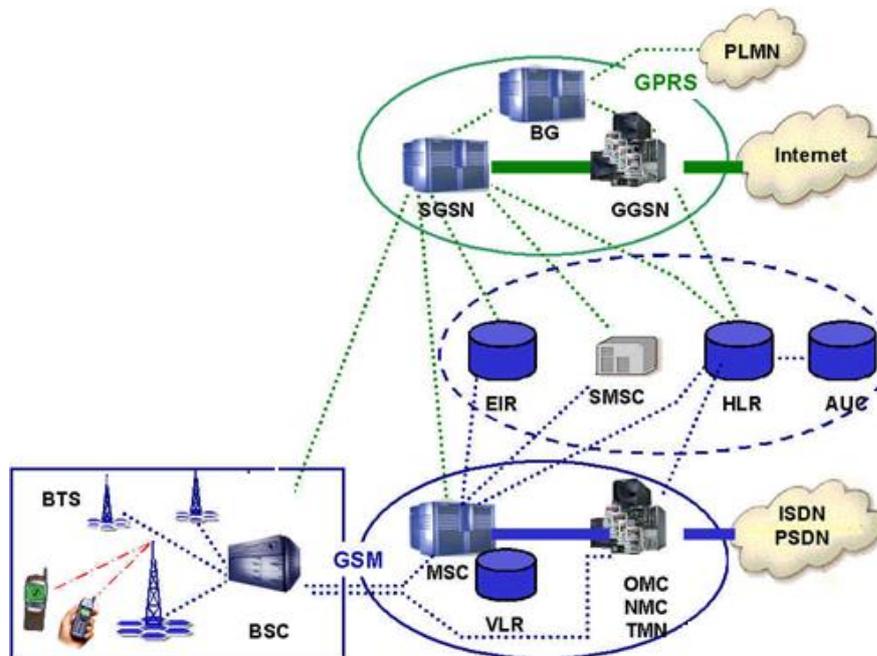


Figure 2.5 : Architecture du réseau GPRS.

9 Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)

L'EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM (EDGE utilise la modulation 8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.

L'EDGE permet ainsi de multiplier par un facteur de trois le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie, EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kbit/s pour les stations fixes et jusqu'à 144 kbit/s pour les stations mobiles [17].

L'Evolved EDGE est une évolution de la technologie EDGE. Il permet de prendre en charge des débits de données plus élevés, jusqu'à 1 Mbit/s et permet une latence réduite à 80 ms. Ceci est obtenu grâce à un certain nombre d'améliorations, notamment : réduction du temps de latence, prise en charge de deux porteuses dans la liaison descendante, modulation de l'ordre supérieur comprenant 16 QAM et 32 QAM, augmentation du débit symbole et diversité du récepteur dans le mobile.

Les opérateurs de téléphonie mobile peuvent mettre à niveau leur réseau vers cette évolution de l'EDGE grâce à des mises à jour logicielles.

Réseau 3G

La troisième génération (3G) désigne une génération de normes de téléphonie mobile. Elle est représentée principalement par les normes Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) et CDMA2000. Ces caractéristiques sont notamment les suivantes

- Un haut débit de transmission (144 Kbps avec une couverture totale pour une utilisation mobile, 384 Kbps avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne et 2 Mbps avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe) ;
- Compatibilité mondiale ;
- Compatibilité des services mobiles de 3ème génération avec les réseaux de seconde génération.

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

L'idée fondatrice du système 3G est d'intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau et de lui adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données) [18].

10 Architecture du réseau 3G

Le réseau 3G se compose principalement des éléments suivants

- Le réseau cœur (CN) ;
- Le réseau d'accès Radio (UTRAN) ;
- Le terminal utilisateur (UE).

La figure suivante représente un schéma général de cette architecture

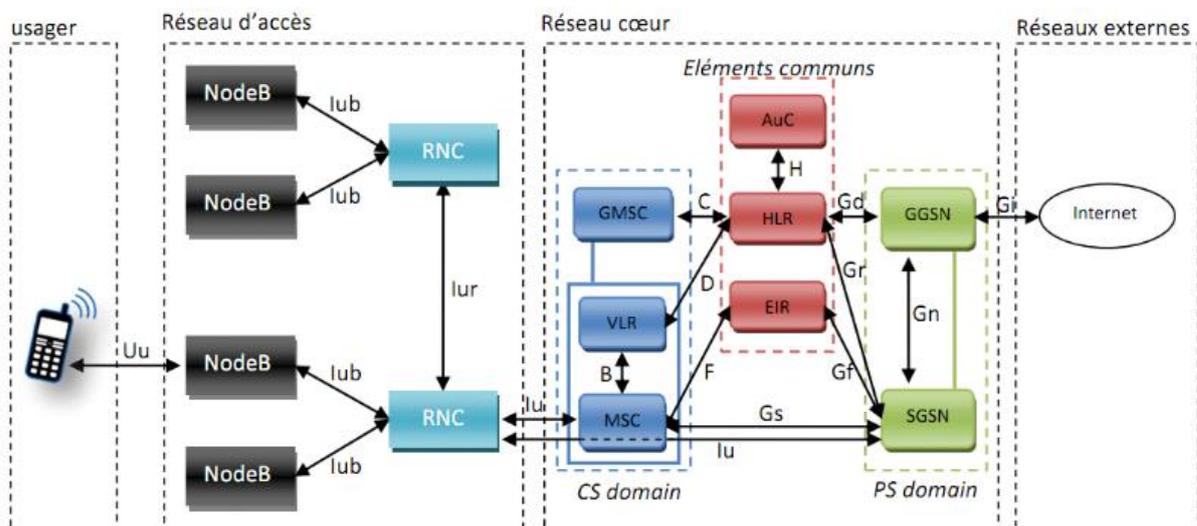


Figure 2.6 : Schéma général de l'architecture d'un réseau 3G.

10.1 Réseau cœur (CN)

Le réseau cœur (Core Network) est la partie du système UMTS chargée de la gestion des services souscrits par l'abonné. Il permet de communiquer à l'intérieur d'un même réseau de téléphonie mobile et assure l'interconnexion de ce dernier avec des réseaux externes, fixes ou mobiles, numérique ou analogique.

Le réseau cœur est composé de trois parties

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie ;
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets ;
- Les éléments communs aux domaines CS et PS.

10.1.1 Domaine à commutation de circuits (CS)

Il Permet de gérer les services à temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, Jeux vidéo, application multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit sera de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers les réseaux externes.

Le domaine CS est composé des éléments suivants

- Le MSC ;
- Le GMSC ;
- Le VLR.

10.1.2 Domaine à commutation de paquet (PS)

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

Le domaine PS est composé des éléments suivants

- Le SGSN ;
- Le GGSN.

10.1.3 Eléments communs

Ce sont des éléments partagés par le domaine de commutation de paquet et le domaine de commutation de circuit, ces éléments sont

- HLR.
- L'EIR

- L'AuC

10.2 Réseau d'accès radio (UTRAN)

Le réseau d'accès radio propose les fonctions permettant d'acheminer les informations depuis l'utilisateur jusqu'au réseau cœur, Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces « Uu » et « lu ».

Cependant, il est chargé d'autres fonctions telles que

- 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.
- Le contrôle du Handover.

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.

La figure suivante illustre l'architecture d'un réseau UTRAN

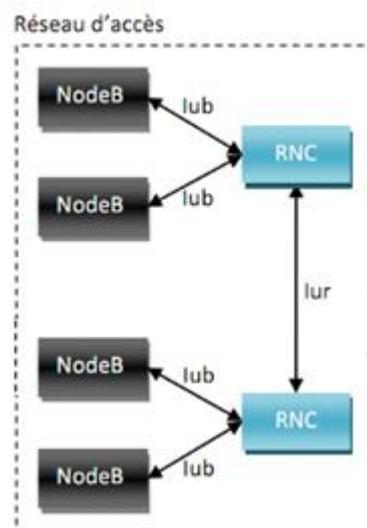


Figure 2.7 : Réseau d'accès UTRAN.

10.2.1 Node B

C'est une antenne. Réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Ils gèrent la couche physique de l'interface radio.

Le Node B régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement.

Les Nodes B communiquent directement avec le mobile sous l'interface dénommée « Uu ».

10.2.2 Radio Network Controller (RNC)

Le RNC est un contrôleur de Node B. Il est encore ici l'équivalent du BCS dans le réseau GSM. Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour définir procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des Node 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 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 ...).

Il existe deux types de RNC

- Le Serving RNC qui sert de passerelle vers le réseau ;
- Le Drift RNC qui a pour fonction principale le routage des données.

NB : L'ensemble des Node B et des RNC constitue l'équivalent de la sous architecture BSS vue précédemment en réseau GSM. En réseau UMTS, on parlera de sous architecture UTRAN.

10.3 Station mobile (MS)

L'utilisateur est équipé d'une station mobile (Mobile Station) qui est constituée de

10.3.1 Équipement mobile (ME)

Les mobiles 3G ne seront plus de simples téléphones mais des terminaux multimédias capables d'offrir simultanément des services de transmission de données, d'audio et de vidéo en tout moment.

10.3.2 Universal Subscriber Identity Module (USIM)

La carte USIM assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications. Des algorithmes de cryptage à clés publiques sont utilisés. Un certain nombre de possibilités sont prévues pour les cartes USIM de troisième génération. Par exemple, la détection des fausses stations de base, l'utilisation de clés de cryptage plus longues (notamment pour le m-commerce) ou encore la protection des données d'identité de l'abonné et de son terminal.

La carte USIM est l'équivalent en 3G de la carte SIM en 2G.

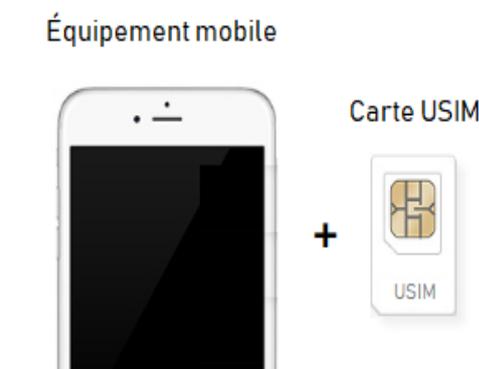


Figure 2.8 : Station mobile (MS).

11 Interfaces dans le réseau UMTS

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN

- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un Node B et un contrôleur radio RNC.

Ci-dessous un tableau récapitulatif de ces interfaces et leurs équivalents en réseau GSM [19] [20].

Interface en UMTS	Localisation	Brève description	Equivalent en GSM
Uu	UE-UTRAN	Interface radio qui permet au mobile de communiquer avec l'UTRAN.	Um
Iu	UTRAN- Réseau Cœur	Iu-CS permet au RNC de communiquer avec le MSC/VLR	A
		Iu-PS permet au RNC de communiquer avec le SGSN	Gb
Iur	RNC-RNC	Communication entre deux RNC notamment dans le cadre de la procédure de macro diversité	
Iub	Node B-RNC	Communication entre Node B et RNC	Abis

Tableau 2.2 : Interfaces dans le réseau UTRAN.

12 Bandes de fréquences

En Algérie, ATM Mobilis, titulaire d'une licence 3G est autorisé à exploiter une largeur de bande de 30 MHz (2 x 15 MHz), composée d'une bande inférieure pour les communications des terminaux vers les stations de base et d'une bande supérieure pour les communications des stations de base vers les terminaux, séparées par un écart duplex de 190 MHz. La largeur de bande attribuée pour chaque liaison correspond à 3 canaux de 5 MHz.

Ces différents canaux sont disponibles sur l'ensemble du territoire national sous réserve des contraintes de coordination aux frontières.

Les fréquences des canaux attribués, exprimées en MHz, sont

- 1920-1935 pour la bande inférieure (transmission mobile vers base) ;
- 2110-2125 pour la bande supérieure (transmission base vers mobile) [21].

13 Handover en UMTS

13.1 Handover intra et inter systèmes

Une station mobile (MS) a déjà un canal radio dans une cellule (gérée par un Node B et un RNC donnés) ; lorsque le signal reçu s'affaiblit, elle migre vers un nouveau canal. Il existe alors six types de handover

- Handover Intra-RNC : le nouveau canal "voix" est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par le même RNC.
- Handover Intra-MSC/VLR : le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre RNC, lui-même étant géré par le même MSC/VLR.
- Handover Intra-SGSN : en mode paquet (transfert de données), le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre RNC, lui-même étant géré par le même SGSN.
- Handover Inter-MSC/VLR : le nouveau canal est attribué dans une cellule radio qui est gérée par un autre MSC/VLR.
- Handover Inter-SGSN : en mode paquet, le nouveau canal est attribué dans une cellule qui est gérée par un autre SGSN.
- Handover Inter-System : un nouveau canal radio est attribué dans un réseau mobile de technique différente du réseau auquel la MS était connectée (par exemple handover entre un réseau GSM et un réseau UMTS).

13.2 Soft Handover

Le soft handover a été en premier lieu utilisé dans les systèmes CDMA de seconde génération. Il est donc aussi d'usage pour le système UMTS (qui repose également sur un accès à répartition par les codes, ou CDMA).

Un soft handover survient entre deux cellules ou des secteurs qui sont supportés par différents Node B d'un même contrôleur (RNC). L'UE transmet ses données vers différents Node B simultanément et reçoit des données de ces différents Node B simultanément.

Dans le sens descendant, les données utilisateur délivrés à l'UE sont émises par chaque Node B simultanément et sont combinées dans l'UE. Dans le sens montant, les données utilisateur émises par l'UE sont transmises à chaque Node B qui les achemine au RNC où elles sont combinées.

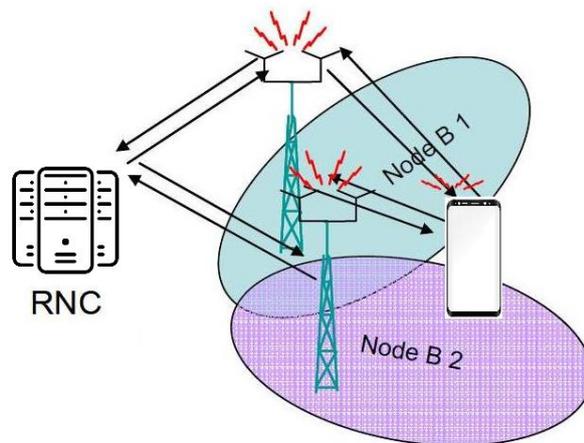


Figure 2.9 : Soft Handover.

Dans le Soft Handover, nous y trouvons aussi le Softer Handover : c'est lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone de couverture commune de deux secteurs couverts par la même station de base (Node B).

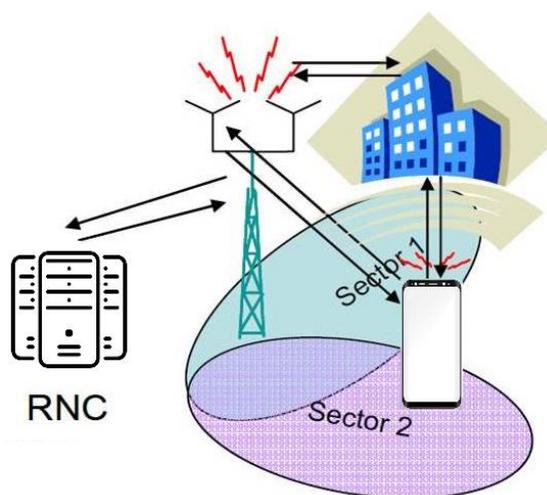


Figure 2.10 : Softer Handover.

13.3 Mécanismes de mobilité en mode connecté couramment utilisés en 2G et 3G

Système considéré	Type de mobilité		
	Intra-fréquence	Inter-fréquence	Inter-RAT
GSM (voix)	Non applicable	Hard handover	Hard handover
GPRS/EDGE (données)	Non applicable	Hard handover	Hard handover
UMTS (voix et données)	Soft handover et/ou hard handover *	Hard handover	Voix : hard handover Données : hard handover *

* suivant la configuration du réseau et les choix de l'opérateur

Tableau 2.3 : Handover en GSM, GPRS/EDGE et en UMTS.

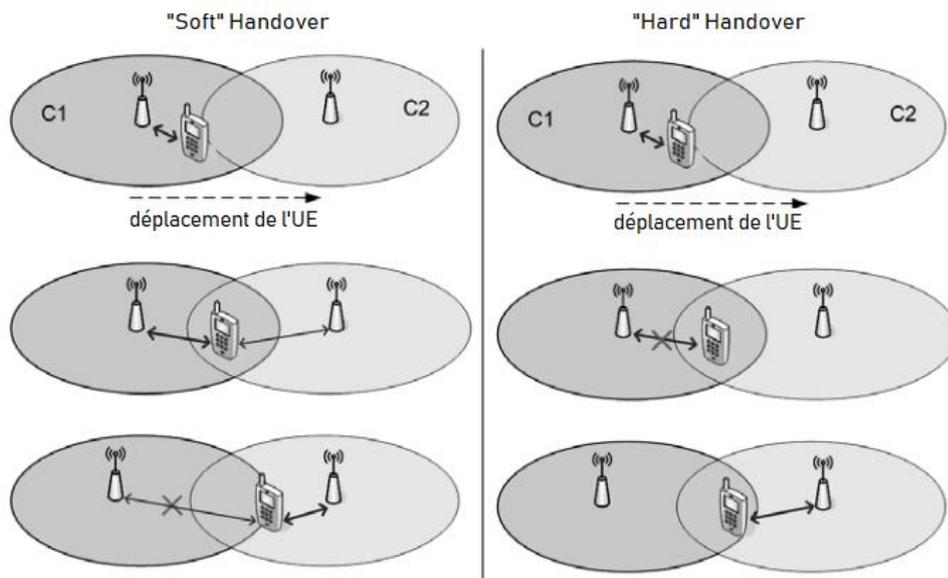


Figure 2.11 : Principes du soft handover et du hard handover.

14 Techniques d'accès au réseau utilisées en 3G

Les systèmes sans fil de troisième génération sont basés sur l'accès multiple à répartition de code à séquences directes DS-SS (Direct Sequence Code

Division Multiple Access). Dans un système DS-CDMA, les usagers sont identifiés par des codes pseudo aléatoires quasi-orthogonaux permettant théoriquement à un très grand nombre d'abonnés d'accéder aux services simultanément (grande capacité) tout en utilisant la totalité de la bande passante (haut débit).

14.1 Définition de la technique accès multiple par répartition en code (CDMA)

La technique Code division multiple access (CDMA) ou accès multiple par répartition en code (AMRC) en français est une technique d'accès basé sur la répartition des codes qui permet aux utilisateurs de communiquer simultanément dans la même bande de fréquence et cela en affectant à chaque utilisateur un code unique qui est connu par le récepteur. Ces codes sont des séquences pseudo aléatoires qui permettent l'étalement de spectre du message basse fréquence, cela va réduire la puissance du signal émis qui sera comparable à la puissance du bruit. Donc un récepteur qui ne dispose pas du code d'étalement ne peut même pas capter un changement de puissance qui se traduit par un signal émis [15].

Le principe est le suivant : une clé (ou code) correspond à chaque utilisateur, à l'aide de cette clé, son message est codé avant d'être émis.

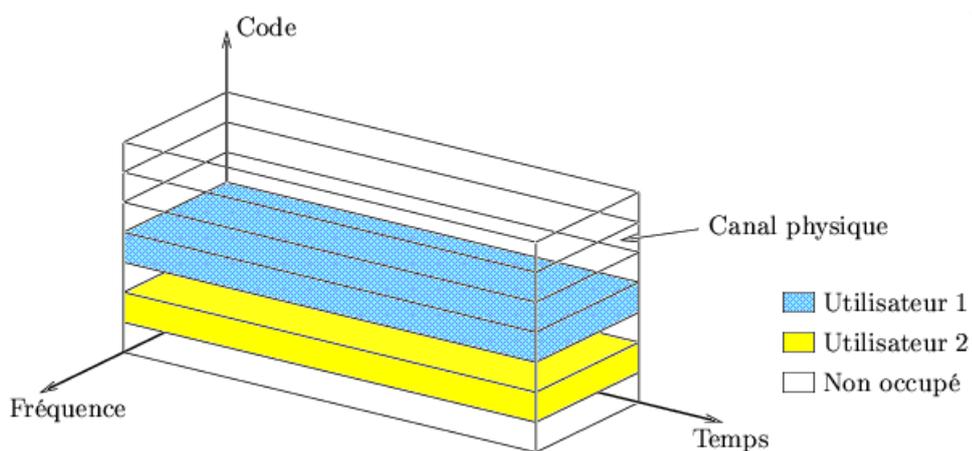


Figure 2.12 : Technique CDMA.

14.2 Principe de fonctionnement

Pour une transmission numérique, c'est possible d'envisager de permettre à N voies d'effectuer la transmission de leur information d'une manière simultanée et sur la même bande passante.

Les usagers qui ont accès au système peuvent échanger de données en continu sur toute la bande de fréquence disponible. La distinction des N voies doit donc être effectuée par l'utilisation des codes orthogonaux entre eux (codes dont l'inter corrélation est nulle), on appelle les éléments de ces codes chips ou bribes.

On obtient ainsi un multiplexage de codes par "étalement de spectre" : chaque usager émet et reçoit à l'aide d'un code qui lui est propre, le code étale les données à transmettre. Le débit du code est supérieur à celui des données.

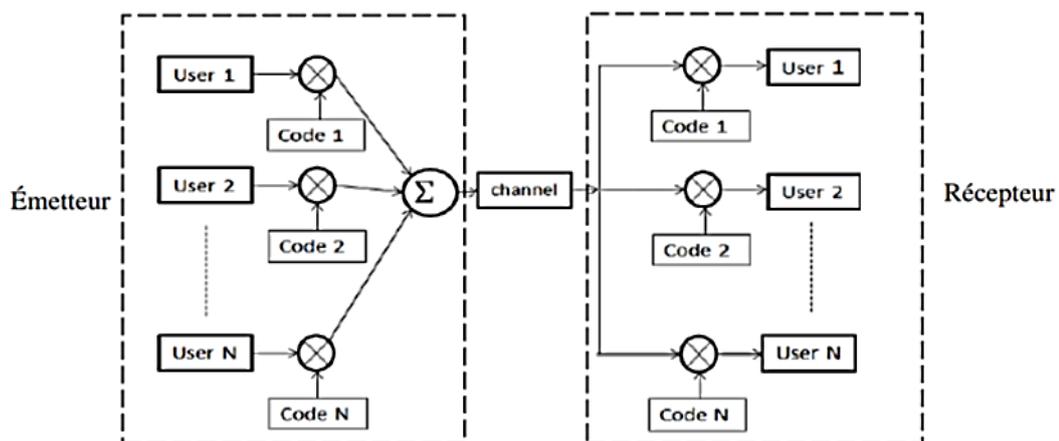


Figure 2.13 : Principe d'utilisation des codes orthogonaux en CDMA.

Chaque récepteur fait l'opération de corrélérer les signaux multiplexés qu'il reçoit avec la séquence convenue. De ce fait Il reconstitue donc les données qui lui sont destinées, la corrélation de tous les autres signaux résultant du multiplexage est nulle.

Les émissions résultantes aux autres utilisateurs sont considérées comme étant un pseudo-bruit à large bande. Il existe deux principaux types de CDMA.

14.2.1 FH-CDMA (Frequency Hop)

Dans ce système, on fait de l'évasion de fréquence : le saut de fréquence revient au fait que la fréquence porteuse de la transmission saute entre les canaux disponibles dans la bande passante du spectre étalé. Ce système est similaire à un multiplexage fréquentiel dans lequel l'attribution des fréquences varierait rapidement.

14.2.2 DS-CDMA (Direct Séquence)

C'est à ce type de CDMA qu'on fait généralement appel quand on parle d'étalement de spectre. Le message à transmettre est multiplié directement par un code de nature pseudo aléatoire (pseudo-noise séquence).

L'étalement de spectre du signal codé vient du fait que la fréquence du code est largement supérieure à la fréquence d'envoi des données.

Le système W-CDMA apporte, par rapport aux systèmes de deuxième génération (GSM et EDGE) plusieurs avantages à savoir

- Une plus grande bande passante disponible pour l'utilisateur ;
- Grande souplesse dans l'allocation des ressources nécessaires et dans le déploiement du réseau ;
- Simplicité de la planification cellulaire, car ce sont les séquences de codage qui différencient les communications, et non pas les fréquences porteuses.

En plus de ces avantages on cite

- Transmission efficace en mode paquet ;
- Compatibilité avec les systèmes 2G et possibilité d'intégrer de nouvelles technologies ;
- Gain de traitement plus élevé ;
- Possibilité de transmettre des services à haut débit ;
- Meilleure performance pour détecter les trajets multiples ;
- Support des deux modes de duplexage [19].

La figure ci-dessous représente une simulation Matlab du principe DS-CDMA

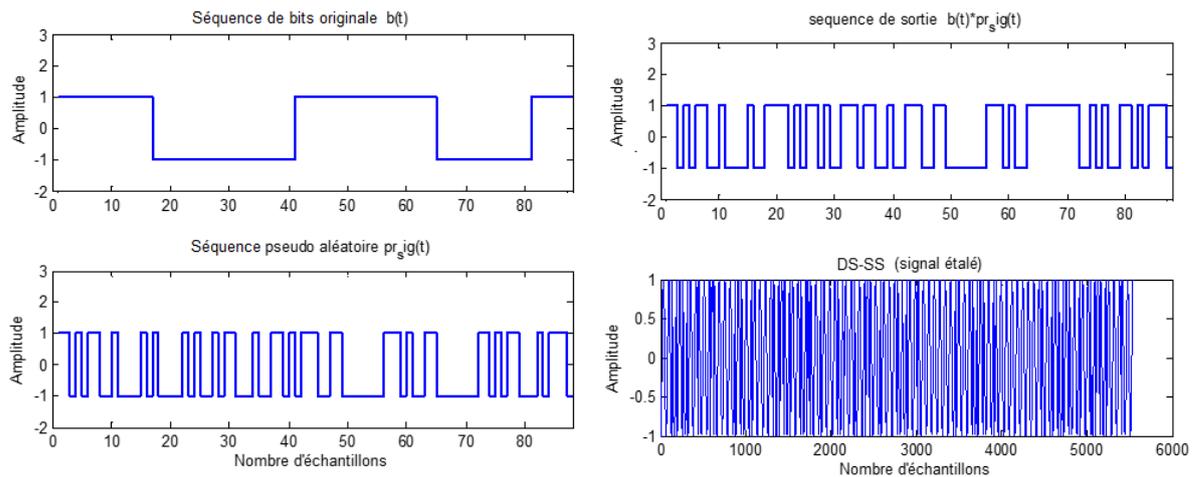


Figure 2.14 : Principe d'étalement du spectre.

14.3 Contrôle de puissance

Le contrôle de puissance dans tout système cellulaire basé sur CDMA joue un rôle essentiel dans les performances du réseau en termes de couverture, de capacité et de qualité de service. Au niveau de la BTS les puissances des signaux reçus doivent être identiques, c'est pourquoi, il est nécessaire de contrôler la puissance d'émission de chaque mobile.

En effet, l'intérêt du contrôle de puissance sera plus facilement apprécié lorsque l'effet dit « proche-lointain » sera décrit. Étant donné que tous les utilisateurs partagent la même bande de fréquences, chacun d'entre eux est considéré comme un brouilleur en puissance, c'est-à-dire qu'un problème d'interférence d'accès multiple pourra être considéré si les signaux étalés ne sont pas orthogonaux.

En pratique, pour un système CDMA sans contrôle de puissance, la puissance du signal de l'utilisateur le plus proche de la station de base serait plus importante que celle de l'utilisateur le plus éloigné. Cette situation a pour effet que le signal de l'utilisateur le plus proche éblouit le signal de l'utilisateur le plus loin vis-à-vis de la station de base (le problème d'effet proche-lointain est inexistant dans la voie descendante) [22].

15 Duplexage

Le duplexage permet de séparer les communications voies montante et descendante. Pour le standard du 3GPP, il existe deux variantes majeures

15.1 Duplex à répartition en fréquence (FDD)

Le mode FDD (Frequency Division Duplex), utilise deux fréquences radio distinctes pour les transmissions (Uplink / Downlink). Une paire de 60 MHz en bande de fréquences est allouée pour ce mode.

15.2 Duplex à répartition dans le temps (TDD)

Le mode TDD (Time Division Duplex), utilise les mêmes fréquences radio pour les transmissions (Uplink / Downlink). Deux bandes de fréquences lui sont allouées : une bande de 20 MHz et une bande de 15 MHz.

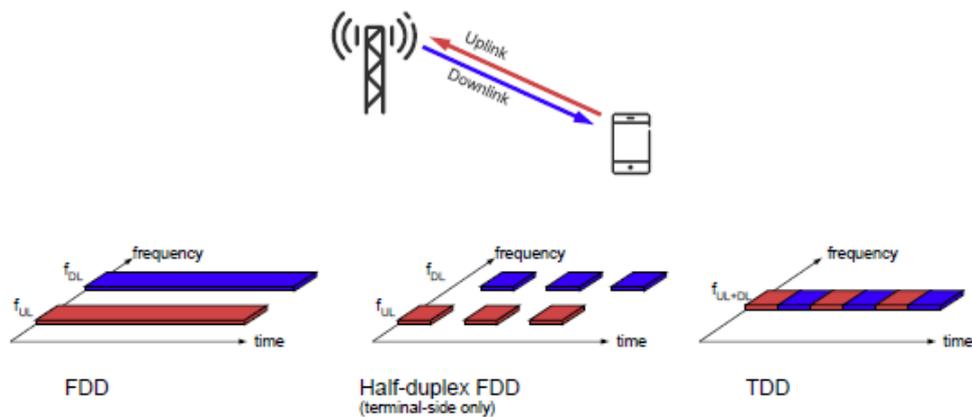


Figure 2.15 : Représentation des modes FDD et TDD.

En TDD, une seule et unique fréquence est utilisée alternativement par les deux voies de communications. Cette technique est la plus flexible lorsque le spectre n'est disponible qu'en quantité limitée. Par contre, en FDD, chaque sens de communication (Mobile vers Réseau et Réseau vers Mobile) utilise une fréquence particulière. Le mobile et le réseau peuvent donc transmettre simultanément. [19]

16 Evolution de l'UMTS

La demande des consommateurs pour le réseau mobile existant nécessite une augmentation de débits offerts. Les opérateurs ont donc pensé à d'autres

technologies beaucoup plus évoluées en termes de débits, nous parlons des évolutions HSPA ou encore HSPA+.

16.1 High Speed Packet Access (HSPA)

L'innovation principale du HSPA concerne le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio, où des ressources radio sont réservées à chaque UE pendant la durée de l'appel, à une commutation par paquets, où la station de base décide dynamiquement du partage des ressources entre les UE actifs. L'allocation dynamique des ressources est effectuée par la fonction d'ordonnancement ou scheduling, en fonction notamment de la qualité instantanée du canal radio de chaque UE, de ses contraintes de qualité de service, ainsi que de l'efficacité globale du système. La commutation par paquets optimise ainsi l'usage des ressources radio pour les services de données.

La modulation et le codage sont rendus adaptatifs afin de s'adapter aux conditions radio de l'UE au moment où il est servi, les débits instantanés étant accrus via l'utilisation de modulations à plus grand nombre d'états qu'en Release 99. La modulation 16 QAM est introduite pour la voie descendante en complément de la modulation QPSK en vigueur en Release 99.

De même, la modulation QPSK est introduite pour la voie montante en complément de la modulation BPSK utilisée en Release 99.

Enfin, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ est défini entre l'UE et la station de base, afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets. Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximaux de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite [4].

16.2 High Speed Packet Access + (HSPA+)

L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64 QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16 QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DC-HSDPA. Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont

potentiellement doublés. De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales.

La fonctionnalité MIMO (Multiple Input Multiple Output) est également introduite pour améliorer les débits en voie descendante. Les utilisateurs always-on sont mieux pris en compte via des fonctionnalités regroupées sous le terme de CPC (Continuous Packet Connectivity). Le HSPA+ intègre enfin une option d'architecture qui réduit la latence du système via la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données. Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G [4].

17 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité les aspects théoriques de la technologie historique (2G) ainsi que les avancées techniques de son évolution (3G).

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier en détail le réseau 4G, son architecture et ses nouvelles techniques de transmission.

CHAPITRE 3

Quatrième génération de réseaux mobiles

- 1** Introduction
- 2** Motivations pour l'introduction du LTE
- 3** Présentation de l'infrastructure d'un réseau 4G
- 4** Bandes de fréquences
- 5** Modulation
- 6** Techniques d'accès multiple
- 7** Structure de trame de l'interface radio
- 8** Technologie MIMO
- 9** Canaux
- 10** Handover en LTE
- 11** Conclusion

1 Introduction

La technologie 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Succédant à la 2G et la 3G, Les normes LTE (Long Term Evolution), définies par le consortium 3GPP sont dérivées des normes UMTS, mais apportent de nombreuses modifications et améliorations afin de permettre des débits plus élevés.

Nous expliquerons dans ce chapitre pourquoi les opérateurs ont vu nécessaire d'introduire le réseau LTE et nous présenterons aussi son architecture et ses spécifications techniques.

2 Motivations pour l'introduction du LTE

2.1 Capacité

La capacité d'une cellule correspond au trafic total maximal qu'elle peut écouler en situation de forte charge au cours d'une période donnée. La capacité d'une cellule est conditionnée par l'efficacité spectrale du système et la ressource spectrale disponible.

Le débit moyen par utilisateur en situation de forte charge peut être approché par la capacité divisée par le nombre d'UE actifs dans la cellule. La capacité d'un réseau limite donc la valeur des débits dans un scénario impliquant plusieurs UE actifs, ou le nombre d'UE pouvant être servis simultanément avec un débit donné.

L'accroissement des besoins de capacité est une constante dans l'évolution des réseaux mobiles. En effet, le progrès technologique des réseaux encourage de nouveaux types d'usages, grâce à une expérience utilisateur plus confortable et un coût pour l'abonné généralement stable ou décroissant.

Ces nouveaux usages, couplés à la démocratisation de leur accès, incitent en retour à une utilisation plus intensive des réseaux. Les besoins de capacité vont donc croître, et la technologie se doit d'évoluer constamment pour les satisfaire [4].

Le tableau 3.1 montre l'évolution de la consommation moyenne de données des utilisateurs de smartphones.

Catégorie du trafic	Consommation moyenne des données par utilisateur dans le monde (Go/Mois)	
	2018	2024 (Prévisions)
Téléchargements	0.6	1.2
Messagerie	0.5	0.9
Trafic des applications	1.0	2.1
Streaming audio	0.1	0.4
Streaming vidéo	3.4	16.3
Total	5.6	21

Tableau 3.1 : Évolution de la consommation moyenne de données des utilisateurs de smartphones [2].

Fin 2004, date à laquelle le LTE a été pour la première fois discuté au 3GPP, les prévisions de trafic indiquaient déjà clairement que les besoins de capacité augmenteraient significativement. On constate a posteriori que cette anticipation s'est vérifiée. Une raison majeure ayant motivé l'introduction du LTE est par conséquent le besoin d'accroître la capacité des réseaux mobiles.

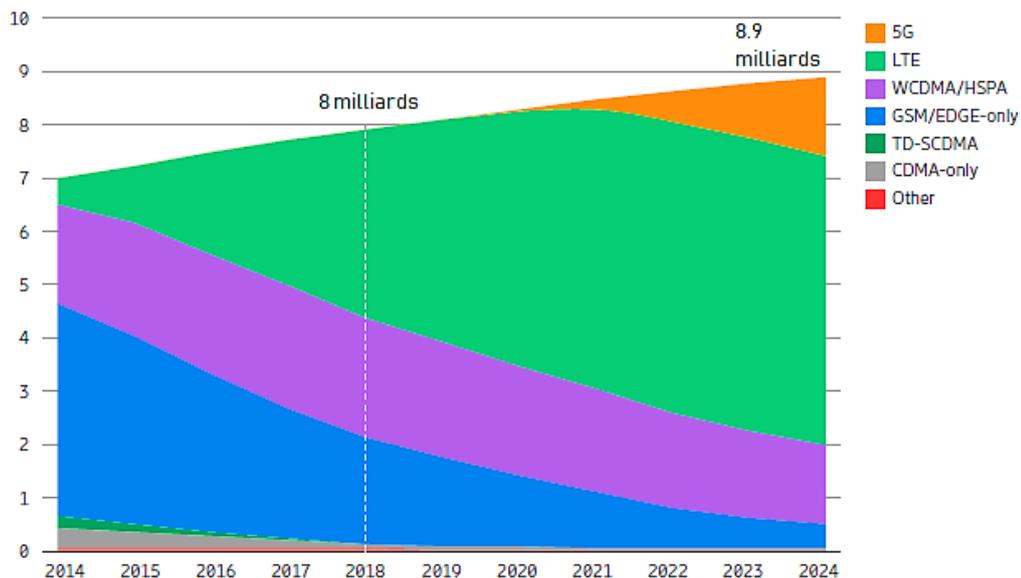


Figure 3.1 : Nombre d'abonnés mobiles par technologie [2].

2.2 Débit

L'évolution des débits suit une progression semblable à celle de la capacité, chaque nouvelle technologie de réseaux mobiles augmentant les débits et suscitant 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.

Les valeurs des débits fournis aux abonnés ont nettement augmenté avec l'introduction des techniques HSPA et HSPA+. L'introduction de débits supérieurs à ceux fournis par les UMTS est toutefois une demande forte des utilisateurs et donc des opérateurs. Cette exigence est principalement guidée par la volonté d'offrir en mobilité une expérience utilisateur comparable à celle offerte par les réseaux résidentiels. L'utilisateur peut ainsi accéder à ses services favoris chez lui ou hors de son domicile avec une fluidité homogène. En complément, le débit jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et une course aux débits, est en marche dans plusieurs pays. Enfin, des débits toujours plus élevés ouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, sources de revenus et de différenciation pour les opérateurs. L'attente des opérateurs de fournir des débits supérieurs à ceux offerts par les réseaux HSPA s'est donc confirmée au cours du temps, et est aujourd'hui un des motifs de déploiement du LTE [4].

2.3 Latence

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système. On distingue deux types de latence

- La latence du plan de contrôle : représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service.
- La latence du plan usager : représente le délai de transmission d'un paquet au sein du réseau une fois la connexion établie.

De manière générale, la latence traduit donc la capacité du système à traiter rapidement des demandes d'utilisateurs ou de services.

L'amélioration de la latence est un des éléments ayant concouru à la décision de définir un nouveau système.

3 Présentation de l'infrastructure d'un réseau 4G

Le 3GPP a défini une nouvelle architecture pour la technologie LTE (3.9G), qui implique la modification du réseau cœur et des émetteurs radio, et le développement des terminaux mobiles adaptés.

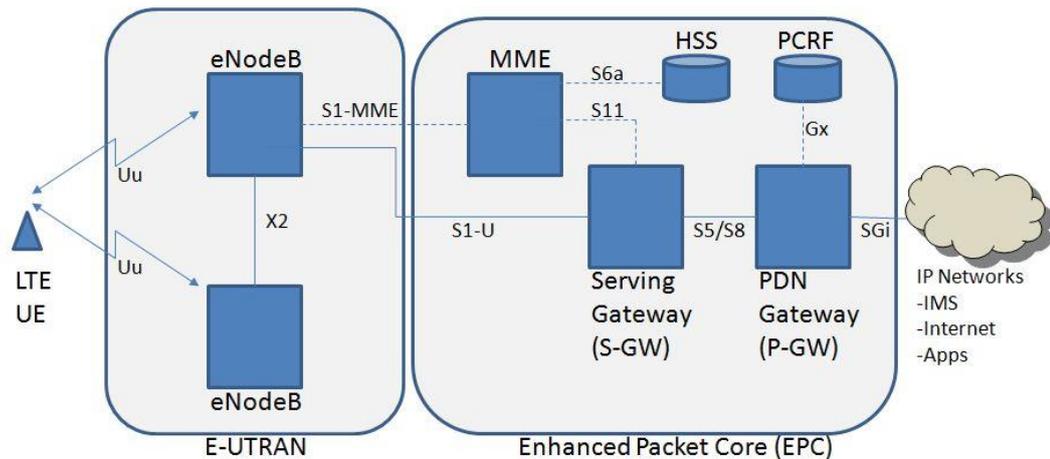


Figure 3.2 : Architecture Réseau LTE/SAE.

3.1 Réseau d'accès (e-UTRAN)

La seule entité présente dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilé à un Node B RNC. L'eNodeB est le responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.

À la différence de l'UTRAN où sont présentes les entités Node B et RNC, l'architecture e-UTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/SGW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur.

L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et la MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et la SGW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre les eNodeBs adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (Handover).

Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE.

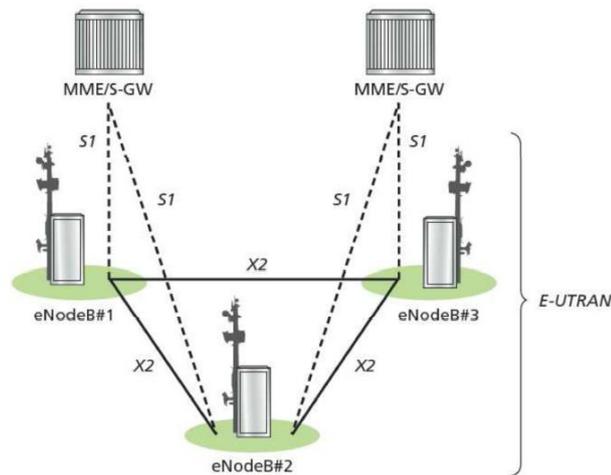


Figure 3.3 : Architecture de l'e-UTRAN.

Les eNodeBs sont reliés entre eux par une interface

- L'interface X2 : c'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le handover ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur.

Les eNodeBs sont reliés au cœur du réseau à travers l'interface S1.

- L'interface S1 : c'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires : Cette dernière consiste en S1-U (S1- Usager) entre l'eNodeB et le SGW et S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME [23].

3.2 Réseau cœur (EPC)

Le réseau cœur est constitué des éléments suivants qui sont connectés via un réseau tout IP

3.2.1 Entité de gestion de la mobilité (MME)

La MME (Mobility Management Entity) est le nœud principal de contrôle du réseau d'accès LTE/SAE (System Architecture Evolution). Elle manipule un certain nombre de fonctionnalités telles que

- Le suivi des UE Mode Inactif.
- L'activation/ désactivation du Bearer.
- Le choix du SGW pour un UE.
- Le handover intra-LTE impliquant la location du nœud du réseau d'accès.
- L'interaction avec le HSS pour authentifier un utilisateur en attachement et implémentation des restrictions d'itinérance.
- Elle agit comme un licenciement pour le strate de non accès (Non-Access Stratum - NAS).
- Elle fournit des identités temporaires pour les UEs.
- La SAE/MME agit en point de terminaison pour le chiffrement de protection de NAS de signalisation. Dans le cadre de cela, il s'occupe également de la gestion de la clé de sécurité. En conséquence, la MME est le point où l'interception légale de signalisation peut être effectuée.
- La procédure de Paging.
- L'interface S3 se terminant dans la MME fournit ainsi la fonction de plan de contrôle de mobilité entre les réseaux d'accès LTE et 2G/3G.
- Le MME/SAE termine également l'interface S6 pour le HSS pour l'itinérance UEs.
- La MME/SAE fournit un niveau considérable de fonctionnalités de contrôle global.

3.2.2 Passerelle de service (SGW)

La SGW (Serving Gateway), est un élément plan de données au sein de LTE/SAE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network, RAN et le réseau cœur. La SGW maintient également les chemins de données entre les

eNodeBs et les passerelles PDN. De cette façon, le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodeBs différentes, la SGW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu.

3.2.3 Passerelle PDN (PGW)

La passerelle LTE/SAE PDN assure la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE.

L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW (PDN Gateway) pour l'accès à des PDNs multiples.

3.2.4 Service d'abonné de rattachement (HSS)

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé HSS (Home Subscriber Server). Le HSS est donc un HLR évolué qui contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE. A la différence de la 2G et de la 3G où l'interface vers le HLR est supportée par le protocole du monde SS7, MAP, l'interface S6 s'appuie sur le protocole du monde IP, DIAMETER. Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE qui appartiennent au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE).

3.2.5 Policy Charging Rules Function (PCRF)

Il fournit au PGW les règles de taxation nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable [24].

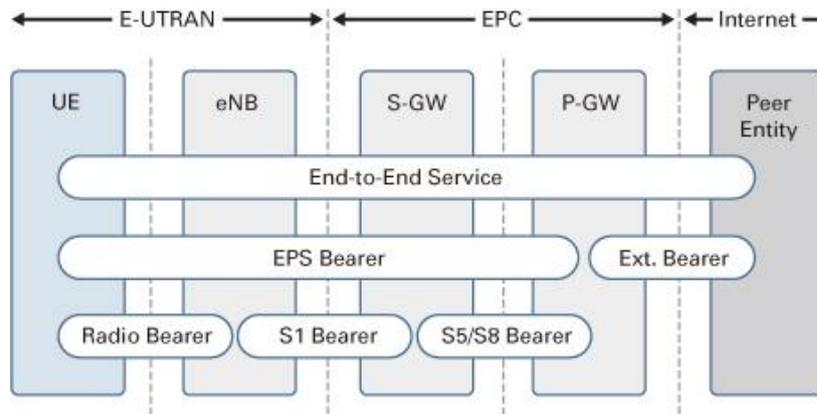


Figure 3.4 : Représentation des canaux (bearer) entre les différents éléments d'un réseau LTE/SAE.

Infrastructure	Termes du LTE	Équivalence dans l'UMTS
Réseau cœur	Evolved Packet Core (EPC)	Core Network (CN)
	Mobility Management Entity (MME)	Serving GPRS Support Node (SGSN)
	Serving Gateway (S-GW)	Serving GPRS Support Node (SGSN)
	Packet Data Network Gateway (P-GW)	Gateway GPRS Support Node (GGSN)
	Policy Charging Rule Function (PCRF)	PCRF
	Home Subscriber System (HSS)	Home Location Register (HLR)
Réseau d'accès	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (eUTRAN)	UTRAN
	Evolved Node B (eNodeB)	Node B
	User Equipment (UE)	UE

Tableau 3.2 : Comparaison des terminologies des réseaux 4G et 3G.

4 Bandes de fréquences

Les réseaux mobiles de quatrième génération utilisent plusieurs bandes de fréquence avec des canaux associés. Le tableau 3.3 montre les différentes bandes de fréquences pour la technologie LTE.

Bande	Release	Liaison montante (MHz)	Liaison descendante (MHz)	Mode Duplex
1	R99	1920–1980	2110–2170	FDD
2	R99	1850–1910	1930–1990	FDD
3	R5	1710–1785	1805–1880	FDD
4	R6	1710–1755	2110–2155	FDD
5	R6	824–849	869–894	FDD
6	Non utilisée par le LTE			
7	R7	2500–2570	2620–2690	FDD
8	R7	880–915	925–960	FDD
9	R7	1749.9–1784.9	1844.9–1879.9	FDD
10	R7	1710–1770	2110–2170	FDD
11	R8	1427.9–1447.9	1475.9–1495.9	FDD
12	R8	699–716	729–746	FDD
13	R8	777–787	746–756	FDD
14	R8	788–798	758–768	FDD
15	Non utilisée par le 3GPP			
16	Non utilisée par le 3GPP			
17	R8	704–716	734–746	FDD
18	R9	815–830	860–875	FDD
...				
33	R99	1900–1920	1900–1920	TDD
34	R99	2010–2025	2010–2025	TDD
35	R99	1850–1910	1850–1910	TDD
36	R99	1930–1990	1930–1990	TDD
37	R99	1910–1930	1910–1930	TDD
38	R7	2570–2620	2570–2620	TDD
39	R8	1880–1920	1880–1920	TDD
40	R8	2300–2400	2300–2400	TDD
41	R10	2496–2690	2496–2690	TDD

Tableau 3.3 : Bandes de fréquences pour la technologie LTE.

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

Pour les besoins de la 4G en Algérie, l'opérateur ATM Mobilis est autorisé à exploiter une largeur de bande de 20 MHz (2 x 10 MHz) dans la bande 3 dite des 1800 MHz telle que spécifiée par l'UIT, composée d'une bande inférieure pour les communications des équipements terminaux de l'utilisateur vers les stations de base et d'une bande supérieure pour les communications des stations de base vers les équipements terminaux, séparées par un écart duplex de 95 MHz. Ces différents canaux sont disponibles sur l'ensemble du territoire national, sous réserve des contraintes de coordination aux frontières.

Les fréquences des canaux attribués, exprimées en MHz, sont

- 1752.9 - 1762.9 pour la bande inférieure (transmission mobile vers la station de base) ;
- 1847.9 - 1857.9 pour la bande supérieure (transmission de la station de base vers l'équipement terminal mobile) [25].

Le support pour les deux sens de transmission utilise deux bandes passantes appariées dans le mode FDD ou une seule bande passante dans le mode TDD.

Par rapport à l'UMTS, la couche physique du LTE introduit une rupture majeure : l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), un mode d'accès multiples basé sur l'OFDM, en remplacement de l'accès multiple à répartition par codes (CDMA).

La transmission OFDM s'effectue en parallèle sur plusieurs porteuses à bande étroite appelées sous-porteuses. Ces sous-porteuses sont orthogonales, de sorte qu'un symbole de modulation transmis sur une sous-porteuse ne subit pas d'interférence de la part des sous-porteuses adjacentes. De plus, l'OFDM est immunisé contre l'interférence entre symboles dans les domaines temporel et fréquentiel.

L'OFDM est utilisé en voie descendante. Pour la voie montante, on en utilise un dérivé appelé SC-FDMA, qui permet une meilleure couverture pour les amplificateurs de puissance utilisés par les UE [4].

5 Modulation

La modulation utilisée dans le LTE est une modulation adaptative qui varie en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation : QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ou (4-QAM), 16-QAM et 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

Par exemple, si les modulations disponibles sont le QPSK et le 16-QAM, dans le cas où le canal est marqué comme bon, on utilisera la modulation 16-QAM, qui offre un meilleur débit mais une plus faible robustesse. Par contre, si le canal est marqué comme dégradé, on utilisera la modulation QPSK, permettant un débit plus faible, mais plus robuste (moins sensible aux interférences).

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) permet de doubler l'efficacité de la modulation d'impulsion en amplitude (PAM) en modulant les amplitudes des composants sinus et cosinus de la porteuse. Le signal produit consiste en deux trains d'impulsions PAM en quadrature de phases [26].

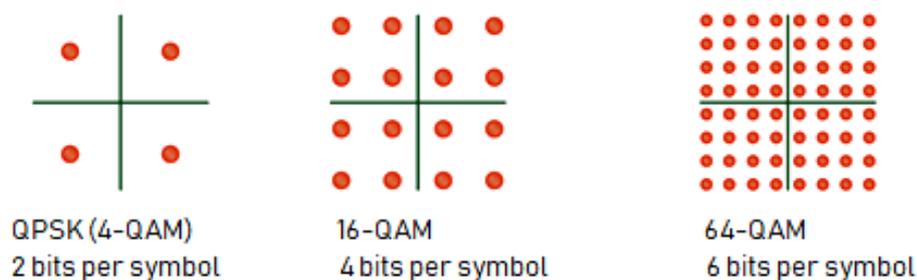


Figure 3.5 : Diagramme de constellation des modulations 4-QAM, 16-QAM et 64-QAM.

5.1 Modulation en quadrature de phase (QPSK)

Souvent connue sous le nom de 4-PSK ou QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), cette modulation utilise un diagramme de constellation à quatre points, à équidistance autour d'un cercle. Avec quatre phases, QPSK peut coder deux bits par symbole.

Deux signaux 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.

5.2 Modulation 16-QAM

La modulation d'amplitude en quadrature (en anglais, quadrature amplitude modulation 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.

La constellation, qui est en conséquence le nombre de bits pouvant être transmis une seule fois, peut être augmentée pour un meilleur débit binaire, ou diminuée pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreurs binaires.

5.3 Modulation 64-QAM

Dans le cas d'une modulation, six bits sont mappés dans le symbole complexe. La constellation est constituée de 64 symboles [23].

6 Techniques d'accès multiple

La modulation du LTE est basée essentiellement sur l'utilisation de la technologie OFDM et des technologies d'accès multiples associés, OFDMA et SC-FDMA.

6.1 Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM)

Le multiplexage OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) est une technique qui consiste à subdiviser la bande de transmission en N sous-canaux, conduisant à une augmentation de la durée symboles. C'est une technique de modulation multi-porteuses à base de transformée de Fourier rapide qui permet de diviser le flux de données à transmettre en N sous flux de données parallèles, qui seront transmis sur des sous bandes orthogonales différentes. Cette technique permet d'offrir une grande efficacité au niveau de l'utilisation du spectre et de la puissance grâce à l'utilisation de N sous-porteuse orthogonales et très proche l'une de l'autre.

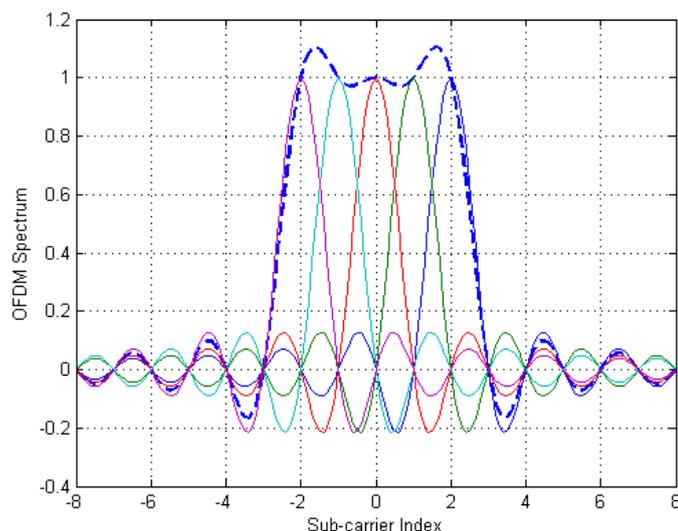


Figure 3.6 : Principe de la modulation OFDM.

De plus, l'augmentation de la durée symbole accroît la robustesse de l'OFDM face au temps de propagation du aux trajets multiples (NLOS). D'autre part, une grande immunité contre les interférences inter-symboles crée par la propagation NLOS est apportée par l'insertion d'un temps de garde appelé aussi préfixe cyclique (CP). En effet, le symbole OFDM est allongé avec ce préfixe qui doit être plus grand que le plus grand des retards qui apparaissent dans le canal. Si un symbole d'une transmission précédente arrive en retard à cause de la propagation multi-trajets, il entre en collision avec le CP du symbole actuel, et

comme la taille du CP est suffisante, cette collision ne peut pas affecter le reste du symbole, où il y a les informations utiles.

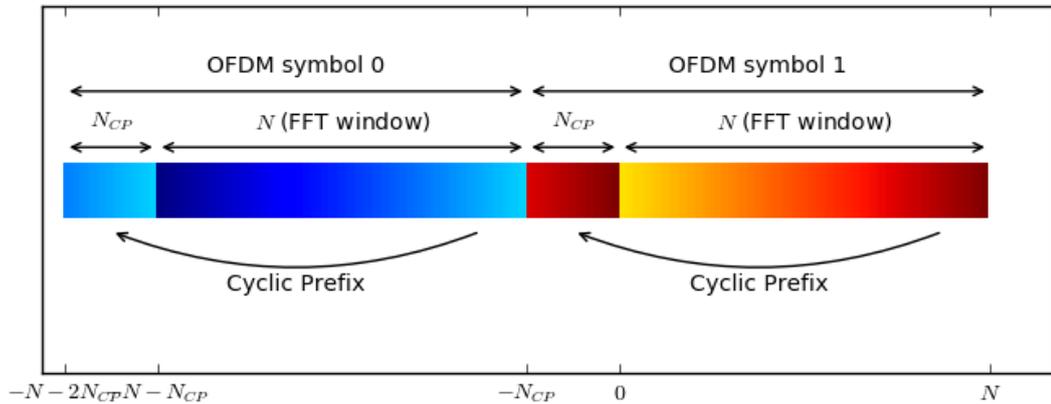


Figure 3.7 : Principe d'insertion du préfixe cyclique.

6.2 Accès multiple par répartition en fréquence orthogonale (OFDMA)

L'abréviation pour Orthogonal Frequency Division Multiple Access, est une technique d'accès basée sur la division en fréquence, elle se base sur L'OFDM, la différence entre ces deux techniques est montrée sur la figure ci-dessous

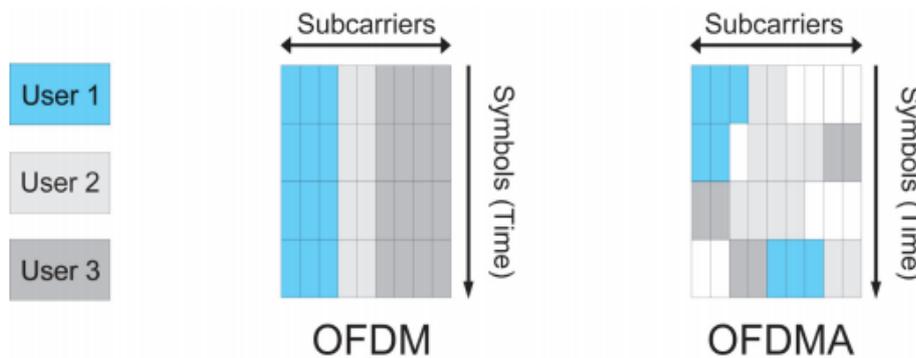


Figure 3.8 : Différence entre les deux techniques OFDM et OFDMA.

Si l'OFDM alloue à chaque utilisateur une porteuse et permet donc la transmission des données de plusieurs usagers à la fois, l'OFDMA permet de changer de porteuse pour un usager après une certaine durée, un concept emprunté de la TDMA, ainsi en LTE la porteuse de 15Khz, ce qui fait qu'un symbole OFDMA dure $71.35\mu s$ ($1/150000+CP$). Cette technique permet une meilleure protection contre le fading, car si ce dernier touche une fréquence

l'ensemble des données relatives à l'utilisateur sera perdu si l'OFDM est utilisée, par contre avec l'OFDMA, seulement une petite partie sera affectée. Cependant le problème du PAPR (qui indique un rapport entre puissance crête et puissance moyenne de l'OFDM) reste toujours présent, raison pour laquelle l'OFDMA n'est utilisée qu'en lien descendant car l'eNodeB a suffisamment de puissance d'émission alors que le terminal d'utilisateur (UE) a une autonomie limitée poussant ainsi le 3GPP à utiliser une méthode d'accès différente pour le lien montant : le SC-FDMA.

6.3 Single-Carrier FDMA (SC-FDMA)

C'est une technique également dérivée de l'OFDM. La figure suivante montre la différence conceptuelle avec l'OFDMA expliquée dans le paragraphe précédent.

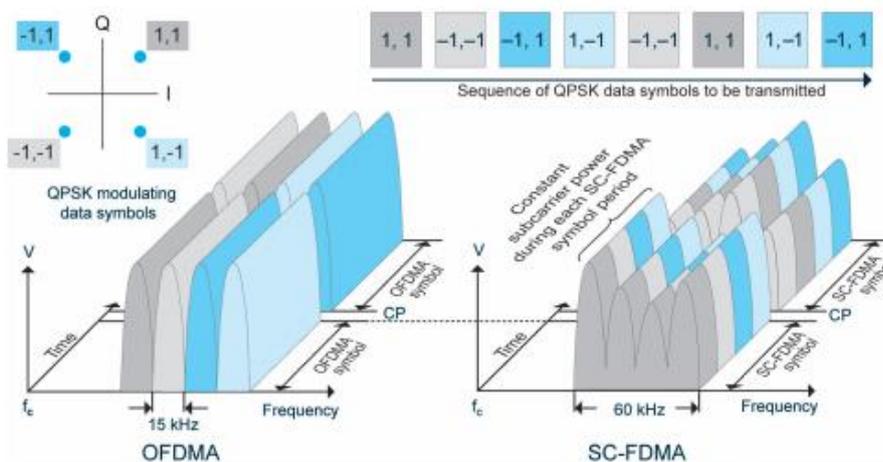


Figure 3.9 : Techniques d'accès OFDMA et SC-FDMA.

Alors que l'OFDMA transmet plusieurs symboles en parallèle sur plusieurs sous-porteuses espacées de 15Khz résultant un symbole OFDMA d'une durée de $66.7\mu\text{s}$, SC-FDMA transmet un seul symbole à la fois (en série) mais qui est réparti sur l'ensemble des porteuses donnant ainsi un symbole de largeur $M \times 15\text{Khz}$ mais toujours d'une durée $66.7\mu\text{s}$, réellement chaque sous-porteuse porte « un sous-symbole » mais visuellement c'est comme s'il n'y a qu'une seule porteuse qui est utilisé d'où son appellation.

L'avantage c'est que le problème relatif au PAPR élevé disparaît car c'est la transmission en parallèle de plusieurs symboles qui le cause, tandis qu'avec la SC-FDMA la transmission est série qui est certes plus lente mais assure un faible

PAPR qui permet à l'amplificateur RF du mobile de consommer un minimum d'énergie, raison pour laquelle elle a été adoptée pour le lien montant [26].

7 Structure de trame de l'interface radio

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures suivantes

- Le type 1 est adapté au FDD et au FDD half-duplex.
- Le type 2 est adapté au TDD.

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun.

Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-trames utilisables dans chaque direction de transmission.

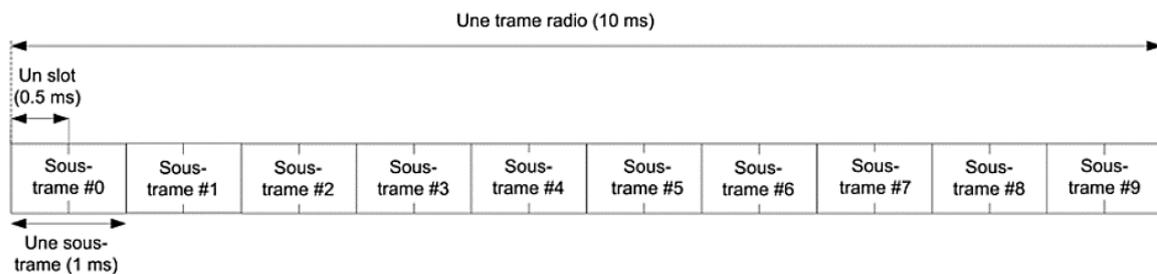


Figure 3.10 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex.

En TDD, certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (Guard Period) sur la figure 3.12. Le temps de garde nécessaire au basculement de l'eNodeB entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une

sous-trame descendante est créé par l'eNodeB en avançant dans le temps les sous-frames montantes par rapport aux sous-frames descendantes. L'UE est informé de ce décalage par la commande d'avance de temps, qui lui indique de démarrer sa transmission un peu plus tôt (ou un peu plus tard). Une avance de temps par défaut de 20 μ s est ainsi spécifiée en TDD, car cette durée est attendue comme la valeur maximale potentiellement nécessaire aux équipements pour basculer de réception à l'émission. Au plus, deux sous-frames spéciales sont présentes par trame, afin de limiter la perte d'efficacité du système due au temps de garde [4].

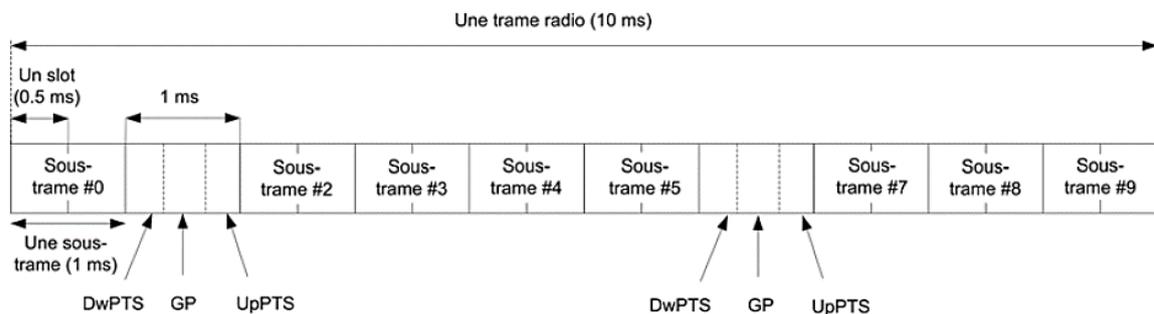


Figure 3.11 : Structure de trame en TDD.

8 Technologie entrées multiples, sorties multiples (MIMO)

La technologie LTE spécifie et requiert l'utilisation de techniques multi-antennes, également appelées MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), dans le sens descendant. Bien que cette fonctionnalité ait également été spécifiée pour la HSPA, elle n'est pas encore largement utilisée pour cette technologie en raison des problèmes de compatibilité et la nécessité de mettre à niveau le matériel des stations de base UMTS déjà installées. Avec la LTE, toutefois, la technologie MIMO a été déployée avec les premières installations de réseau.

L'idée de base des techniques MIMO est d'envoyer plusieurs flux de données indépendants sur le même canal d'interface air simultanément. Dans la release 8 du 3GPP, l'utilisation de deux ou quatre flux simultanés sont spécifiés. En pratique, jusqu'à deux flux de données sont utilisés aujourd'hui. MIMO est utilisée uniquement pour le canal partagé et uniquement pour transmettre les blocs de ressources radio attribués aux utilisateurs qui rencontrent de très bonnes conditions de signal. Pour les autres canaux, seulement une opération à un seul flux avec une modulation et un codage robuste est utilisée alors que le

eNodeB doit veiller à ce que les données transmises sur ces canaux puissent atteindre tous les appareils mobiles indépendamment de leur emplacement et des conditions de signal actuelles.

La transmission simultanée de flux de données sur le même canal n'est possible que si les flux restent largement indépendants les uns des autres sur le chemin de l'émetteur vers le récepteur. Cet objectif peut être atteint si deux conditions de base sont remplies.

Du côté de l'émetteur, deux ou quatre chaînes de transmission matérielles indépendantes sont nécessaires pour créer les flux de données simultanés. De plus, chaque flux de données nécessite sa propre antenne. Pour deux flux, deux antennes sont nécessaires. En pratique, cela se fait dans un seul boîtier d'antenne en ayant une antenne interne qui transmet verticalement le signal polarisé tandis que l'autre antenne est positionnée de manière à transmettre son signal avec une polarisation horizontale.

Un récepteur MIMO nécessite également deux ou quatre antennes et deux ou quatre chaînes de réception indépendantes. Pour les petits appareils mobiles tels que les smartphones, ça représente un défi à cause de leur taille limitée. Pour d'autres appareils mobiles, tels que les ordinateurs portables ou les routeurs LTE fixe, les antennes pour fonctionnement MIMO avec de bonnes performances sont beaucoup plus faciles à concevoir et intégrer.

La deuxième condition à remplir pour la transmission MIMO est que les signaux doivent rester aussi indépendants que possible sur le chemin de transmission entre émetteur et récepteur. Ceci peut être réalisé, par exemple, comme le montre la figure 3.12, si les transmissions simultanées atteignent le périphérique mobile via plusieurs chemins indépendants. Ceci est possible même dans des environnements où il n'y a pas de ligne de mire directe entre l'émetteur et le récepteur [27].

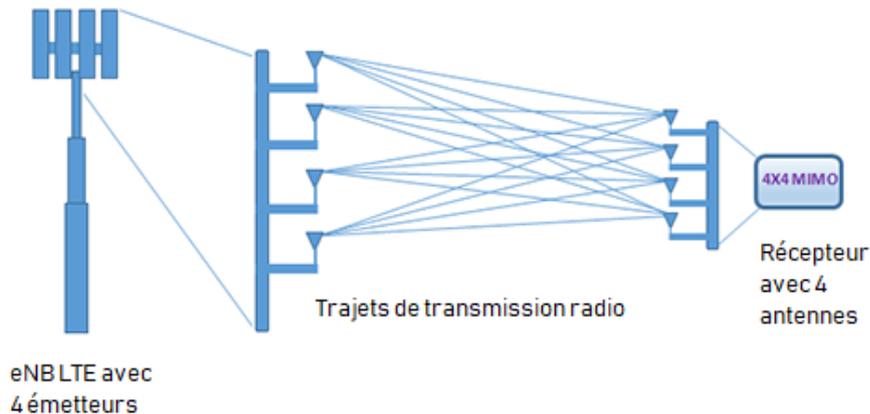


Figure 3.12 : Illustration simplifiée du fonctionnement MIMO.

Cette fonctionnalité a évolué lors de l'introduction de la LTE-Advanced vers la 8x8 MIMO dans la liaison descendante et la 4x4 MIMO dans la liaison montante alors que la LTE-Advanced Pro permet d'exploiter la MIMO pleine dimension (FD-MIMO), cela signifie que le système d'antenne peut former des faisceaux horizontaux et verticaux de manière à pouvoir couvrir toute la zone dans les espaces 3D. Cette fonctionnalité évoluera vers Massive MIMO, un outil clé pour la 5G.

9 Canaux

Le système LTE, utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. Ces canaux sont des composantes de l'architecture du système et sont donc à distinguer du canal de transmission (qui capture les effets de la propagation radio) et du canal fréquentiel (ou porteuse) déjà rencontrés.

On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés : les canaux physiques qui ont pour tâche de porter l'information à partir des couches supérieures (aussi bien les données utilisateur que l'information de contrôle) selon le sens de la transmission, descendant (DL) ou ascendant (UL), les canaux logiques qui sont soit des canaux logiques de contrôle (pour le transport des données de contrôle comme la signalisation RRC) ou des canaux logiques de trafic (pour les données du niveau utilisateur) et les

canaux de transport dans lesquels les données sont multiplexées selon la façon dont elles sont transmises dans l'air [28].

10 Handover en LTE

Dans LTE la gestion de mobilité est distribuée, les eNodeBs prennent la décision de handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au handover sont échangées entre les eNodeB via une interface appelée X2. Le MME et le SGW recevront une notification avec un message complet de handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB.

Après réception du message, les gateways effectuent le chemin de commutation. Durant le handover, il y a un délai durant lequel l'UE n'est pas connecté au système. Pour résoudre cela, une solution temporaire de forwarding des données perdues de l'ancien eNodeB vers le nouveau eNodeB est proposée.

Dans ce cas il n'y a pas de mémorisation des données au niveau des gateways. L'intérêt de cette solution est de minimiser la charge de signalisation au niveau de l'interface entre l'eNodeB et l'MME/SGW [23].

Il n'existe plus que deux types principaux de handover

- Handover intra-eNodeB : de nouvelles ressources radio (resource blocks) sont attribuées au terminal mobile dans une autre cellule radio (une autre bande de fréquence) ou un autre « secteur » gérés par le même eNodeB.
- Handover inter-eNodeB : de nouvelles ressources radio (resource blocks) sont attribuées au terminal dans une cellule gérée par un autre eNodeB. Le dialogue entre les deux eNodeBs se fait par les liens X2 du réseau EUTRAN de l'opérateur mobile.

11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les concepts de base des réseaux cellulaires LTE et leurs caractéristiques. Nous avons présenté les plus importantes techniques qui dépendent des interfaces radio telles que l'OFDMA et la SC-FDMA, leur architecture et aussi la technologie qui a permis la transmission simultanée de flux de données sur le même canal. Le chapitre suivant se focalisera sur la partie équipements concernant la BTS université de l'opérateur ATM Mobilis.

CHAPITRE 4

Étude d'un site GSM ATM Mobilis

- 1** Introduction
- 2** Présentation de l'entreprise d'accueil : ATM Mobilis
- 3** Étude du site BTS université (18601) d'ATM Mobilis
- 4** Description de la station de base RBS 6201
- 5** Processus de migration selon la technologie
- 6** Configuration des unités radio et unités numériques de la RBS 6201
- 7** Unité de transmission
- 8** Rétrospectives sur l'évolution de la partie du réseau d'accès radio (RAN)
- 9** Conclusion

1 Introduction

Déployer des réseaux de télécommunication mobile performants afin de subvenir aux besoins croissants des consommateurs et améliorer l'expérience utilisateur induit nécessairement des changements technologiques et des modernisations en continue.

Ce chapitre porte essentiellement sur les équipements utilisés par l'opérateur ATM Mobilis (Algérie Télécom Mobile Mobilis) concernant son réseau d'accès radio pour les trois technologies 2G, 3G et 4G. Ainsi, nous allons commencer par une présentation de l'opérateur et ses régions de concentration en réseau. Ensuite, nous allons décrire séquentiellement la BTS du site 18601 (sis à proximité de l'université, nommé « site université » par les employés de Mobilis ATM Jijel) et montrer les évolutions techniques qui ont permis de passer d'une génération à une autre.

2 Présentation de l'entreprise d'accueil : ATM Mobilis

Filiale d'Algérie Télécom, Mobilis est le premier opérateur mobile en Algérie, devenu autonome en août 2003.



Figure 4.1 : Logo de Mobilis.

Depuis sa création, Mobilis s'est fixé des objectifs principaux qui sont : la satisfaction du client, la fidélisation du client, l'innovation et le progrès technologique, qui lui ont permis de faire des profits et d'acquérir près de 20 Million d'abonnés en un temps record. Optant pour une politique de changement et d'innovation, Mobilis travaille en permanence sur son image de marque et veille constamment à offrir le meilleur à ses clients.

En déployant un réseau de haute qualité, en assurant un service client satisfaisant, et en créant des produits et services innovants, Mobilis est positionné comme étant un opérateur proche de ses partenaires et de ses clients, renforcé par sa signature institutionnelle : « Partout avec vous ». Son slogan est une promesse d'écoute et un signe de son engagement à assumer son rôle dans

le développement durable grâce à sa participation dans le progrès économique, son respect de la diversité culturelle, son engagement d'assumer son rôle social et sa participation à la protection de l'environnement. Se munissant des valeurs : Transparence, Loyauté, Dynamisme et Innovation. Mobilis optimise sa qualité de service et veille à fidéliser ses clients.

Mobilis c'est aussi

- Une couverture réseau totale de la population.
- Un réseau commercial en progression atteignant ainsi les 178 Agences.
- Plus de 60.000 points de vente indirecte.
- Plus de 4500 Stations de Base Radio (BTS)
- Des Plateformes de Service des plus performantes.
- De l'innovation et un développement de plusieurs offre et services [29].

2.1 Organigramme de l'entreprise

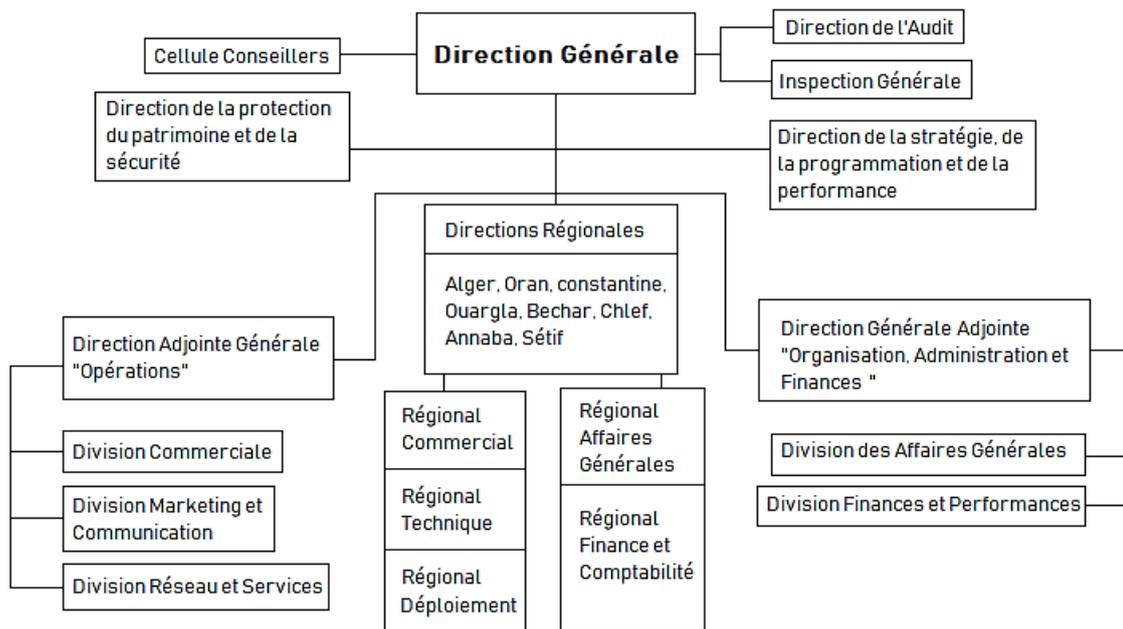


Figure 4.2 : Organigramme de l'entreprise ATM Mobilis.

2.2 Régions d'ATM Mobilis

L'opérateur ATM Mobilis a divisé l'Algérie en huit régions différentes

- Région d'Alger : comporte les wilayas d'Alger, Boumerdès, Blida, Tipaza, Bouira, et Tizi-Ouzou.
- Région de Chlef : Chlef, Tissemsilt, Relizane, Tiaret, Médéa, Djelfa et Aïn Defla
- Région d'Oran : Oran, Mostaghanem, Sidi Bel Abbès, Mascara, Aïn Témouchent, Saïda et Tlemcen.
- Région de Sétif : Sétif, Bordj Bou Arreridj, Jijel, Msila et Béjaïa.
- Région de Constantine : Constantine, Batna, Khenchla, Mila, Batna et Oum el Bouaghi.
- Région d'Annaba : Annaba, Skikda, El Tarf, Guelma, Souk Ahras et Tébessa.
- Région de Bechar : Bechar, Naâma, El-Bayadh, Tindouf et Adrar.
- Région de Ouargla : Ouargla, Biskra, El Oued, Laghouat, Ghardaïa, Illizi et Tamanrasset.

2.2.1 MSCs ATM Mobilis

- 4 MSC à la région d'Alger (Bir Mourad Raïs – Mustapha – Tizi-Ouzou-Blida).
- 3 MSC à la région d'Oran (1 MSC à Sidi Bel Abbès – 2 MSC à Oran).
- 3 MSC à la région de Constantine (Massinissa - Ali Mendjli - Batna).
- 1 MSC à Annaba.
- 1 MSC à Ouargla.
- 2 MSC à la région de Chlef (Khemis Miliana - Chlef).
- 1 MSC à Sétif.
- 1 MSC à Bechar.

Les commutateurs ouverts à l'interconnexion voix sont

- Le MSC d'Alger (Mustapha – Bir Mourad Raïs).
- Le MSC d'Ouargla, MSC de Batna, MSC d'Oran.
- Les deux MSC de Constantine (Massinissa – Ali Mendjli).
- Le MSC d'Annaba et le MSC de Bechar.

2.2.2 LES HLR ATM Mobilis

ATM Mobilis a 6 HLR au niveau du territoire Algérien

- HLR de Tizi-Ouzou relié avec HLR de Blida.

- HLR de Bir Mourad Raïs relié avec HLR d'Oran.
- HLR de Mustafa relié avec HLR de Constantine.

3 Étude du site BTS université (18601) d'ATM Mobilis

3.1 Caractéristiques du site BTS

Numéro d'Identification : 18601.

Localisation : Rue Chaibeddra Abdelkrim, Jijel.

Coordonnées GPS : 36°48'13.2"N 5°45'00.0"E.

Technologies utilisées : 2G, 3G et 4G.

Nombre d'émetteurs-récepteurs (TRX) : 12.

Transmission : Le site est rattaché à la BSC Bab-Essour qui est à son tour rattaché au MSC de Constantine.

Zone de couverture : Université de Jijel, Ouled Aissa et une partie de la Cité 40 Hectares.

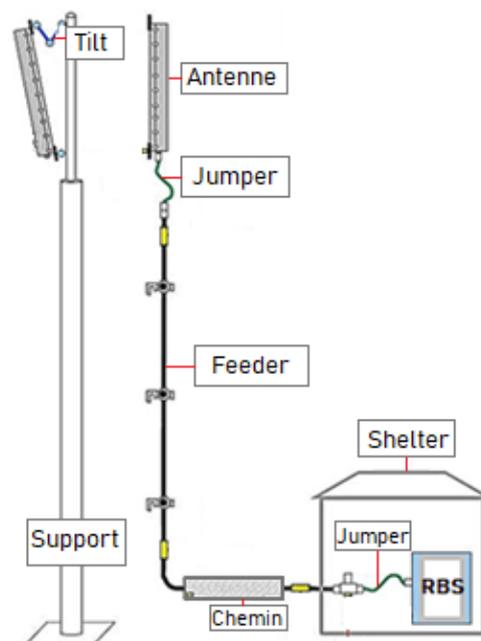


Figure 4.3 : Représentation d'un site BTS.

3.2 Description du site BTS

Le site BTS est composé d'une antenne et d'un shelter (abri aménagé pour l'installation des équipements d'un opérateur) qui abrite les équipements utilisés. Le shelter est doté de plusieurs capteurs tels que le détecteur de fumée, de voltage ainsi qu'un détecteur de contact de la porte afin de signaler tout danger qui pourrait endommager les équipements.

L'alimentation du site est attribuée par Sonelgaz avec un voltage de 380V AC par contre la RBS (Radio Base Station) est équipée de redresseurs pour la conversion en continu puisque les modules travaillent avec une très forte intensité de 20 ampères chacun.

Les équipements utilisés dans ce site sont

- Banc de batteries : NorthStar NSB190FT.
- L'unité de climatisation : Mega Hissoto.
- L'antenne : Kathrein.
- La station de base : Ericsson RBS 6201.
- L'unité de transmission : Ericsson Mini-Link TN.

3.2.1 Banc de batteries

Ces batteries représentent l'alimentation de secours en cas de coupure de l'alimentation principale, elles prennent le relais automatiquement afin d'éviter toute interruption de service et permettent une autonomie d'environ 6 heures.

Ce banc de batterie est composé de 16 batteries qui sont reliées selon une configuration 4 séries / 4 parallèles et ont une capacité de 12V avec une charge électrique de 191 Ah.



Figure 4.4 : Banc de batteries.

3.2.2 Unité de climatisation

C'est une climatisation verticale qui a été spécialement conçue pour la climatisation des shelters de télécommunication et les centres informatiques de traitement de données.

Cette unité est munie d'un système de refroidissement qui permet d'importantes économies d'énergie, ce système permet de remplacer complètement la puissance frigorifique fournie par le circuit frigorifique lorsque les conditions climatiques extérieures (la température de l'air extérieur) le permettent, par conséquent elle peut atteindre des économies d'énergie assez importantes et ceci jusqu'à ce que la demande de froid devienne trop importante et à ce moment la régulation démarrera le compresseur [30].



Figure 4.5 : Unité de climatisation.

3.2.3 Antenne

A l'extérieur du shelter, il y a un pylône d'une hauteur de 20 mètres équipé d'une antenne panneau quadri bande à double polarisation de marque Kathrein qui assure une couverture tri-sectorielles (120° par antenne). Cette antenne permet de réaliser la liaison entre la MS (téléphone mobile) et le BTS. Elle est aussi équipée d'un amplificateur TMA faible bruit qui est placé au plus près de l'antenne et d'un système d'inclinaison électrique à distance RET qui permet d'envoyer une commande afin d'ajuster l'inclinaison d'une antenne particulière.

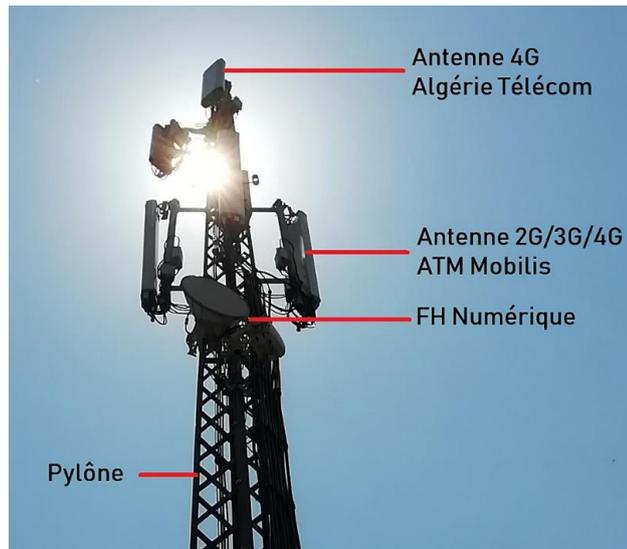


Figure 4.6 : Composants installés sur le pylône.

La liaison entre l'équipement radio et l'antenne se fait par des guides d'onde (le Feeder et le Jumper)

La différence entre ces deux guides d'onde est que le Feeder est rigide, il est utilisé pour les longues distances à cause de sa robustesse aux pertes, tandis que le Jumper est plus flexible et est utilisé pour les courtes distances car il présente plus de pertes.



Figure 4.7 : Feeder, Connecteur et Jumper.

3.2.4 Station de base RBS 6201

La station radio de base utilisée dans ce site est de marque suédoise Ericsson modèle RBS 6201. Cette station est de type macro pour utilisation intérieure

(Indoor Macro Base Station), qui fait partie de la famille multi standard RBS 6000 Next Generation.



Figure 4.8 : Série Macro RBS 6000 en configuration Indoor et Outdoor.

C'est un produit fidèle au concept Evo RAN de réseau d'accès radio unique compatible GSM, WCDMA et LTE et qui permet de réduire les dépenses de fonctionnement (OPEX) et les dépenses en investissements (CAPEX). Ceci grâce notamment aux avantages suivants que procure ce modèle

- Activation à distance : la mise à niveau ne nécessite pas d'intervention sur place.
- Souplesse de paiement : l'opérateur n'a rien à payer à l'avance puisqu'il ne paye qu'au moment de l'extension de capacité (clés d'activation)
- Extension de capacité immédiate : la mise à niveau se fait sans interruption de service.

Ce produit RBS a donc permis d'effectuer une migration en douceur du site vers de nouvelles fonctionnalités et technologies notamment la 4G, garantissant ainsi la pérennité des revenus et des bénéfices.

Les principaux objectifs de conception de cette station de base RBS ont été de repenser l'alimentation et de l'intégrer complètement dans le système. Grâce à cette alimentation intelligente, il est désormais possible de fournir de la puissance à la demande afin de limiter celle-ci à ce qui est strictement nécessaire et de maintenir ainsi la consommation d'énergie à son minimum.

Un effort de simplicité a aussi été recherché avec une nouvelle armoire polyvalente, des composants entièrement compatibles entre eux, une conception modulaire et un très haut degré d'intégration.



Figure 4.9 : Station de base RBS 6201 du site université (18601) d'ATM Mobilis.

4 Description de la station de base RBS 6201

4.1 Spécifications techniques de la RBS 6201

Capacité radio	Configuration Macro	Deux étagères radio avec un maximum de douze unités radios internes multi standard
	Configuration Hybride	Prise en charge d'un mélange de radios internes et distantes
	Une étagère radio peut supporter	Jusqu'à 48 émetteurs-récepteurs GSM où Jusqu'à 3x4 MIMO WCDMA où Jusqu'à 3x20 MHz MIMO LTE
Dimensions mécaniques HxLxP		1435 x 600 x 483 mm
Poids, totalement équipé		<215 kg
Alimentation du site		200–250 V AC, –48 V DC, +24 V DC
Transmission		Large gamme de différentes interfaces de transmission : E1/T1/J1, STM-1, Ethernet (électrique et optique) Espace disponible d'au moins 3 unités pour l'équipement en option tel que les équipements de transmission du site
Plage de températures		De +5 à +50 °C

Tableau 4.1 : Spécifications techniques de la RBS 6201.

4.2 Architecture matérielle

L'architecture matérielle flexible se compose d'étagères et modules principaux représentés dans la figure ci-dessous

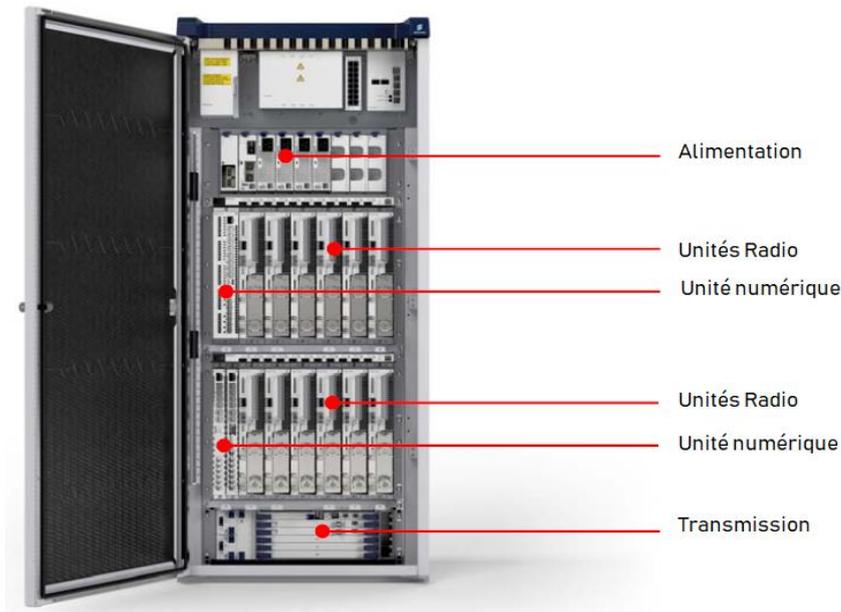


Figure 4.10 : Architecture matérielle de l'RBS 6201.

NB : ATM Mobilis dans le site université utilise un équipement de transmission séparé de l'armoire RBS.

4.2.1 Étagère d'alimentation

Le système d'alimentation de la RBS est une solution moderne et efficace pour fournir de l'énergie aux modules utilisés. Le système utilise une distribution d'énergie haute densité à travers une unité appelée PDU (Power Distribution Unit) qui distribue le -48V à la radio et les unités numériques. Les algorithmes de cette unité peuvent désactiver les appareils AC et DC et autres composants temporairement non utilisés pour économiser de l'énergie et augmenter la capacité de la batterie.

Les redresseurs tolérants (PSU AC) permettent d'importantes variations de tension, ce qui élimine le besoin de stabilisateurs de tension externes.



Figure 4.11 : Système d'alimentation (en haut) et système de distribution d'énergie (en bas).

4.2.2 Étagères radio

La station de base RBS 6201 utilise les principaux composants radio suivants pour le GSM, WCDMA et LTE

- RU – Unité Radio
 - Émetteur-récepteur (TRX)
 - Amplification de l'émetteur (TX)
 - Duplexage émetteur/récepteur (TX/RX)
 - Support de supervision de l'antenne
- DU – Unité Numérique
 - Traitement de contrôle
 - Distribution d'horloge
 - Synchronisation à partir du réseau de transport
 - Traitement en bande base
 - Interface de réseau de transport
 - Interconnexion des RU
 - Réseau local (LAN) et interface de maintenance

Chaque étagère radio supporte jusqu'à 6 RU et une RBS 6201 entièrement configuré peut accueillir jusqu'à 12 RU.

▪ Description de l'unité radio

L'unité radio (RU) consiste en un filtre et un amplificateur de puissance. La radio a jusqu'à 20 MHz de largeur de bande et jusqu'à 60 W de puissance de sortie

disponible avec des activations matérielles par pas de 20 W. La radio (RUS) peut transmettre deux normes simultanément.



Figure 4.12 : Unité radio (RU).

▪ Description de l'unité numérique

Cette unité assure la commutation, la gestion du trafic, la synchronisation, le traitement en bande de base, et l'interfaçage radio.



Figure 4.13 : Unité numérique (DU).

5 Processus de migration selon la technologie

5.1 Technologie 2G

5.1.1 Ancien équipement de la famille RBS 2000

C'est un équipement pour la technologie 2G seulement. Il comprend les principales unités suivantes

- Unité d'alimentation.
- Unité de commutation de la distribution (DXU).
- Module de distribution interne (IDM).
- Double émetteur-récepteur (dTRU).

- Unité de commutation de la configuration (CXU).
- Unité de combinaison et de distribution (CDU).
- Unité de connexion AC ou DC (ACCU / DCCU).
- Unité de commande de ventilateur (FCU).
- Filtre à courant continu.



Figure 4.14 : Station de base RBS 2206.

5.1.2 Nouvel équipement RBS 6201

Pour la technologie 2G, l'RBS utilise les modules suivants

- L'unité radio pour le GSM (RUG) : Cette unité est seulement utilisable pour le GSM, elle utilise une modulation GMSK et 8-PSK et une technique d'accès multiple à répartition dans le temps (TDMA).
- L'unité Numérique pour le GSM (DUG) : Elle peut contrôler jusqu'à 12 porteuses GSM. Si plus de 12 porteuses sont nécessaires, un DUG supplémentaire peut être installé dans le rayon radio synchronisé avec d'autres DUG dans l'armoire.

Cette unité est disponible en deux variantes : DUG10 prend en charge RUG tandis que DUG20 prend en charge RUS et RRUS.

5.1.3 Technique d'accès utilisée

La technique d'accès utilisée dans le cas de la deuxième génération (norme GSM) est l'accès multiple par répartition du temps (TDMA).

Le principe est comme nous l'avons évoqué dans le deuxième chapitre consiste à transmettre plusieurs signaux (et donc plusieurs utilisateurs) simultanément sur le même canal avec un temps spécifique pour chaque utilisateur (intervalle du temps (IT) ou time slots en anglais).

La fréquence attribuée à ATM Mobilis est divisée en quatre sous-porteuses (FDMA) et chaque sous-porteuse est divisée en intervalles de temps (IT) appelés slots (TDMA). Le premier slot de chaque sous-porteuse est réservé à la communication entre la BTS et le BSC ou RNC alors que les sept autres sont partagés entre les différents utilisateurs du réseau, il en résulte un total de 28 utilisateurs qui peuvent communiquer simultanément.

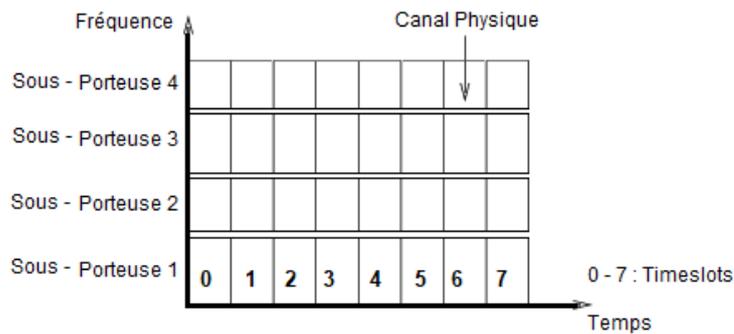


Figure 4.15 : Attribution des intervalles de temps (IT).

Pour la technique FDMA, on alloue les différents canaux (bandes de fréquences) aux différents utilisateurs individuels, à la demande.

La figure suivante montre le principe FDMA pour le cas de trois utilisateurs

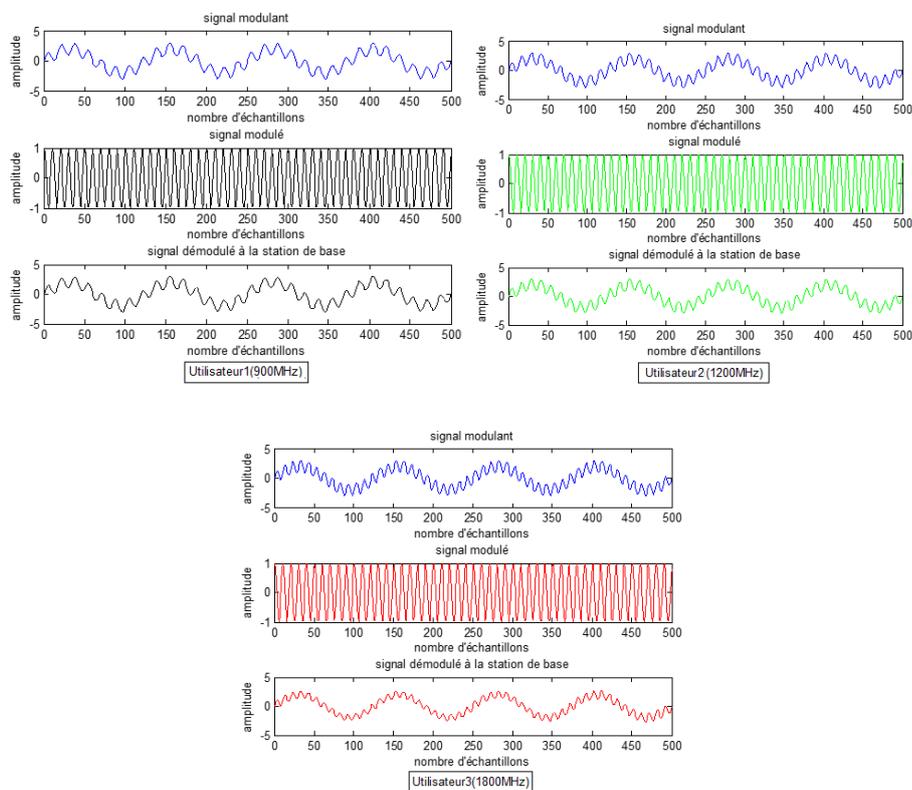


Figure 4.16 : Signaux pour trois utilisateurs.

La figure 4.17 représente les signaux de trois utilisateurs combinés dans le canal. Le signal de chaque utilisateur porte une fréquence qui lui est propre.

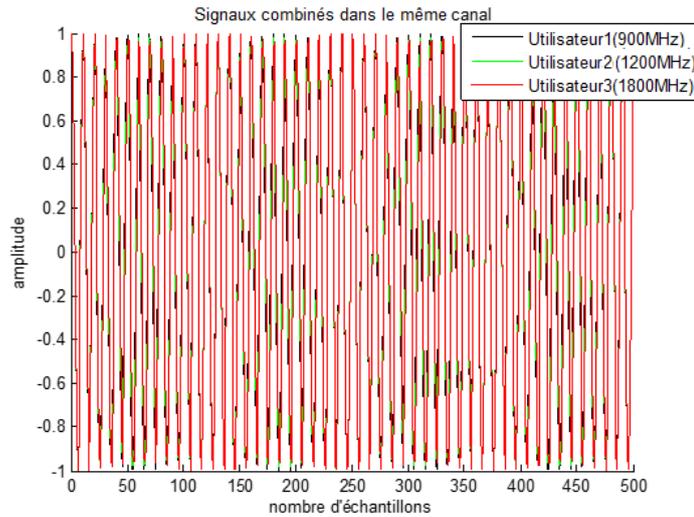


Figure 4.17 : Signaux des trois utilisateurs combinés dans le canal.

La figure 4.18 représente la combinaison de tous les signaux modulés transmis après passage dans le canal bruité (0 dB).

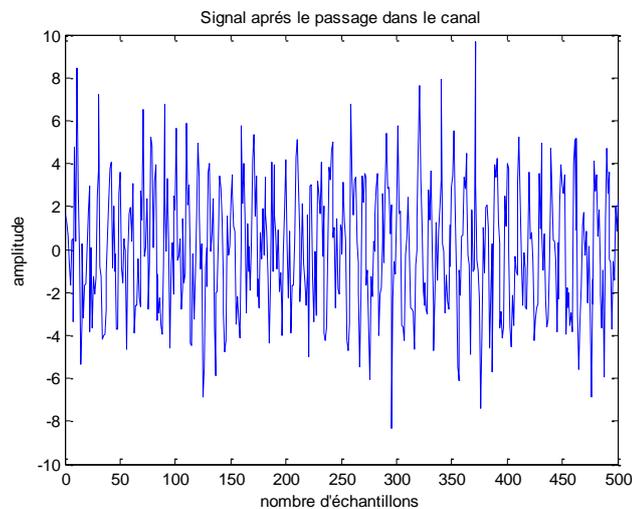


Figure 4.18 : Signal après le passage dans le canal.

Les résultats de simulation de la technique TDMA (pour deux utilisateurs) réalisée sous le logiciel Matlab sont représentés par les figures ci-dessous en utilisant deux signaux d'entrée séparés (chaque utilisateur utilise la même bande fréquentielle pour transmettre son information mais sur des intervalles de temps différents).

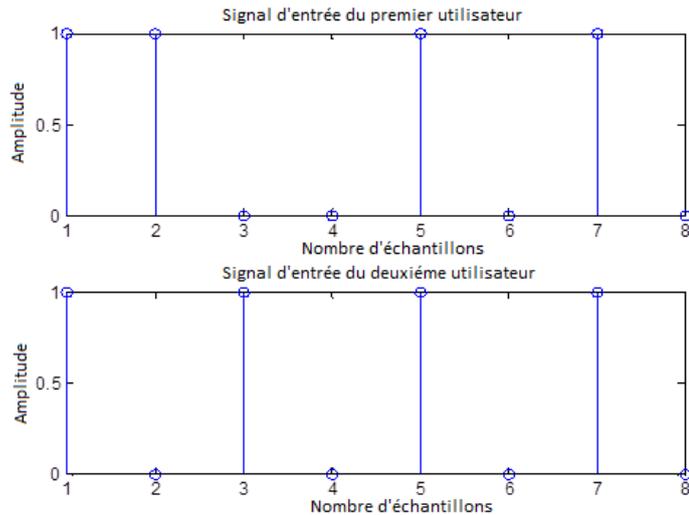


Figure 4.19 : Signal d'entrée pour chaque utilisateur.

La figure ci-dessous représente les deux signaux multiplexés dans un seul canal avec un temps de communication partagé entre les deux signaux et donc entre les deux utilisateurs. De ce fait, un mobile accède au canal suivant les intervalles du temps qui lui sont attribués. Il envoie des rafales d'informations (appelés Burst), occupant toujours un même intervalle de temps (Time Slots) sur un canal. L'accès au canal montant et au canal descendant se fait toujours de façon décalée : il y a deux slots de décalage entre le sens uplink et le sens downlink.

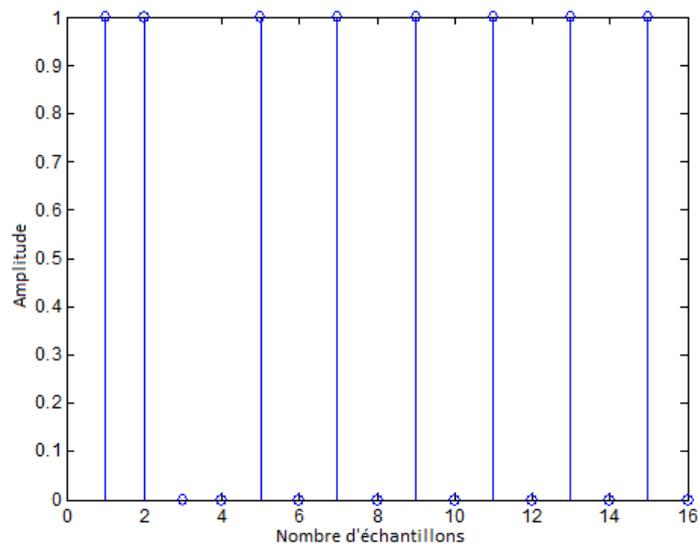


Figure 4.20 : Signaux multiplexés.

A la réception les deux signaux seront démultiplexés et ainsi l'information originale sera récupérée.

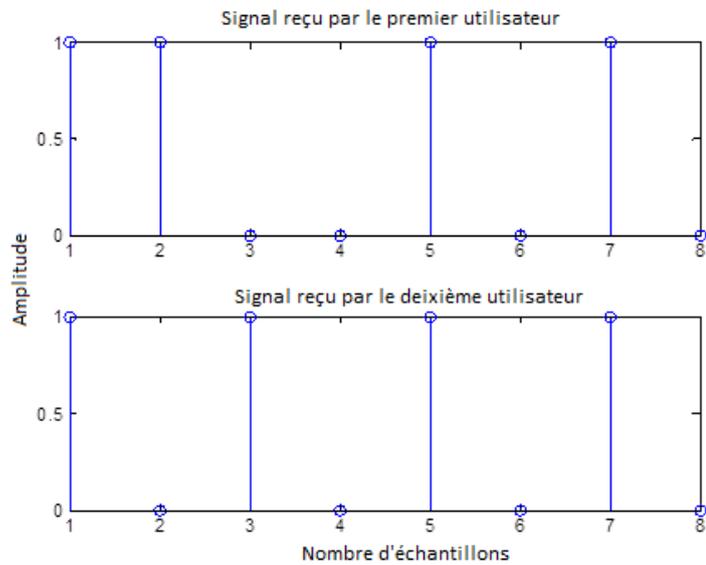


Figure 4.21 : Signal reçu par chaque utilisateur.

5.2 Technologie 3G

5.2.1 Ancien équipement de la famille RBS 3000

C'est un équipement pour la technologie 3G seulement. Sa conception lui permet de Co-fonctionner avec l'RBS déjà installée pour la 2G. Il comprend les principales unités suivantes

- Unité d'alimentation ;
- Unité de distribution d'énergie (PDU) ;
- Unités de filtration (FU) ;
- Unités radio (RU) ;
- Carte d'interface radio (RUIF) ;
- Unité de contrôle de base (CBU) ;
- Unité de traitement en bande de base (BB) ;
- Unité de connexion AC ou DC (ACCU / DCCU) ;
- Unité de commande de ventilateur (FCU) ;
- Filtre à courant continu.

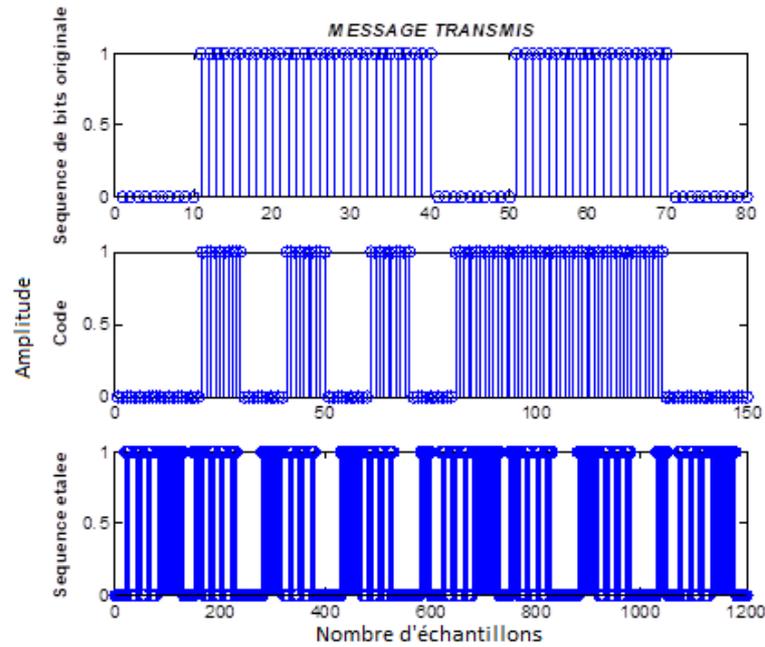


Figure 4.23 : Message transmis utilisant la technique CDMA.

La séquence de bits du message à transmettre est étalée au moyen d'un code alloué. Chaque bit d'information est remplacé par une série de bits, que nous appellerons code. Cette série est extraite d'une séquence pseudo-aléatoire.

A la réception, la séquence étalée est multipliée par le même code qu'à l'émission pour avoir la séquence originale comme le montre la figure suivante

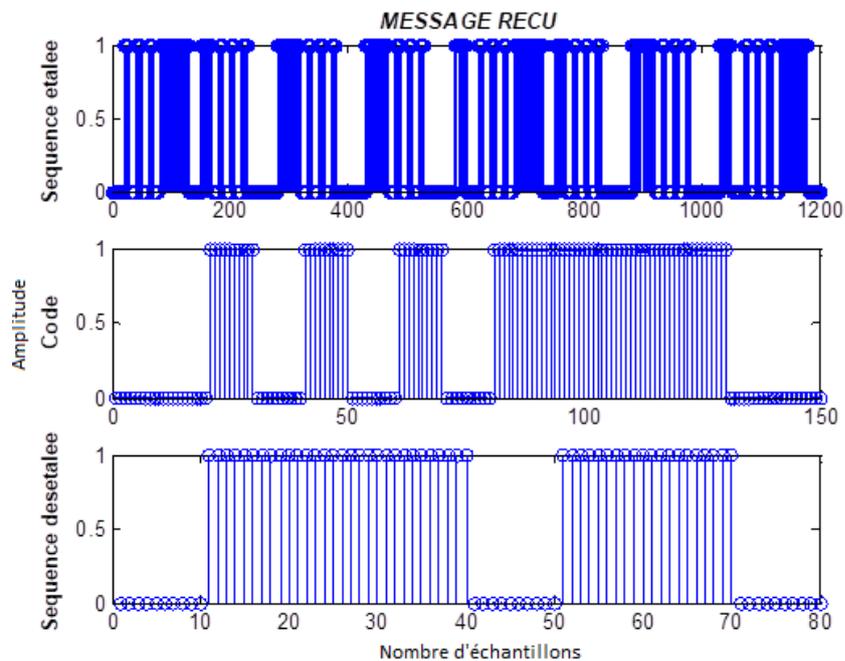


Figure 4.24 : Message reçu utilisant la technique CDMA.

Le récepteur utilise ce même code pour décoder le signal reçu et extraire l'information utile.

5.3 Technologie 4G

5.3.1 Nouvel équipement RBS 6201

Cet équipement regroupe en même temps les trois technologies, et pour supporter la « 4G », il utilise les modules suivants

- L'unité Radio Multistandard (RUS) : Cette unité multistandard prend en charge les trois normes (GSM, WCDMA, LTE) et son utilisation peut être configurée comme Single Mode ou Mixed Mode.
 - Single Mode : permet à l'RBS d'être configuré avec différents systèmes d'accès radio dans la même armoire.
 - Mixed Mode : Permet aux différents systèmes d'accès radio de partager les ressources radio et d'antenne selon la combinaison suivante
 - WCDMA et GSM
 - LTE et GSM
 - WCDMA et LTE
 - LTE et CDMA

ATM Mobilis pour le site université utilise les unités radio multistandard RUS ainsi qu'une configuration combinée (Mixed Mode) LTE 1800 MHz et GSM 1800 MHz afin de partager les ressources radio (voix et data) et d'antenne concernant la bande 1800 MHz.

- La Base band 5216 pour la LTE

La Base band 5216 réunit les technologies LTE FDD et TDD, WCDMA et GSM sur la même architecture matérielle et logicielle, offrant aux opérateurs des solutions inégalées de flexibilité et d'évolutivité.

ATM Mobilis utilise cette unité en remplacement de l'unité numérique pour la LTE (DUL).



Figure 4.25 : Base band 5216.

Cette unité a les fonctions suivantes

- Fonction de synchronisation
- Traitement en bande de base sur la liaison descendante
- Traitement de la bande de base sur la liaison montante
- Gestion du trafic IP
- Interface radio
- Prise en charge de la transmission
- Synchronisation externe
- Contrôle de la puissance et de la climatisation de la RBS
- Capacité DATA de la Base band 5216 pour la LTE
 - 8000 utilisateurs connectés
 - Un débit de 1200 Mbps en liaison descendante
 - Un débit de 600 Mbps en liaison montante

NB Les débits dépendent de la configuration radio.

La figure ci-dessous montre la migration des unités existantes vers le nouveau système.

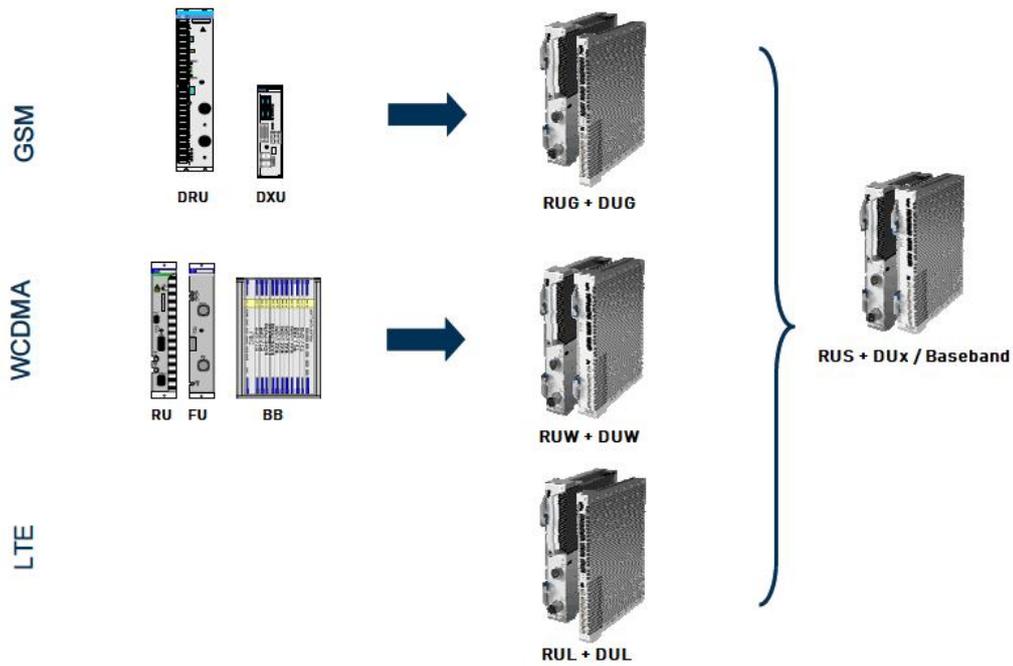


Figure 4.26 : Processus de migration des unités.

6 Configuration des unités radio et unités numériques de la RBS 6201

- Pour la technologie 2G : RUS 01 B8 (2G 900 MHz) et 01 B3 (2G 1800 MHz) + DUG 20 01
- Pour la technologie 3G : RUS 01 B1 + DUW 31 01
- Pour la technologie 4G : RUS 02 B3 (intégré avec la 2G dans la bande des 1800 MHz) + Baseband 5216

7 Unité de transmission

Elle permet de connecter toutes les BTS et les relier au contrôleur de station de base utilisant les faisceaux hertziens. Cette technologie permet de relier une antenne via la fibre, et toutes celles à proximité par faisceaux hertziens. La seule contrainte, est que les deux antennes FH doivent être visibles l'une de l'autre sans aucun obstacle. Pour cela le site université n'est pas relié directement au contrôleur situé à Bab-Essour mais via le site 18602 situé à El Haddada qui est à son tour relié au contrôleur de Bab-Essour.

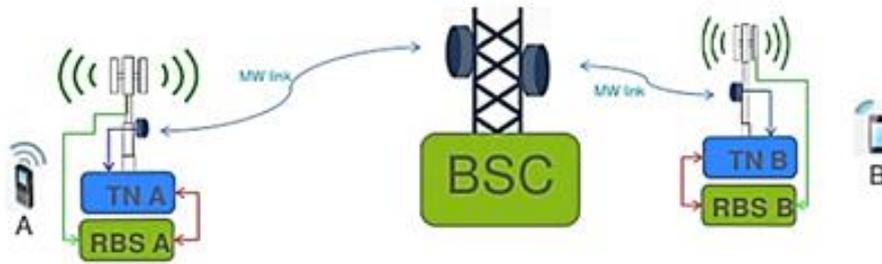


Figure 4.27 : Exemple d'une liaison par faisceaux hertziens.

Pour garantir cette connexion et assurer le multiplexage et le routage du trafic, ATM Mobilis utilise l'équipement Mini-Link TN (Traffic Node) de la marque Ericsson qui est une solution flexible pour transmettre utilisant n'importe quel protocole (Ethernet, ATM, SDH et PDH) et qui intègre de puissants mécanismes de protection.

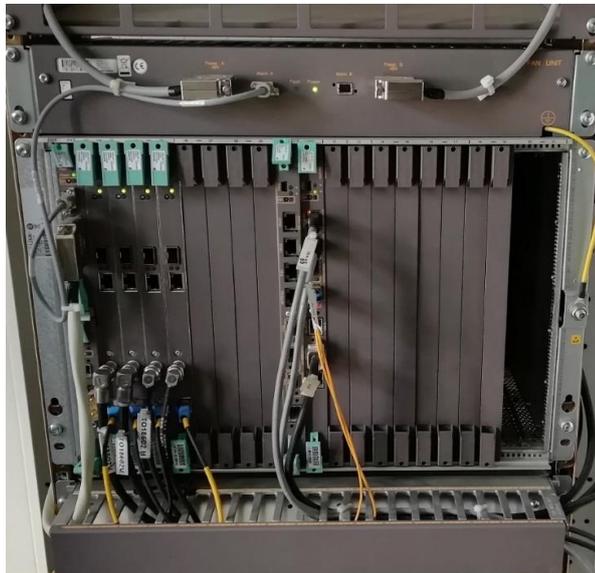


Figure 2.28 : Mini-Link TN.

La partie intérieure comprend un Access Module Magazine (AMM) avec des unités enfichables interconnectées.

Unité	Fonction
Access Module Magazine (AMM)	Loge les différentes unités et assure l'interconnexion des signaux de trafic, d'alimentation et de contrôle.
Node Processor Unit (NPU)	Traite le trafic principal et les fonctions de contrôle du système. Fournit également des interfaces de trafic et de gestion.
Line Termination Unit (LTU)	Unité fournissant des interfaces de trafic PDH ou SDH.
Modem Unit (MMU)	La partie intérieure d'un terminal radio. Cette unité détermine la capacité de trafic et le schéma de modulation du terminal radio.
Power Filter Unit (PFU)	Filtre l'alimentation externe et distribue l'alimentation interne aux unités enfichables.
Fan Unit (FAU)	Assure le refroidissement de la partie intérieure.

Tableau 4.2 : Rôle des différentes unités du module de transmission.

La partie extérieure consiste en une antenne et une unité d'accès radio (RAU) qui émet et reçoit avec une fréquence de 23 GHz. La fonction de base de l'unité radio est de générer et de recevoir le signal radio fréquence et le convertir vers / à partir du format du signal dans le câble radio, connectant l'unité radio et l'unité modem.

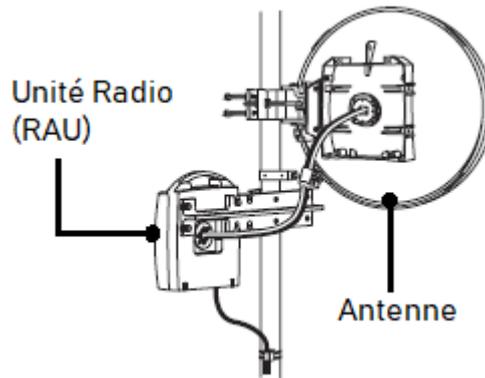


Figure 4.29 : Antenne et unité radio.

8 Rétrospectives sur l'évolution de la partie du réseau d'accès radio (RAN)

Aujourd'hui, les technologies mobiles viennent en différentes formes et tailles et en ce moment, les trois technologies les plus connues sont la « 2G », la « 3G » et la « 4G ». Toutes les trois fonctionnent côte à côte, mais pour la plupart, la 2G et la 3G, s'exécutent sur différentes plateformes matérielles compliquant ainsi la tâche des opérateurs qui doivent déployer de nouvelles technologies sur le réseau parce qu'à chaque fois qu'ils le font, ils doivent mettre à niveau ou remplacer une partie de l'infrastructure réseau. Cela rend les choses particulièrement difficiles et demande à faire face à des scénarios plus complexes et investir beaucoup de temps et d'argent surtout en ce moment où l'ATM Mobilis est entrain de déployer la 4G sur son réseau.

Le Single RAN évite cette complexité en exécutant différentes technologies sur une seule plate-forme matérielle afin de passer des installations multiples de chaque technologie radio, ses propres systèmes de transport et besoins opérationnels, à des installations uniques avec un réseau de transport commun et un système de gestion à travers le même matériel.

Le deuxième avantage du Single Ran est qu'il améliore l'expérience pour l'utilisateur final et aide la batterie des smartphones à durer plus longtemps tout en augmentant la vitesse des données. Les clients obtiennent plus de données, plus rapidement, car les nouvelles stations de base peuvent se connecter directement au réseau cœur, cela signifie un contournement des contrôleurs (BSC ou RNC) qui gèrent plusieurs centaines de stations de base à la fois.

Le troisième avantage concerne la flexibilité car les stations de base de première génération étaient de grande taille et avaient besoin de beaucoup d'entretien alors que les nouvelles sont petites et peuvent être installées n'importe où et consomment moins d'énergie.

La figure ci-dessous illustre ce changement et cette évolution de façon à utiliser des structures de sites de stations de base très simplifiées avec un transport et un support opérationnel commun

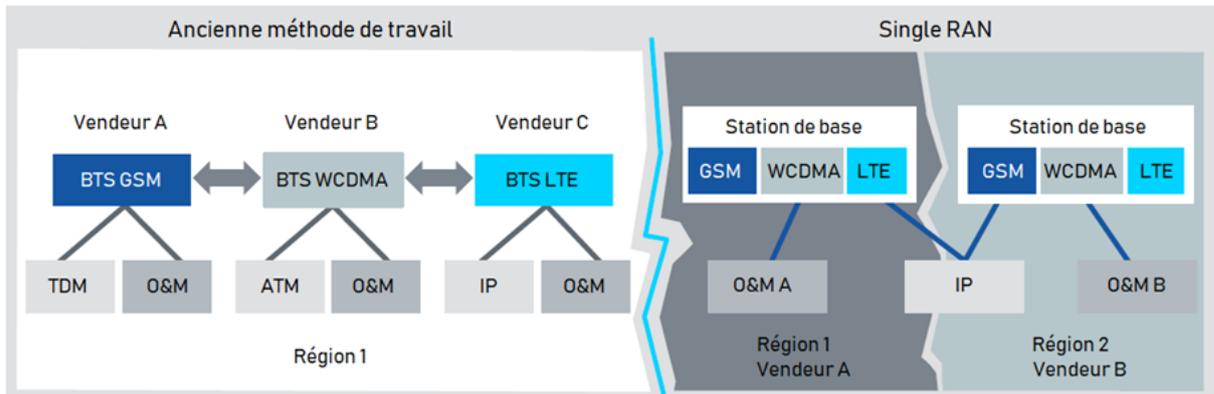


Figure 4.30 : Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle méthode de travail.

Pour les équipements de l'opérateur ATM Mobilis concernant le site université, cela se caractérise par la mise à niveau des anciens équipements vers la nouvelle station de base RBS 6201 qui regroupe les trois technologies et qui permet une migration simple et rapide d'une technologie à une autre en ajoutant et configurant de nouveaux modules.

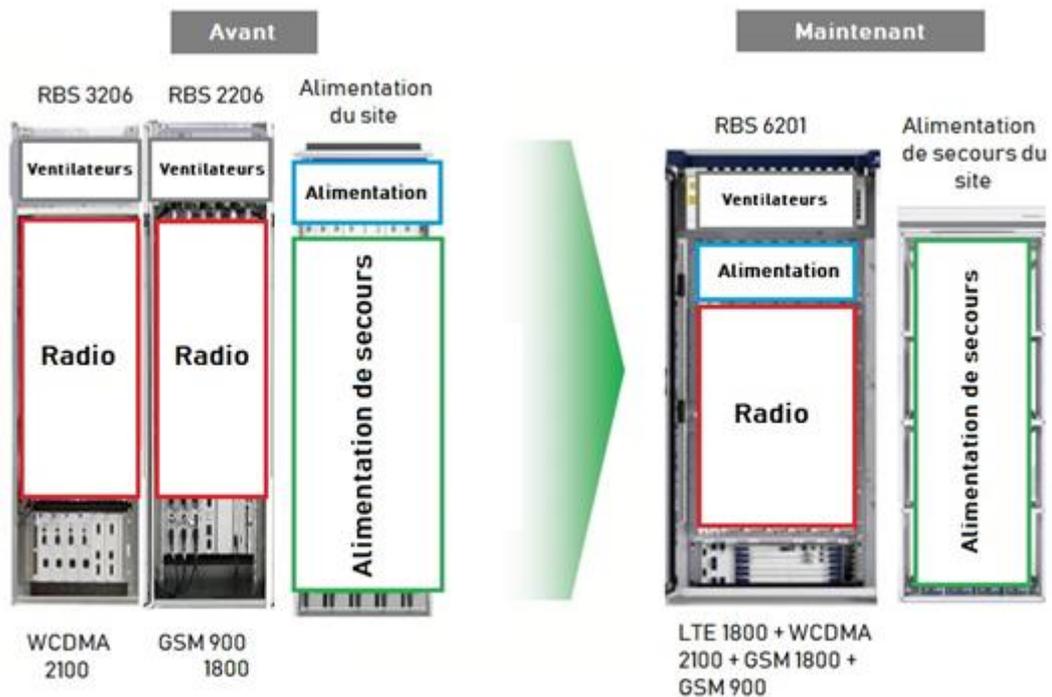


Figure 4.31 : Ancienne et nouvelle configuration du site BTS.

9 Conclusion

Dans ce quatrième chapitre, on a décrit les différents équipements et techniques qui ont contribué à la migration vers les différentes générations : la 2G, la 3G et enfin la 4G sur le site université de l'opérateur ATM Mobilis.

Quelques exemples de simulation utilisant le logiciel Matlab ont été présentés concernant les techniques de multiplexage utilisées pour les différentes générations.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'évolution de la téléphonie mobile de la première génération jusqu'à la cinquième génération a connu d'énormes changements plus particulièrement en terme d'équipements utilisés.

Le GSM ayant connu un très grand succès avec la téléphonie mobile, a naturellement évolué vers le transfert de données, en réutilisant dans un premier temps l'architecture déjà définie de la téléphonie. Les limitations en débit du GSM ont été vite repoussées par l'apparition du GPRS pour offrir un partage dynamique de la ressource radio et un réseau fixe complètement adapté au transfert en paquet. En dotant l'interface radio de schémas de modulation et de codage plus efficaces, le GSM ouvre ses portes aux systèmes dits de troisième génération (3G) dont les évolutions vont vraisemblablement permettre de répondre rapidement aux exigences des utilisateurs et à prix modérés.

La quatrième génération des réseaux mobiles et sans fil se donne pour ambition de régler non seulement cette limitation mais aussi de mettre en commun la grande variété des solutions mobiles, souvent complémentaires, et de les proposer sous une forme unifiée.

Notre étude s'est circonscrite dans l'optique de l'évolution de la transition vers la quatrième génération à partir des réseaux 2G et 3G au niveau du site université d'ATM Mobilis.

Cette étude s'est limitée jusqu'à la quatrième génération LTE utilisée justement par le site dans lequel nous avons mené notre travail.

Pour cela, il nous a fallu dans un premier temps parler des généralités sur les télécommunications mobiles et expliquer le concept d'un réseau cellulaire puisque nous entendons souvent cette notion de téléphone cellulaire, ensuite nous avons abordé brièvement l'évolution de la téléphonie mobile.

Dans le deuxième chapitre, nous avons expliqué avec plus de détails les architectures des générations 2G et 3G ainsi que leurs évolutions et les différentes techniques d'accès au réseau utilisées.

Le troisième chapitre a été consacré à l'étude de la quatrième génération ou nous avons évoqué les différentes motivations qui ont poussé les chercheurs à développer de nouvelles techniques suite à la demande intense des utilisateurs

concernant plus particulièrement le problème de débit. Pour cela, nous avons montré les divers changements qui ont été opérés par rapport aux générations précédentes.

Enfin, le quatrième chapitre concerne l'étude réelle effectuée et plus particulièrement les équipements utilisés par la BTS en question et qui ont contribué à la transition entre les trois générations étudiées.

Pour ce qui est des perspectives, ATM Mobilis souhaiterait changer de support de transmission en introduisant la fibre optique pour faire augmenter encore plus le débit et limiter ainsi les perturbations constantes qui interviennent lors de la transmission par faisceaux hertziens.

Une deuxième perspective serait de réduire le coût énergétique en utilisant d'autres sources d'énergie telles que les énergies renouvelables et pourquoi pas utiliser un groupe électrogène comme première alimentation de secours et améliorer son autonomie vu que c'est un site important à proximité de l'université.

La cinquième génération de réseau mobile (5G) est d'ores et déjà en service depuis le 3 avril 2019 en Corée du Sud qui devient le premier pays à déployer une offre commerciale 5G et avec un peu plus de 600 déploiements 5G disponibles commercialement dans les villes du monde entier en juin 2019. L'utilisation de la 5G devrait offrir des débits nettement supérieurs à la 4G, pouvant atteindre jusqu'à 20 Gbits/s. De quoi permettre de nouveaux usages : généralisation de la UHD (Ultra Haute Définition), voitures autonomes, télémédecine...

En Algérie, ATM Mobilis a testé avec succès le super haut débit le 13 novembre 2018 à Oran. La société télécom a en effet, pu atteindre un débit de transmission de données d'un gigabit par seconde (1,18 g/s). La performance qui traduit une expérimentation réussie de la 5G par ATM Mobilis, a été réalisée avec l'appui technique de son partenaire technologique Huawei.

Pour conclure, nous estimons avoir satisfait les objectifs initialement fixés, et avoir acquis le savoir nécessaire pour une éventuelle carrière professionnelle dans ce domaine.

Bibliographie

- [1] Lemamou, E. (2014). *Planification globale des réseaux mobiles de la quatrième génération (4G)* (Thèse de doctorat inédite). Université de Montréal, Canada.
- [2] Ericsson. (2018). *Ericsson Mobility Report*. Stockholm: Fredrik Jejdling.
- [3] Autorité de Régulation de la poste et des Communications Électroniques. (2017). *Observatoire du marché de la téléphonie mobile en Algérie*. Alger.
- [4] Bouguen, Y., Hardouin, E., Wolff, F., Pujolle, G., et Maloberti, A. (2012). *LTE et les réseaux 4G*. Paris: Eyrolles.
- [5] Selon B. Tremblais (communication personnelle [Support de cours], 2011). Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM.
- [6] 3GPP 3GPP Specification Release Numbers. (2019). Repéré à <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3gpp/standards-releases.php>
- [7] Mohammad Meraj ud in, M., et al. (2015). Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G. *International Journal Of Computer Science And Information Technologies*, 6(3), 2545-2551.
- [8] Selon B. Fassi (communication personnelle [Support de cours], 2018). Réseaux d'opérateurs.
- [9] Dahlman, E., Parkvall, S., Sköld, J., et Beming, P. (2007). *3G Evolution*. San Diego, CA: Academic Press.
- [10] Dahlman, E., Parkvall, S., et Skold, J. (2016). *4G, LTE Evolution and the Road to 5G, Third Edition*. Amsterdam: Elsevier Science and Technology Books, Inc.
- [11] Girodon, S. (2002). *Réseaux GSM, GPRS, UMTS*. Université d'Aix-Marseille.
- [12] Demoulin, C., et Van Droogenbroeck, M. (2004). Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. *Revue De L'AIM*, (4), 3-18.

- [13] Boulakakez, A., et Oggad, Z. (2016). *Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile* (Mémoire de master inédit). Université M'hamed BOUGARA de Boumerdes, Algérie.
- [14] Bekhchi, N., et Saidi, M. (2017). *Développement d'une application Android pour la géolocalisation en exploitant les données du réseau GSM* (Mémoire de master inédit). Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie.
- [15] Adouane, N., et Maafa, Y. (2015). *Dimensionnement d'Interfaces dans les Réseaux GSM et UMTS* (Mémoire de master inédit). Université Abderrahmane MIRA de Béjaïa, Algérie.
- [16] Décret exécutif n° 02-186. (2002). Journal Officiel De La République Algérienne, (38). Repéré à <https://www.mpttn.gov.dz/sites/default/files/Decr%20ex%C3%A9%202002-186%20telecom.pdf>
- [17] UMTS Forum. (2010). *Recognising the promise of mobile broadband*. UMTS Manual.
- [18] Khobzaoui, A., et Chaibi, B. (2016). *Planification d'un réseau 4G en zone urbaine* (Mémoire de master inédit). Université Abderrahmane MIRA de Béjaïa, Algérie.
- [19] Halfaoui, N., et Karaouzene, R. (2016). *Etude Comparative entre les réseaux cellulaires 3G et 4G Perspectives vers la 5G* (Mémoire de master inédit). Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie.
- [20] Chihi, L. (2015). *Migration d'un réseau mobile 3G vers le 4G* (Mémoire de master inédit). Université Virtuelle de Tunis, Tunisie.
- [21] Décret exécutif n° 13-405. (2013). Journal Officiel De La République Algérienne, (60). Repéré à https://www.arpce.dz/fr/doc/reg/de/2013/De_3G_ATM.pdf
- [22] Hendaoui, M. (2014). *Réception dans un système d'accès multiples à répartition par codes. Application aux modes FDD et TDD de l'UMTS* (Thèse de doctorat inédite). Université Mohamed KHIDER de Biskra, Algérie.

- [23] Seghiri, N., et Sidhoum, L. (2018). *Etude, analyse et optimisation de la capacité et la qualité de service de réseau 4G-LTE* (Mémoire de master inédit). Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie.
- [24] Fellahi, G. (2015). *Planification et optimisation d'un réseau de la 4G (LTE) pour la Wilaya de Tlemcen* (Mémoire de master inédit). Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie.
- [25] Décret exécutif n° 16-237. (2016). *Journal Officiel De La République Algérienne*, (52). Repéré à <https://www.arpce.dz/fr/doc/reg/de/2016/DE16-237.pdf>
- [26] Ayad, H., et Mekidiche, R. (2018). *Optimisation de la couverture radio 4G (LTE-A) des opérateurs de télécommunications* (Mémoire de master inédit). Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie.
- [27] Martin, S. (2017). *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G an introduction to mobile networks and mobile broadband* (3rd ed.). Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- [28] Mehassouel, M. (2014). *Application de la technologie MIMO à la 4G du mobile* (Mémoire de magistère inédit). Université Ferhat ABBAS de Sétif, Algérie.
- [29] A propos d'ATM Mobilis. (2019). Repéré à <http://www.mobilis.dz/apropos.php>
- [30] Produits Mega Hissotto. (2019). Repéré à http://www.megahissotto.com/crbst_14.html

Résumé

Ce projet de fin d'études vise à faire une étude sur la transition des réseaux mobiles de la deuxième génération à la quatrième génération passant par la troisième génération au niveau du site BTS université (18601) d'ATM Mobilis.

Cette étude s'est portée principalement sur les équipements et leurs fonctionnalités utilisés par le site étudié.

Ce projet regroupe les modules suivants : description des architectures et des techniques d'accès de chaque génération étudiée.

Une étude réelle a été effectuée au sein du site BTS université sur les équipements utilisés.

Abstract

This project aims to study the transition of mobile networks from the second to the fourth generation at ATM Mobilis's university BTS (18601) site.

This study focused mainly on the equipment and their functionalities used by the studied site.

This project brings together the following units : description of the architectures and access techniques of each generation studied.

A real study was carried out within the university BTS site on the equipment used.