

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE Technologie
DEPARTEMENT Electronique
N° :



FILIÈRE : Télécommunication
SPECIALITE : Ingénierie des télécommunications

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Professionnel

Par:

Asma Bounab & Cheyma Hadjab

THÈME

Étude et dimensionnement d'un
réseau de communication mobile

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. SAHED Mohamed	Université M ^{ed} Boudiaf –M'sila	Président
Dr. CHALABI Izzeddine	Université M ^{ed} Boudiaf –M'sila	Rapporteur
Mr. FAKHET Fouad	BSC Mobilis M'SILA	Co-Rapporteur
Dr. KENANE ELHadi	Université M ^{ed} Boudiaf –M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Ce travail ne serait pas aussi riche et réussis sans l'aide de **Dr. Chalabi Izzedine** qui a fait l'honneur d'accepter d'être notre encadreur 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.

Nos profonds remerciements s'adressent également à l'aide de Monsieur l'ingénieur et le chef de centre d'ATM Mobilis M'sila **Fakhet Fouad**, nous le remercier pour ses efforts, ses explications, sa disponibilité, ses conseils, son bon sens d'orientation et son soutien constant qui ont contribués à mener à bien ce projet.

Aussi, nous tenons également à remercier **Dr. Sahed Mohamed**, Maitre de conférences à l'université de M'sila qui ces fait l'honneur d'être le président du jury de mémoire. Nous adressons aussi mes vifs remerciements à **Dr. Kenan Elhadi**, Maître de conférences A, qui ces fait l'honneur d'être les examinateurs de ce travail.

Nous exprimons aussi notre reconnaissance à nos enseignant de l'université de M'sila qui ont si bien mené leur noble métier.

Dédicaces

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

À mon très cher père

A. Wahab, 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 conseils ont été pour moi le grand
soutien que tu as toujours su m'apporter tu es le meilleur des pères.

À ma très chère mère

Souhila, 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.

À mes chère sœur **Anfel** et **Aya**, À mon cher frère **Mohammed**.

À tous les membres de ma famille **Bounab & Bezaïou**.

À ma belle amie **Lamis**, À mon cher binôme **Chyema**.

À mon professeur **Dr. Brik Youcef** pour ces conseils et encouragements.

À tous mes **followers** que j'aime et qui m'aiment, sans mentionner les noms un grand **merci**
pour ton soutien, encouragement, prié pour moi, donne la force et profonde amitié.

Asma

Dédicaces

J'ai l'immense honneur de dédier ce mémoire

*A ma maman **Henia** qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'étude.*

*A mon père **Mohamed** pour tous sacrifice, leur amour, leur tendresse, leur soutien*

*A ma chère grand-mère **Hadjab Elfalli** qui je souhaite une bonne santé*

*A mes chères sœurs **Hanane, Karima, Asma, Siham** et mon jumeau **Boutheyna** pour leurs*

encouragements permanents, et leur soutien moral.

*A mes chers frères **Hamza, Ibrahim, Abdallah** et **Ahmed** pour leur appui et leur encouragement.*

*A aux descendants de ma famille, **Ghoussoune, Dhiyaa, Tinhinane**, et mes petits anges **Shefaa,***

Khoubaibe, Thouaiba.

*A toute la famille **Hadjab.***

*A ma belle amie **Kh.Cheyma**, mon binôme **Asma** pour la vraie amitié, et **Dr. Hadjab Mofdi***

*Aux maris de mes sœurs, **CH. Youcef, D. Fayçal** et **S. Youcef** pour leurs aides et supports dans*

les moments difficiles, Les opportunités ne viennent pas d'elles-mêmes, nous les créons de nos

propres mains.

Merci d'être toujours pour moi.

Cheyma

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons considéré l'étude et le dimensionnement de réseau mobile 4G. Les définitions et les concepts de base des différentes générations de réseau mobile sont rappelés. Ensuite, une étude détaillée sur la quatrième génération a été exposée, en donnant leur architecture, les techniques impliqués, ...etc. Après, on a expliqué les techniques de dimensionnement des réseaux 4G utilisées dans la partie pratique au niveau de l'entreprise ATM Mobilis M'sila. Notre intervention réelle a été effectuée sur la BTS3900A, où nous avons réalisé des extensions de cellule 4G dans la bande 2100 MHz réservée au réseau 3G. Cette opération a été effectuée à travers le logiciel iMaster MAE. Après, nous avons testé notre dimensionnement sur le réseau en temps réel et l'opération a été établie avec succès.

Mots clés : 4G, Réseau mobile, Dimensionnement, Extensions, iMaster MAE

Abstrat

In this brief, we considered study and dimensioning of 4G mobile network. The definitions and basic concepts of the different generations of mobile networks are recalled. Then, a detailed study on the fourth generation was presented, giving their architecture, the techniques involved, etc. etc. Afterwards, we explained the 4G network dimensioning techniques used in the practical part at the level of the company ATM Mobilis M'sila. Our actual intervention was carried out on the BTS3900A, where we carried out 4G cell extensions in the 2100 MHz band reserved for the 3G network. This was done through the iMaster MAE software. After that, we tested our dimensions on the network in real time and the operation was successfully established.

Keywords: 4G, Cellular network, Dimensioning, Extensions, iMaster MAE

المخلص

في هذه الأطروحة، قمنا بدراسة وتحجيم شبكة الهاتف المحمول 4G . يتم استدعاء التعاريف والمفاهيم الأساسية للأجيال المختلفة من شبكة الهاتف المحمول. ثم تم الكشف عن دراسة مفصلة عن الجيل الرابع ، مع إعطاء هندستهم المعمارية ، والتقنيات المعنية ... الخ. بعد ذلك شرحنا تقنيات التحجيم لشبكات 4G المستخدمة في الجزء العملي على مستوى شركة ATM Mobilis M'sila. تم تنفيذ تدخلنا الفعلي على BTS3900A ، حيث أجرينا تمديدات 4G في نطاق 2100MHz المخصص لشبكة 3G . تم تنفيذ هذه العملية من خلال برنامج iMaster MAE . بعد ذلك ، اختبرنا أبعادنا على الشبكة في الوقت الفعلي وتم إنشاء العملية بنجاح .

الكلمات المفتاحية : الجيل الرابع، الشبكة الخلوية، التخطيط، تمديدات، iMaster MAE

Table des matières

Table des matières	ii
Liste des Abréviations	iii
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	vii
Introduction générale	1
 <i>Chapitre I. Concepts de base des réseaux mobiles</i>	
I.1 Introduction	5
I.2 Principe de base d'un réseau mobile	5
I.3 Evolution des systèmes radio cellulaires	7
I.3.1. La première génération	7
I.3.2. La deuxième génération	8
I.4.3. La troisième génération	12
I.4.4. La quatrième génération	17
I.4.5. La cinquième génération	18
I.4 Conclusion	18
 <i>Chapitre II. Le Réseau 4G</i>	
II.1 Introduction	21
II.2 Historique	21
II.3 Architecture générale de réseaux 4G	22
II.4 La technologie utilisée en LTE	25
II.5 Les Canaux radio	29
II.6 Les couches de réseaux 4G	32
II.7 Caractéristique de réseaux 4G	34
II.8 Le HandOver	35
II.9 Conclusion	37
 <i>Chapitre III. Dimensionnement d'un réseaux 4G</i>	
III.1 Introduction	39
III.2 Processus de dimensionnement	39
III.3 Dimensionnement de l'interface S1 et X2	41
III.4 Refarming du spectre	42
III.5 Etude pratique d'un site BTS3900A d'ATM Mobilis	42
III.6 Extension de cellule 4G dans la bande 2100 réserve pour 3G	45
III.7 Conclusion	52
Conclusion générale	53
Reference bibliographies	55

Liste des abréviations

1G	1ère Génération de réseaux mobiles
2G	2ème Génération de réseaux mobiles
3G	3ème Génération de réseaux mobiles
3G+	Third generation +
3GPP	Third generation partnership project
4G	4ème Génération de réseaux mobiles
5G	5ème Génération de réseaux mobiles
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ATM Mobilis	Algérie Télécom Mobile Mobilis
AuC	Authentication Center
BBU	Base band unit
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CCCH	Common control channel
CN	Core network
CoMP	Coordinated MultiPoint
CPRI	Common Public Radio Interface
DCCH	Dedicated control channel
DCS	Digital cellular system
DL	Downlink
DL-SCH	Downlink shared channel
DTCH	Dedicated traffic channel
EARFCN	E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EMU	Environment Monitoring Unit
EPC	Evolved Packet Core Network
ETACS	Extended Total Access Communication System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	GPRS gateway support node
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GTP-U	General packet radio service Tunneling Protocol User

HARQ	Hybrid automatic repeat request
HLR	Home Location Register
HO	HandOver
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access +
HSS	Home Subscriber Service
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
KPI	key performance indicator
L1,L2,L3	Layer 1,2,3
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
MAC	media access control address
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
MCCH	Multicast control channel
MCH	Multicast channel
MIMO	Multiple-input-multiple-output
MISO	Multiple-input-single-output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MRFU	Multimode Radio Frequency Unit
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MTCH	Multicast traffic channel
NE	Network Element
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network Switching Subsystem
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC	Operation and Maintenance Center
PBCH	Physical broadcast channel
PCCH	Paging control channel
PCFICH	Physical control format indicator channel
PCH	Paging channel
PCRF	Policy and charging rules function
PCS	Primary Scrambling Code
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
P-GW	PDN-GateWay
PHICH	Physical HARQ Indicator Channel

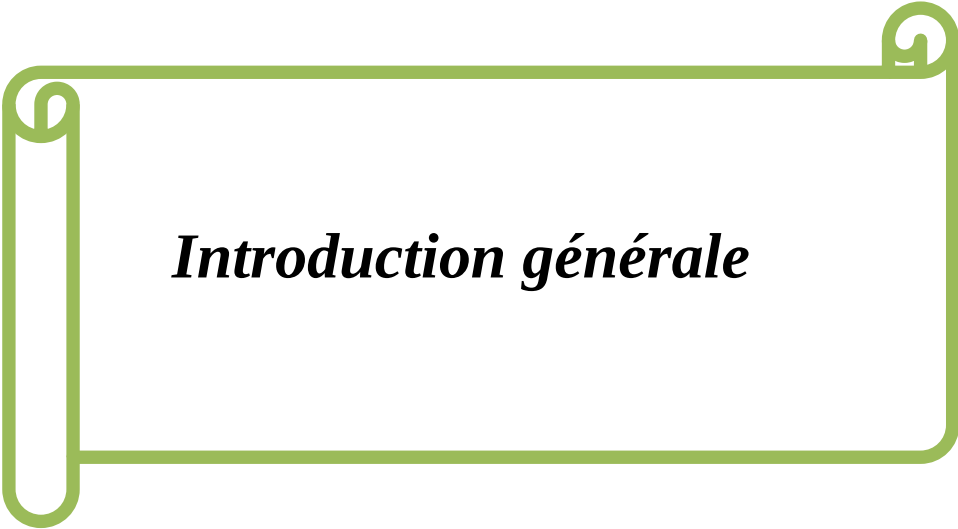
PMCH	Physical multicast channel
PRACH	Physical random access channel
PS	Packet switched
PUCCH	Physical uplink control channel
QAM	Quadrature amplitude modulation
QoS	Quality of service
Q-PSK	Quadrature phase shift keying
RACH	Random access channel
RAN	Radio access network
RAT	RadioAccess Technologies
RBs	Radio Bearer
RF	Radio Frequency
RFU	Radio Frequency Unit
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Ressource Control
RRU	Remote Radio Unit
SAE	System architecture evolution
SAP	Service Access Point
SC-FDMA	Single-carrier frequency division multiple access
SDU	Service data unit
SGSN	Serving GPR S Support Node
S-GW	Serving Gate-Way
SIM	Subscriber Identity Module
SIMO	single input, multiple output
SINR	Signal to interference noise ratio
SISO	single input, single outpu
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to noise ratio
TACS	Total Access Communications System
TX	Transmit
UBBP	universal baseband processing unit
UE	User equipment
UIT	Union internationale des téléoommunications
UL	Uplink
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMPT	Universal Main Processing and Transmission unit
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	Universal Terrestrial Radio access network
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
WCDMA	Wideband code division multiple access
WiMAX	Worldwide interoperability for microwave access

Liste des figures

Figure I.1	Les différents types de cellules	07
Figure I.2	Evolution de réseau cellulaire	07
Figure I.3	Les bandes fréquentielles du GSM	09
Figure I.4	Architecture du réseau GSM	09
Figure I.5	Architecture du réseau UMTS	12
Figure I.6	Types de NodeB	13
Figure I.7	Architecture du réseau cœur de l'UMTS	14
Figure I.8	Le soft et le hard handover	16
Figure I.9	Les spécifications de la technologie 5G	18
Figure II.1	Evolution vers les réseaux 4G	22
Figure II.2	Architecture du 4G/LTE	22
Figure II.3	Architecture du réseau cœur EPC	24
Figure II.4	Architecture de l'E-UTRAN	25
Figure II.5	Les modes FDD et TDD	26
Figure II.6	La structure de la trame LTE	26
Figure II.7	Modulation adaptative	27
Figure II.8	Sous-porteuses de l'OFDM	27
Figure II.9	Description fréquentielle de l'OFDMA	28
Figure II.10	Schéma représentatif des systèmes SISO,MISO,SIMO et MIMO	29
Figure II.11	Mappage entre les canaux logiques, transport et physiques	32
Figure II.12	La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio	33
Figure II.13	Handover intra-LTE	36
Figure III.1	Processus de dimensionnement	39
Figure III.2	Processus de dimensionnement de couverture pour le UL et DL	40
Figure III.3	Caractéristique du site BTS 28669	42
Figure III.4	Architecture matérielle de BTS3900	43
Figure III.5	L'interface du logiciel iMaster MAE	45
Figure III.6	Accès au réseau iMaster MAE	45
Figure III.7	L'accès au site iMaster et Création le Planned area	46
Figure III.8	Choisir le site 28669	47
Figure III.9	Création d'une cellule	47
Figure III.10	Tableaux de configuration pour la création de la nouvelle cellule	47
Figure III.11	La cellule a été créée	48
Figure III.12	Lier la cellule au Hardware	49
Figure III.13	Configuration et l'ajout du secteur d'équipement	49
Figure III.14	Placer le secteur équipement	50
Figure III.15	la configuration des cellules adjacente	50
Figure III.16	Création de la cellule 28669S et la cellule 28669T	51
Figure III.17	Export incremental scripts	51
Figure III.18	La préactivation du projet	52

Liste des tableaux

Tableau I.1	Les interfaces du réseau d'accès UTRAN	14
Tableau I.2	Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA En duplexage FDD	15
Tableau I.3	Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA En duplexage TDD	15
Tableau II. 1	Canaux logiques	29
Tableau II. 2	Canaux de transports	30
Tableau II. 3	Canaux physiques	31
Tableau III.1	Spécifications techniques de la BTS 3900	44



Introduction générale

Au cours des dernières années, le développement technologique a connu une forte impulsion dans le domaine de réseaux de télécommunications mobiles. Ces progrès constants et persistants exigent aux opérateurs pour satisfaire au mieux les besoins et les intérêts des utilisateurs.

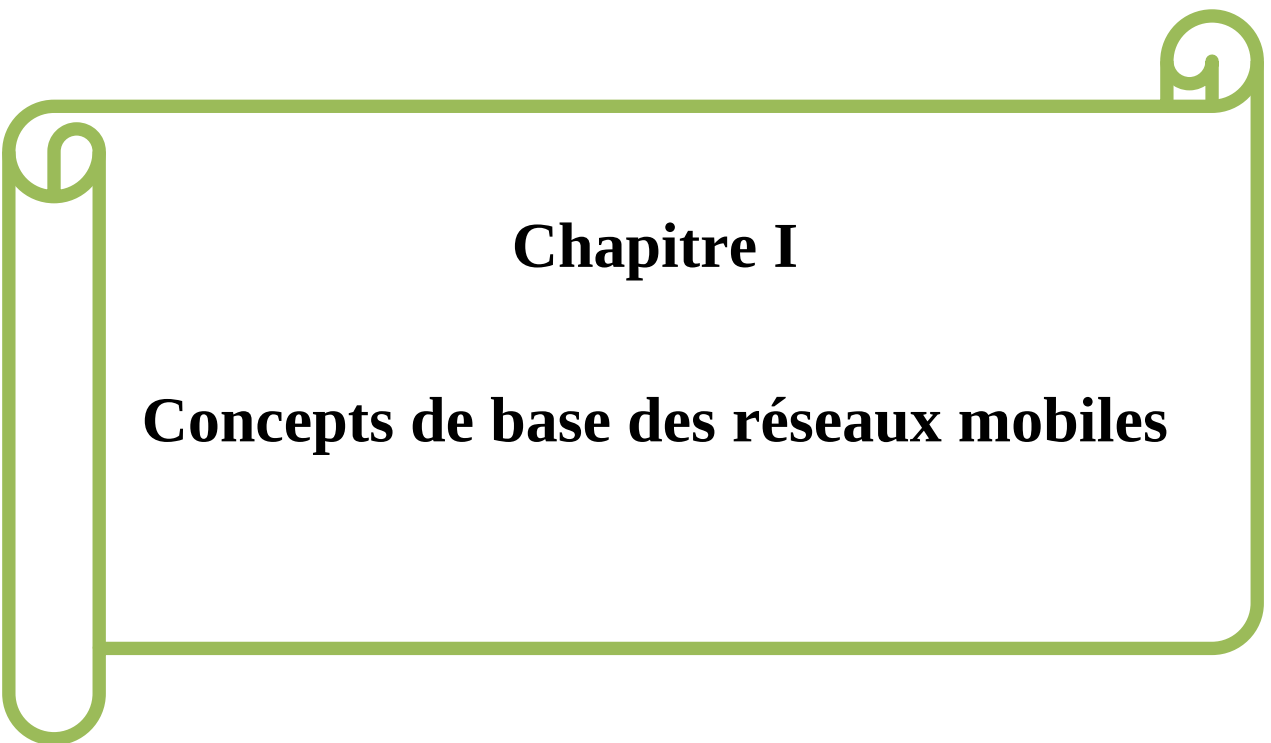
En effet, plusieurs générations successives de réseaux mobiles ont été établies ; la première génération (1G) de réseau mobile a été introduit au Japon en 1979 par Nippon Telegraph and Telephone (NTT). Initialement, il a commencé à Tokyo et au cours des cinq prochaines années élargi pour couvrir l'ensemble du Japon. En 1981, la téléphonie mobile nordique NMT (Nordic Mobile Telephone) a été lancée dans les pays européens. En 1983, Ameritech a lancé 1G mobiles aux Etats-Unis en utilisant les téléphones mobiles Motorola. L'utilisation du système de communication mobile a ensuite été suivie par plusieurs pays. Ces systèmes reposaient sur une modulation analogique de fréquence FM (Frequency Modulation) et un mode d'accès de type FDMA (Frequency Division Multiple Access), l'inconvénient majeur de 1G est lié à la nature analogique des signaux transmis où ces signaux sont infectés par le bruit et les interférences [2][3]. Après, La deuxième génération (2G) a été apparue en 1990 où ces systèmes ont introduit la technologie numérique, également connue sous le nom de système mondial de communication mobile GSM (Global System for Mobile Communication). GSM est devenue la norme de base pour le développement ultérieur des normes sans fil. Cette norme était capable de prendre en charge un débit de données de 9.6 Kbps, ce qui est suffisant pour les services de SMS (Short Message Service) et de messagerie, en exploitant les techniques d'accès FDMA et TDMA (Time Division Multiple Access). Afin de prendre en charge un débit de données plus élevé, le service GPRS (General Packet Radio Service) a été introduit et déployé avec succès, l'objectif principal de cette évolution est d'accéder aux réseaux IP. GPRS fournir un débit théorique de données allant jusqu'à 171.2 Kbps. Ensuite, l'évolution EDGE (Enhanced Data GSM Evolution) également développer pour augmenter le débit de données des réseaux GSM, elle introduit une nouvelle modulation 8-PSK (8-Phase Shift Keying). EDGE était capable de donner un débit de 384 Kbps [1, 2, 5, 6].

La communication mobile de troisième génération (3G) a commencé avec l'introduction de l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), UMTS offre les appels vidéo pour la première fois sur les appareils mobiles [8]. Afin d'améliorer le débit de données dans les réseaux 3G, l'UMTS a passé par deux évolutions majeurs garantissant un haut débit ; le HSPA (High Speed Packet Access) et HSPA+. L'évolution 3G+ de l'UMTS est basé sur le développement de HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Les réseaux supportant le HSDPA sont dotés du type d'accès W-CDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) dans

le but d'améliorer les performances. Le réseau 3G peut fournir un débit de données allant jusqu'à 2Mbps a des bands fréquences définies par le 3GPP (3 Generation Partnership Project). Afin de rester compétitif à long terme, le 3GPP a lancé l'architecteur de réseau UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) qui pourrait considérablement augmenter les capacités des réseaux 3G [11, 12].

LTE (Long Term Evolution) ou encore la quatrième génération (4G) est un système exploite des bandes passantes plus importantes (jusqu'à 20 MHz) pour garantir des débits de données de l'ordre de 100 Mbps en liaison descendante et de 50 Mbps en liaison montante. La technique d'accès multiple utilisée dans LTE est l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui offre une plus grande efficacité spectrale. Encore, la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) [13]. Afin d'offrir aux opérateurs une flexibilité accrue dans le déploiement du réseau, le système LTE prend en charge l'évolutivité de la bande passante. Actuellement, la cinquième génération (5G) est en cours de développement et de déploiement pour augmenter le débit de données.

Notre travail est organisé comme suit; dans le premier chapitre, on va présenter les concepts de base des réseaux mobiles cellulaires ainsi que les différentes générations. Le deuxième chapitre sera focalisé uniquement sur le réseau 4G en détaillant son architecture, ses caractéristiques et les différentes technologies introduite dans cette génération. Ensuite, le troisième chapitre sera consacré au dimensionnement de réseau mobile de l'entreprise ATM Mobilis M'sila. Enfin, ce mémoire sera terminé par les conclusions et les perspectives de ce travail.



Chapitre I

Concepts de base des réseaux mobiles

I.1. Introduction

Aujourd'hui, les systèmes de communications mobiles ont connu plusieurs évolutions importantes. De ce fait, les réseaux cellulaires ont connu également un grand déploiement en offrent une meilleure qualité de service (QoS) aux utilisateurs. Les réseaux mobiles sont passé par plusieurs générations (1G, 2G, 3G, 4G et 5G qui est entrain de mis en œuvre), en fournissent un débit qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large dans le but d'accroître le nombre d'utilisateur pouvant être supportés par le réseau.

Dans ce chapitre nous allons présentes les concepts de base des réseaux mobiles ainsi que leurs différentes évolutions.

I.2. Principe de base d'un réseau mobile

Les réseaux mobiles sont basés sur une architecteur cellulaire, cette technique permet de réutiliser les ressources radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellules. Une cellule est ainsi associée à une ressource radio (une fréquence, un code...etc) qui ne peut être réutilisée que par une cellule située assez loin pour éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule gère un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être pris en charge par le contrôle du réseau en dimensionnant la taille des cellules. Cependant, la taille d'une cellule située dans une zone urbaine est généralement plus petite que celle d'une cellule située dans une zone rurale. Une cellule est contrôlée par un émetteur/récepteur appelé station de base, qui fournit la liaison radio avec des terminaux mobiles sous sa zone de couverture [1]. La couverture d'une station de base est limitée par plusieurs facteurs:

- La puissance d'émission du terminal mobile et de la station de base.
- 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 utilisée.

Une cellule est souvent représentée par un motif géométrique appelée un hexagone, ce motif est la plus proche de la zone de couverture d'une cellule et assure une distribution régulière de l'espace. Les différentes tailles et types de cellules doivent être déployés en fonction de l'environnement considéré et de la technologie utilisée. Un opérateur devra donc prendre en compte les contraintes du relief topographique et les contraintes urbaines pour dimensionner les cellules de son réseau pour cela, on distingue [2]:

a. Les cellules macro

La cellule macro couvre une zone d'un rayon de l'ordre de dizaines de kilomètres, contrôlées par des stations de base macro avec une puissance de l'ordre de 40 W (46 dBm – pour une largeur de bande de 10 MHz). Il existe trois types des cellules macro:

- La cellule macro omnidirectionnelle
- La cellule macro bi-sectorielles
- La cellule macro tri-sectorielles

b. Les cellules micro

Les microcellules sont de petites cellules d'un rayon de quelques centaines de mètres, utilisées dans des zones à forte densité d'utilisateurs telles que les gares. Les stations de base associées sont les stations de base micro avec puissance de l'ordre de 10W (40dBm). Les antennes micro sont placées à l'avant du bâtiment et peuvent être de type omnidirectionnelle ou de type bi-sectorielles.

c. Les cellules pico

Les pico cellules sont des cellules de taille inférieure par rapport aux cellules micros. Elles émettent de manière omnidirectionnelle à une puissance d'émission très faible de l'ordre de 0,25 à 5 W (24 à 37 dBm) et couvrent une zone plus restreinte tels que les aéroports, un étage de bâtiment ou une station de métro.

d. Les cellules femto

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

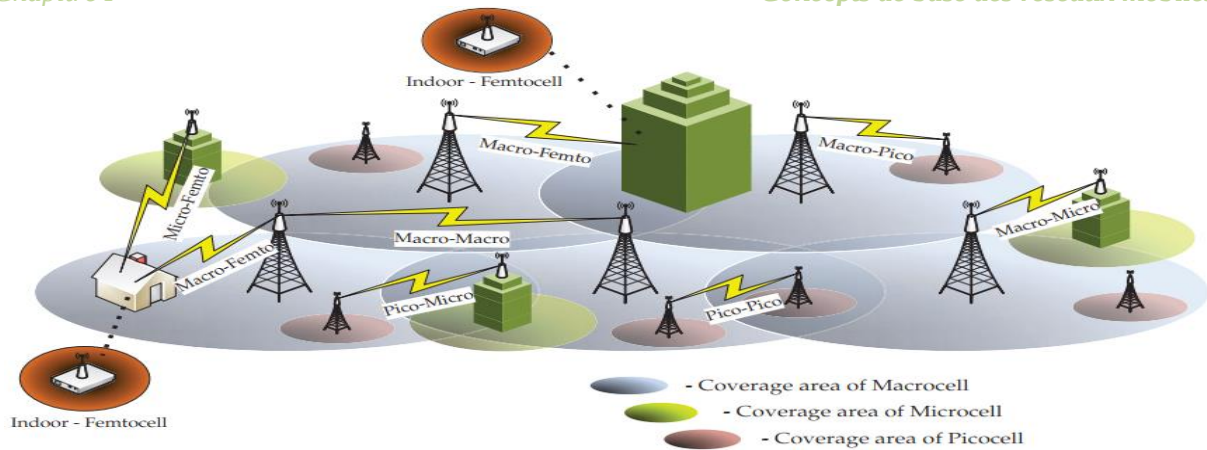


Figure I.1. Les différents types de cellules

I.3. Evolution des réseaux cellulaires

Les systèmes mobiles ont déjà un certain nombre d'évolutions, nous allons présenter les différentes évolutions des systèmes cellulaires.

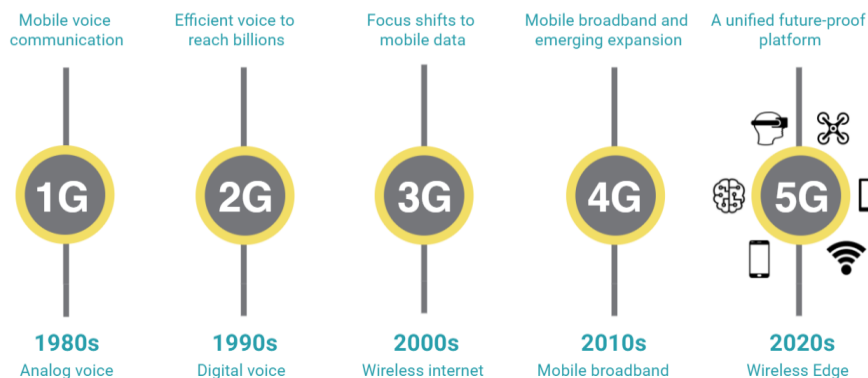


Figure I.2. Evolution de réseau cellulaire

I.3.1. La première génération (1G)

La première génération de réseau cellulaire a été introduite à la fin des années 70 avec plusieurs normes qui ont été mises en œuvre tout au long des années 80. Les signaux radio utilisés par 1G sont analogiques. Les réseaux 1G offrent une bande passante du canal de 30KHz et un débit de 2,4kbps.

Les normes suivantes ont été principalement utilisées par la première génération du système cellulaire [3] :

- NMT 450 (Nordic Mobile Telephone 450MHz) dans les pays scandinaves;
- AMPS (Advanced Mobile Phone System) aux Etats-Unis ;
- TACS (Total Access Communication System) en Angleterre, puis en Asie ;
- ETACS (Extended Total Access Communication System) au Royaume-Uni ;

- Radiocom 2000 en France.

Ces systèmes reposaient sur une modulation analogique de fréquence FM (Frequency Modulation) et un mode d'accès de type FDMA (Frequency Division Multiple Access) où une fréquence est allouée à un utilisateur, ce que limite le nombre d'utilisateurs.

I.3.2. La deuxième génération (2G)

La 2G a connu un changement de technologie, passant de la transmission analogique à la transmission numérique. Ces principales normes sont: GSM, GPRS et EDGE.

I.3.2.1. Le Réseau GSM (Global System for Mobile Communications)

Dans les années 1990, le GSM a été initialement déployé. Son principe est de passer des appels téléphoniques tout en assurant la sécurité des données aux transferts numériques (avec cryptage). Il a connu un succès et a permis de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des minismessages SMS (Short Message Service, limités à 80 caractères). Ainsi, qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, les opérateurs ont été contraints d'offrir des fréquences supplémentaires afin d'accueillir toutes les communications et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS (Multimedia Message Service). Étant donné que le débit de 9.6Kb/s proposé par le GSM est insuffisant, dans ce sens, de nouvelles techniques de modulation et de codage ont été développées. Elles ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération [2].

I.3.2.1. Bande de fréquences utilisées

La norme GSM ne prévoit que la téléphonie mobile par GSM qui utilise deux bandes de fréquences autour de 900 MHz :

- La bande de fréquences 890-915 [MHz] pour les communications de liaison montante (du mobile à la station de base).
- La bande de fréquences 935-960 [MHz] pour la communication en liaison descendante (de la station de base au mobile).

Comme chaque canal utilisé pour la communication a une bande passante de 200 KHz, cela laisse de la place pour 124 canaux de fréquence à répartir entre différents opérateurs. Avec le nombre croissant d'utilisateurs, il est devenu nécessaire d'allouer une bande de fréquence supplémentaire autour de 1800 MHz. Par conséquent, La technologie GSM 900 MHz a été portée sur des bandes ouvertes de fréquence plus élevée. Il s'agit du système DCS-1800 (Digital Communication System) dont les caractéristiques sont presque identiques au GSM en termes de protocoles et de services. Ensuite, il y a des communications en liaison montante entre 1710 et 1785[MHz] et des communications en liaison descendante entre 1805 et 1880 [MHz] [1].

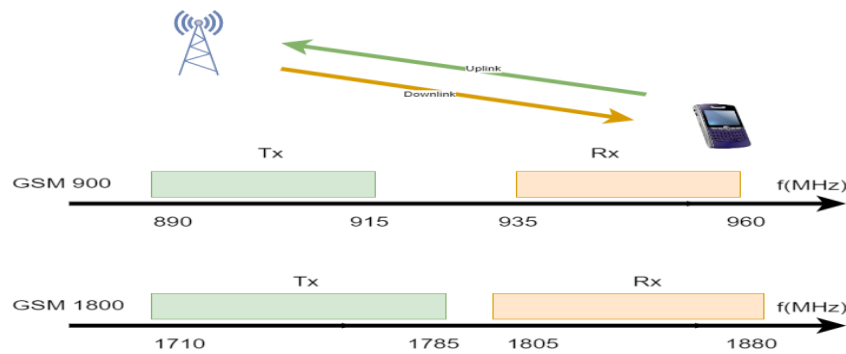


Figure I.3. Les bandes fréquentielles du GSM

I.3.2.2. Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM est divisé en trois sous-systèmes principaux:

- Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.
- Le sous-système réseau ou d'acheminement.
- Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

Les composants du réseau GSM sont illustrés dans la figure I.4.

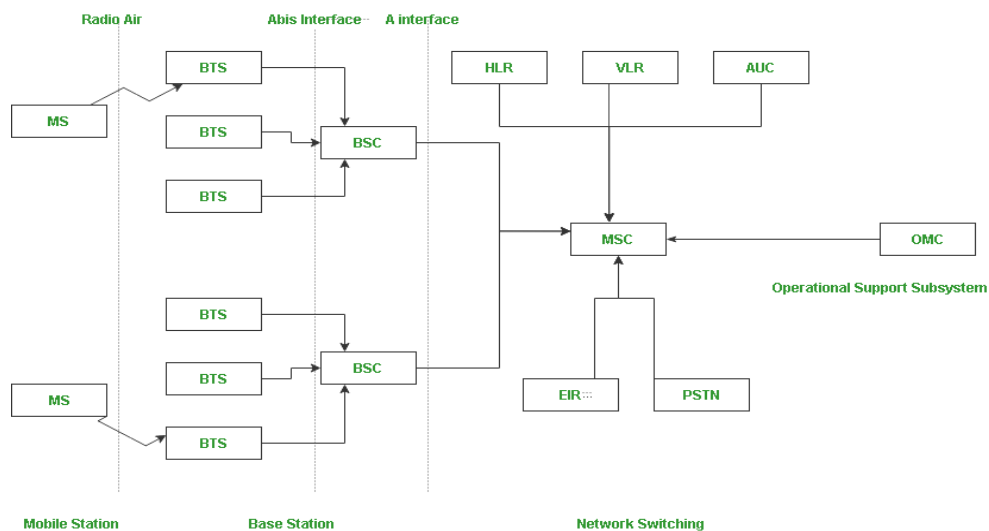


Figure I.4. Architecture du réseau GSM

a. Le sous-système radio

Le sous-système radio gère les transmissions radio. Il se compose de plusieurs entités dont une station mobile (MS, Mobile Station) une station de base (BTS, Base Transcrive Station) et un contrôleur de station de base (BSC, Base Station Controller).

Le mobile : également connue sous le nom de station mobile, est composée d'un téléphone mobile et d'une carte à puce connue sous le nom de module d'interface d'abonné ou module d'identité d'abonné SIM (Subscriber Identity Module). La mobilité individuelle est assurée par la carte SIM, qui permet à un utilisateur de se déplacer librement tout en recevant tous les services contractés, quel que soit le terminal de l'utilisateur final. L'ensemble prend la

personnalité de l'utilisateur final après l'insertion de la carte SIM. Même si l'ensemble est temporaire, l'utilisateur est en mesure de passer et de recevoir des appels, ainsi que d'utiliser les services du contrat. L'International Mobile Equipment Identity IMEI est un identifiant unique pour les appareils mobiles [5].

La station de base BTS: Le BTS gère l'interface radio avec la station mobile. Le BTS est l'équipement radio (émetteurs-récepteurs et antennes) nécessaire à la maintenance de chaque cellule du réseau [6].

Le contrôleur de station de base BSC : Le BSC gère les ressources radio pour un ou plusieurs BTS, à travers l'interface Abis. Il s'agit d'un commutateur haut capacité qui effectue des services tels que le Handover, les données de configuration des cellules et le contrôle du niveau de puissance RF dans les stations émetteurs-récepteurs de base [6].

b. Le sous-système réseau

Le sous-système réseau, appelé Network Switching SubSystem (NSS) est responsable de l'exécution du traitement des appels et des fonctions liées aux abonnés. Le système de commutation comprend les unités fonctionnelles suivantes:

HLR L'enregistreur de localisation nominale (Home Location Register) : Le HLR est une base de données d'abonnement qui stocke et gère les abonnements. Le HLR est la base de données la plus importante car elle contient des informations permanentes sur les utilisateurs, telles que leur profil de service, leur emplacement et leur statut d'activité. Lorsqu'une personne achète un abonnement auprès de l'un des opérateurs PCS (Personal Communication Services), elle est ajoutée au HLR de cet opérateur.

MSC Le centre de commutation mobile: Le MSC est en charge de la commutation téléphonique du système. Il gère les appels entrants et sortants vers et depuis divers systèmes téléphoniques et de données. La billetterie de péage, l'interfaçage du réseau, la signalisation des canaux communs et d'autres services sont également effectués par elle.

VLR L'enregistreur de localisation des visiteurs (Visitor Location Register) : Le VLR est une base de données qui stocke les informations d'abonné temporaire dont le MSC a besoin pour servir les abonnés en visite. Le MSC et le VLR sont toujours liés. Lorsqu'une station mobile se déplace dans une nouvelle zone MSC, le VLR associé à ce MSC demandera au HLR des informations sur la station mobile. Si la station mobile passe un appel plus tard, le VLR disposera des informations dont il a besoin pour configurer l'appel sans avoir à interroger le HLR à chaque fois.

AuC Le center d'authentification (Authentication Center) : L'AuC est une unité d'authentification et de cryptage qui vérifie l'identité de l'utilisateur et assure la confidentialité de chaque appel. L'AuC protège les opérateurs de réseau contre plusieurs types de fraude que l'on peut voir dans le monde cellulaire d'aujourd'hui.

EIR L'enregistreur des identités des équipements (Equipment Identity Register) : L'EIR est une base de données qui stocke des informations sur l'identité de l'équipement mobile afin d'empêcher que des appels ne soient passés par des stations mobiles volées, sans licence ou endommagées. L'AuC et l'EIR peuvent être utilisés comme nœuds séparés ou comme nœud AUC/EIR combiné [7].

c. Le centre d'opération et de maintenance OMC (Operation and Maintenance Center)

Cette partie du réseau regroupe trois grandes activités de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique. Le réseau de maintenance technique concerne le fonctionnement des éléments du réseau. Il gère principalement les alarmes, les pannes, la sécurité, etc. Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données et est complètement dissocié du réseau de communication GSM [1].

I.3.2.2. Le réseau GPRS (General Packet Radio Service) 2.5G

Le GPRS est l'initiative européenne au sein de l'ETSI (European Telecommunications Standard Institut) en 1991 pour la mise en œuvre de services multimédia sur un réseau mobile. La technologie GPRS est communément appelée 2.5G, car elle est vue comme une transition de la transmission de données bas débit en mode circuit du GSM, vers la transmission de données en mode paquet. La norme GPRS permet de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcout, donc les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire [2].

I.3.2.3. Le réseau EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) 2.75G

La norme EDGE est une norme de téléphonie mobile, une évolution du GSM. Cette technologie adopte une nouvelle modulation permettant d'atteindre des débits plus élevés tout en utilisant le spectre radio du GSM existant des opérateurs.

Bien qu'avec des débits limités par rapport aux technologies UMTS (Universal Mobile Télécommunications System) qui le suivent, l'EDGE a la capacité d'offrir presque tous les services 3G. Il constitue donc une solution intéressante pour un opérateur qui désire offrir des services 3G à partir des ressources spectrales déjà existantes du 2G [2].

I.3.3. La troisième génération 3G

UMTS est le terme utilisé en Europe pour les systèmes 3G, a été lancé commercialement en 2001 au Japon et 2003 en Europe pour les communications multimédia. Elle est reposée sur la technique d'accès multiple W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), une technique dite à étalement de spectre, L'UMTS a fourni une amélioration de la qualité d'image, vidéo et ainsi l'augmentation des débits. L'UMTS connaît deux évolutions majeures le HSPA (High Speed Packet Access) et le HSPA+ [8].

I.3.3.1. Architecture globale du réseau UMTS

Le réseau UMTS a une structure de réseau globale similaire au GSM. Elle se compose à trois parties principales ; le réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network) appelé UTRAN est composé à la fois des parties radio et transmission, le réseau cœur CN (Core Network) et l'équipement utilisateur (UE) ou le terminal mobile comme montré dans la figure I.5 [9].

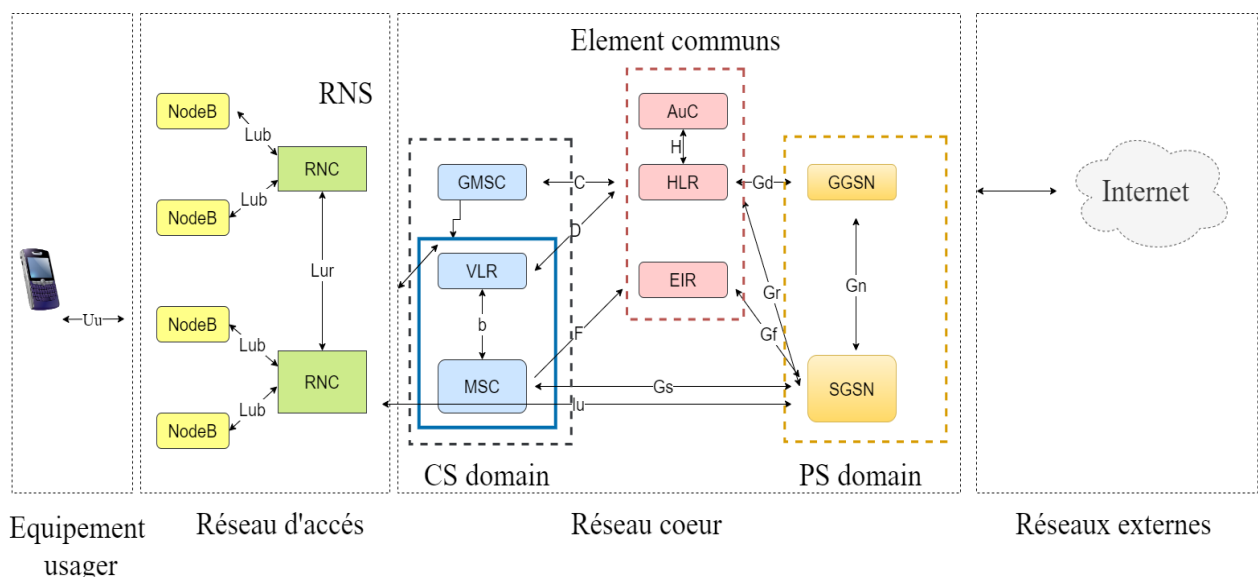


Figure I.5. Architecture du réseau UMTS

a. Equipement utilisateur (UE)

Se compose en deux parties :

- a) Le terminal mobile est utilisé pour les communications radio sur l'interface Uu.
- b) La carte USIM est une carte à puce qui stocke l'identité de l'abonné, les clés d'authentification et de cryptage, ainsi que certaines informations d'abonnement requises sur le terminal. Il exécute également des algorithmes d'authentification [10].

b. Réseau d'accès UTRAN

Le réseau d'accès UTRAN est composé en un ensemble de sous-systèmes de réseau radio RNS (Radio Network Service) connectés au domaine à commutation de circuits CS (circuit Switched) via l'interface Iu. Un RNS se compose d'un contrôleur de réseau radio RNC (Radio Network

Contrôler) et d'un ou plusieurs NodeB. La conception du protocole de l'UE et de l'UTRAN est basée sur la nouvelle technologie WCDMA. Un NodeB est connecté au RNC via l'interface Iub. Les deux éléments de réseau dans UTRAN sont :

Contrôleur de réseau radio RNC : c'est l'interface entre la station de base (BS) et le réseau cœur CN. Les principales fonctions du RNC concernent le contrôle de charge et de congestion des cellules, le contrôle d'admission et l'allocation de code, le routage des données entre les interfaces Iub et Iur ...etc.

NodeB : le NodeB en 3G est également connue le nom de la station de base. Qui contrôle le flux de données entre les interfaces Uu et Iub. Il termine la couche physique, extrait les transporte à travers l'interface Iub vers le RNC. Il participe également à la gestion des ressources radio, comprennent le codage de canal, l'adaptation du débit...etc. Ainsi que le traitement de l'interface hertzienne.



NodeB avec Antenne sectorielle

NodeB avec Antenne omnidirectionnelle

Figure I.6. Types de NodeB

c. Le réseau cœur CN (Core Network)

Le réseau cœur est basé sur le réseau cœur de la technologie GSM. Le CN se compose de deux domaines : un domaine à commutation de circuits (CS, Circuit switched) et un domaine à commutation de paquets (PS, Packet switched). La partie qui gère le trafic en temps réel s'appelle CS et la partie PS gère l'autre trafic [10]. Ces deux domaines sont connectés à d'autres réseaux comme la montre sur la Figure I.7 Les principaux éléments du CN sont :

WMSC (WCDMA Mobile Switching Center) et VLR (Visitor Location Register) : Le commutateur et la base de données sont responsables des activités de contrôle des appels. WMSC est utilisé pour les transactions CS, et la fonction VLR contient des informations sur l'abonné visitant la région, qui incluent l'emplacement du mobile dans la région.

GMSC (Gateway Mobile Switching Center) : Il s'agit de l'interface entre le réseau mobile et les réseaux CS externes. Cela établit les connexions d'appel qui entrent et sortent du réseau. Il trouve également le WMSC/VLR correct pour la connexion du chemin d'appel.

HLR (Home Location Register) : Il s'agit de la base de données qui contient toutes les informations relatives à l'utilisateur mobile et au type de services. Une nouvelle entrée de base de données est créée lorsqu'un nouvel utilisateur est ajouté au système. Il stocke également l'emplacement de l'UE dans le système.

SGSN (Serving GPRS Support Node): Il maintient une interface entre le RAN et le domaine PS du réseau. Cela est principalement responsable des problèmes de gestion de la mobilité tels que l'enregistrement et la mise à jour de l'UE, les activités liées à la radiomessagerie et les problèmes de sécurité pour le réseau PS.

GGSN (Gateway GPRS Support Node): Il s'agit comme une interface entre le réseau 3G et les réseaux PS externes. Ses fonctions sont similaires à celles du GMSC dans le domaine CS du CN, mais pour le domaine PS [9].

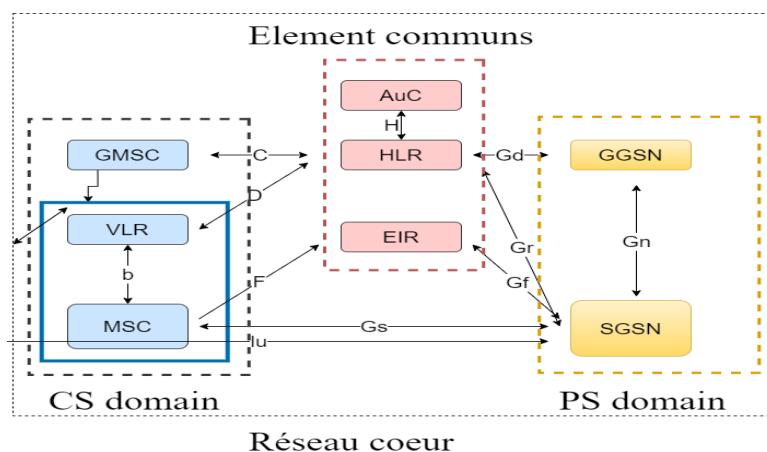


Figure I.7. Architecture du réseau cœur de l'UMTS

I.3.3.2. Les interfaces du réseau UMTS

Les interfaces du réseau d'accès UTRAN sont classifiées dans le tableau I.1 suivant :

Les interface	Localisation	Description	Equivalent on GSM
Uu	UE-UTRAN	Permet de communiquer avec l'interface radio et L'UTRAN	Um
Iu	UTRAN-CN	Iu-CS communiquer le RNC avec MSC/VLR	A
		Iu-PS communiquer	Gb

		le RNC avec SGSN	
Iur	RNC-RNC	Entre les deux RNC	
Iub	NodeB-RNC	Entre NodeB & RNC	ABIS

Tableau I.1. Les interfaces du réseau d'accès UTRAN [10]**I.3.3.3. Bande de fréquence**

Les bandes hertziennes suivantes ont été définies par le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) pour les systèmes 3G avec la méthode de duplexage fréquentiel FDD et TDD.

Bande	Pour la liaison	Pour la liaison	
FDD	Montante (MHz)	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 1.2. Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA

En duplexage FDD

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

(c)	1910-1930	Amérique
(d)	2570-2620	Europe

Tableau 1.3. Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en Duplexage TDD [11]

I.3.3.4. Handover en UMTS

Il existe plusieurs sortes de Handover :

- Softer handover : lorsqu'un UE se trouve dans une zone commune de deux secteurs reliée par la même eNodeB.
- Soft handover : lorsqu'un UE se trouve dans une zone de couverture commune à deux eNodeB. Les communications du mobile sont simultanément par deux canaux différents pour atteindre les deux eNodeB.
- Hard handover inter-fréquences : permet à un UE de passer d'une fréquence à une autre.
- Hard handover inter-systèmes : permet à un UE de passer d'un système à un autre.

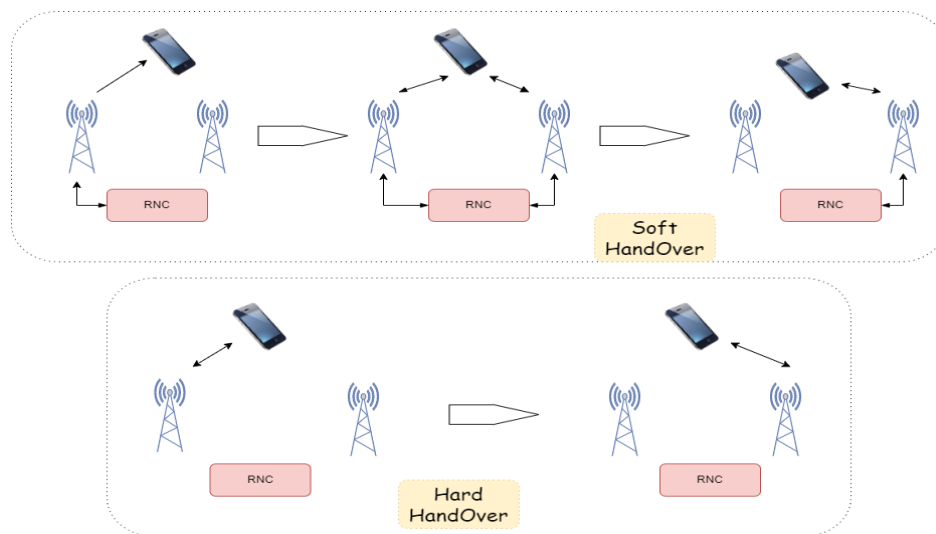


Figure I.8. Le soft et le hard handover

I.3.3.5. 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+, compose de deux types [12] :

- 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 demande de l'utilisateur, et est un facteur clé de la perception des services de données par l'utilisateur.

Introduction du HSPA+ (*High Speed Packet Access* +): 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. On fait à présent référence aux utilisateurs toujours connectés. 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. La définition d'évolutions du HSPA, appelées 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) [2].

I.3.4. La quatrième génération (4G)

Le système sans fil cellulaire 4G a été introduit comme la dernière extension de la voie évolutive des systèmes 3GPP. La 4G est définie pour répondre aux exigences fixées par l'UIT (Union internationale des Télécommunications). Les principaux spécifics de l'architecture du réseau dans les systèmes 4G sont les suivants : tout IP (protocole Internet), coût de réseau réduit, latences de données et charge de signalisation réduites, mobilité d'interfonctionnement entre les autres réseaux d'accès en 3GPP et non 3GPP, toujours activé expérience utilisateur avec une prise en charge flexible de la qualité de service (QoS), les systèmes 4G comprennent différentes technologies d'accès [13]:

- **LTE et LTE-Advanced (*évolution à long terme*)** : Cela fait partie de 3GPP, la technologie LTE actuelle ne répond pas à toutes les fonctionnalités IMT IP (Multimedia Telephony Advanced Internet Protocole). Cependant, LTE-Advanced fait partie d'une version 3GPP ultérieure et a été conçu spécifiquement pour répondre aux exigences de la 4G.
- **WiMAX 802.16m** : L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et le WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access) ont identifié 802.16m comme leur offre pour un système 4G.

I.3.4.2. LTE Advanced

LTE est activé par de nouvelles technologies, et des améliorations aux technologies existantes, comme l'agrégation des opérateurs, MIMO (entrées multiples, sorties multiples), CoMP (Coordonné Multi Point) et HetNets (réseaux hétérogènes). La 3GPP pour LTE Advanced (LTE-A) a été de développer davantage pour répondre aux exigences de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) fixé pour les télécommunications mobiles internationales avancé (IMT-A) [14] :

- Augmentation du nombre d'utilisateurs simultanément actifs.
- Augmentation du débit de données de pointe.
- Efficacité spectrale plus élevée.
- Amélioration des performances aux bords des cellules.

I.3.5. La cinquième génération (5G)

La 5G doit encore être définie officiellement par les organismes de normalisation. Ce sera un système de données à très haute capacité et à très haute vitesse avec de nouvelles exigences de conception adaptées vers des systèmes d'énergie et des dépenses opérationnelles réduites pour les opérateurs. La 5G envisage non seulement une technologie inventée, mais un écosystème technologique des réseaux sans fil fonctionne en synergie pour fournir un support de communication transparent à l'utilisateur final. Ainsi, nous pouvons dire que passer de la 4G à la 5G signifie un changement de paradigme de conception d'un système à discipline unique à un système multidisciplinaire [15]. La figure I.9 représente les spécifications de la technologie 5G.

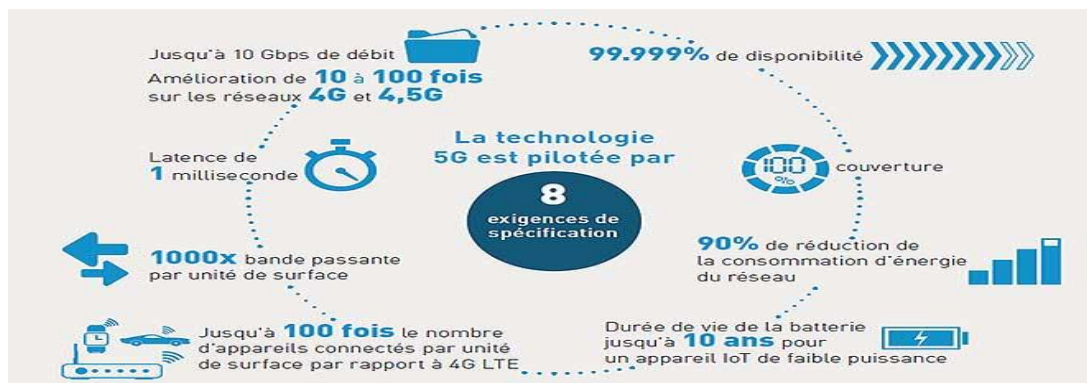


Figure I.9. Les spécifications de la technologie 5G

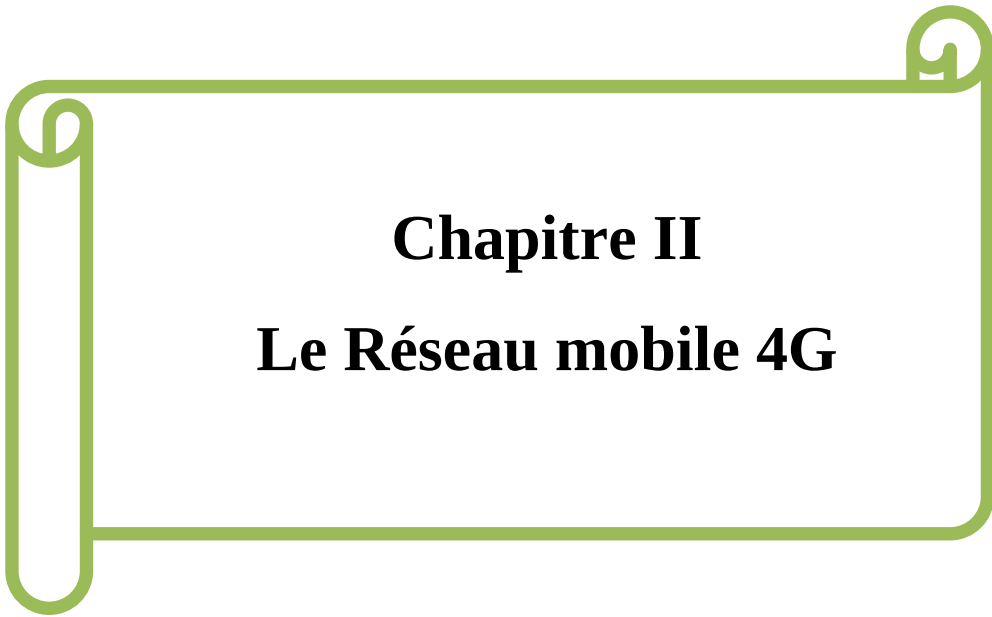
I.4. Conclusion

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

Ainsi, nous avons présenté une vue globale sur l'évolution des réseaux cellulaires qu'ils soient filaires ou hertziens et leurs caractéristiques qui sont utilisées dans notre vie quotidienne,

on a passé de la première génération analogique en suite la deuxième génération GSM et son architecture, le GPRS, l'EDGE puis le réseau UMTS ainsi que ses deux évolutions HSPA et HSPA+, finalement la nouvelle technologie 5G.

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



Chapitre II

Le Réseau mobile 4G

II.1. Introduction

Les opérateurs de la téléphonie mobile se disputent actuellement le déploiement de la technologie 4G, dans le but d'offrir des services compétitifs aux utilisateurs de leurs réseaux. La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité en établissant l'interopérabilité entre les différentes technologies existantes. De plus, d'éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP [16]. Les principaux objectifs du réseau de 4G sont résumés par :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduction de la latence et du trafic de signalisation.
- Offrir un meilleur service.
- Utilisation optimisée des ressources.
- Réduisez le délai de transfert, le délai de bout en bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser les coûts de signalisation.

II.2. Historique

En novembre 2004, lors d'un atelier intitulé (Future Evolution Workshop) organisé par le 3GPP, le LTE a été envisagé comme l'évolution à long terme de l'UMTS.

Ce développement est conçu pour maintenir la compétitivité de l'UMTS pendant 10 ans et au-delà. Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005, une étude de faisabilité a été menée. En septembre 2006, la définition des grands principes de la technologie LTE a été conclue. Le travail de spécification proprement dit s'est ensuite poursuivi jusqu'à décembre 2008, date à laquelle la première version a été approuvée. Par conséquent, LTE est défini dans la version 8 du 3GPP. D'autre part, le saut technologique qu'il représente par rapport au HSDPA, le LTE est considéré comme la quatrième évolution des réseaux d'accès mobile ou 4G [2]. Cette évolution est représentée dans la Figure II.1.

La technologie est conçue pour transmettre des données à très haut débit, il peut atteindre des débits de 50 Mb/s en liaison montante et 100 Mb/s en liaison descendante, partagés entre les utilisateurs au sein d'une même cellule. Pour les opérateurs, le 4G implique des modifications du cœur du réseau et des émetteurs radio. Il est également nécessaire de développer des terminaux mobiles adaptés.

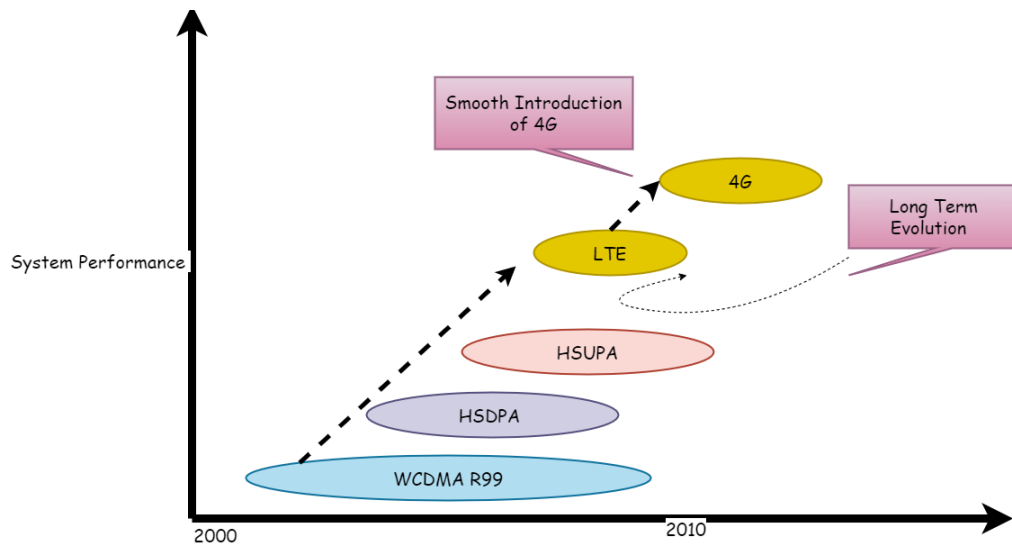


Figure II.1. Evolution vers les réseaux 4G

II.3. Architecture générale de réseau LTE

L'architecture définie pour le LTE est dite architecture plate, c'est-à-dire qu'elle est constituée uniquement de station de base (eNodeB). La suppression du contrôleur de stations de bases s'explique par la volonté de réduire la latence du système et pour rendre l'architecture LTE plus robuste et évolutive face à la montée en trafic, ce qu'explique pourquoi le LTE s'appuie sur un nouveau réseau d'accès qui nécessite de nouvelles bandes de fréquences à exploiter, des nouvelles antennes à déployer sur tout le territoire, et des nouveaux points de concentration à installer [17].

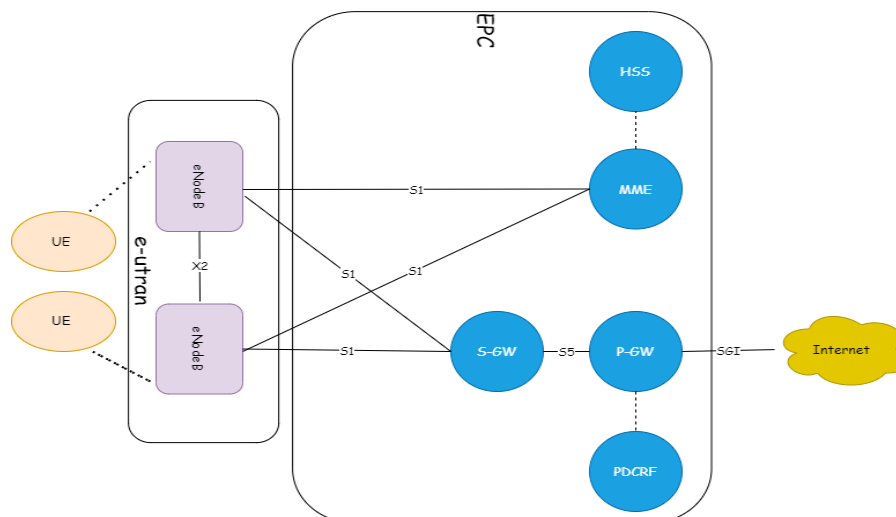


Figure II.2. Architecture du 4G/ LTE

Antennes : Pour profiter de ces nouvelles fréquences, le déploiement de nouvelles antennes est primordial. En 2G, ces antennes sont appelées BTS, en 3G ces antennes sont appelées NodeB, et

en 4G, pour accéder aux réseaux LTE, elles sont appelées e-NodeB. Pour les opérateurs disposant déjà d'une forte couverture dans d'autres technologies (2G et 3G), la mutualisation des sites d'antennes est possible, voire souhaitable, afin de ne pas augmenter inutilement le nombre de sites hébergeant des antennes. Les antennes 2G et 3G peuvent être remplacées par des antennes qui transmettent toutes les fréquences (2G, 3G et 4G) simultanément. Il est donc plus facile de réutiliser un site existant pour remplacer l'antenne sans avoir installer un nouveau site.

Points de concentration : La 2G son point centralisé de réseau d'accès est le BSC, la 3G a aussi son point centralisé est le RNC, avec le LTE, le lien intermédiaire entre l'antenne et le cœur de réseau est disparaît. Les antennes (eNodeB) sont directement connectées au réseau central, sans intermédiaires [18].

II.3.1. Réseau Cœur EPC (Evolved Packed Core)

L'EPC est une évolution essentielle du réseau central GSM/GPRS utilisé pour le GSM et le WCDMA/HSPA. EPC prend uniquement en charge l'accès au domaine à commutation de paquets, sans accès au domaine à commutation de circuits. Il se compose de plusieurs types de nœuds différents, c'est illustré dans la Figure II.3 [17].

- **MME (Mobility Management Entity)**

Sert d'entité de contrôle pour l'EPC et fournit les fonctionnalités principales de signalisation et sécurité, sélection P-GW et S-GW, authentification de l'utilisateur, gestion du support et gestion de la mobilité en état inactif.

- **HSS (Home Subscriber Service)**

Comme une base de données d'informations relatives aux abonnés. Cela inclut le profil utilisateur et les informations d'état, QoS (la qualité de service), les informations de point d'accès, les informations de sécurité et de localisation et l'autorisation d'accès de service. Il stocke également des informations sur les P-GW disponibles auxquelles un utilisateur peut se connecter).

- **PCRF (Policy and Charging Rules Function)**

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

- **S-GW (Serving GetWay)**

Gère le plan de données utilisateur entre les eNodeB et la passerelle du réseau de données par paquets, sert d'ancre de mobilité assurant une connexion de données continue. Cela inclut la gestion de la mobilité pour les transferts entre LTE et d'autres technologies 3GPP. Le S-GW est connecté aux eNodeB via l'interface S1.

- **P-GW (Packet Gateway)**

Fournit une connectivité de données aux réseaux de données par paquets externes tels que les réseaux internet ou IP Multimedia Subsystem (IMS). Les réseaux IMS sont utilisés pour fournir des services multimédias tels que la voix sur protocole Internet (VoIP), la visioconférence et la messagerie. Les fonctions de la P-GW comprennent le filtrage et le routage des paquets, l'attribution d'adresses IP.

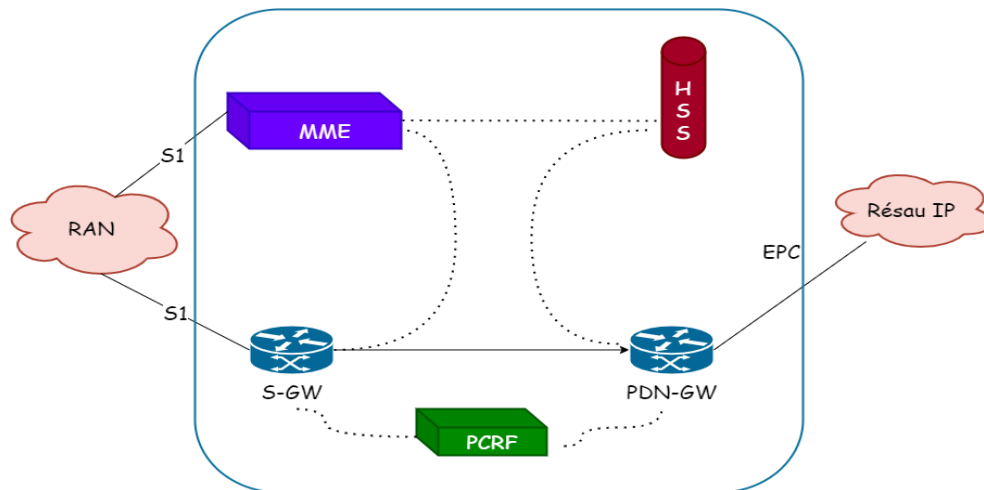


Figure II.3. Architecture du réseau cœur EPC

II.3.2. La partie radio E-UTRAN (Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network)

La partie radio du réseau LTE s'appelle E-UTRAN, consiste simplement en un réseau d'eNodeB, comme illustré dans la figure II.4 pour le trafic utilisateur normal, il n'y a pas de contrôleur centralisé dans E-UTRAN, l'architecture E-UTRAN est donc dite plate. Les eNodeB sont interconnectés entre eux au moyen d'une interface appelée "X2" et à l'EPC au moyen de l'interface S1 plus précisément, au MME au moyen de l'interface S1-MME et au S-GW via l'interface S1-U [18].

eNodeB : Ces antennes connectent l'UE au réseau central LTE via l'interface radio RF. Puisqu'ils fournissent les fonctions d'un contrôleur radio résidant dans l'eNodeB, ils sont plus efficaces par exemple la mobilité est déterminée par l'eNodeB plutôt que par le BSC ou le RNC.

Interface X2 : C'est l'interface entre les eNodeB. Cette interface est principalement utilisée pour prendre en charge la mobilité UE (transfert de paquets) en mode actif. Il peut également être utilisé pour les fonctions de gestion des ressources radio multicellulaires.

Interface S1 : C'est l'interface entre eNodeB et MME et S-GW. Sur le plan utilisateur, cette interface sera basée sur le tunnel de données utilisateur (GTP-U) (similaire aux interfaces Iu et Gn du 3G). Dans le plan de contrôle, l'interface est plus similaire à la partie application du réseau

d'accès radio, avec quelques simplifications et modifications dues à la répartition différente des fonctions et à la mobilité au sein de l'EPS [19].

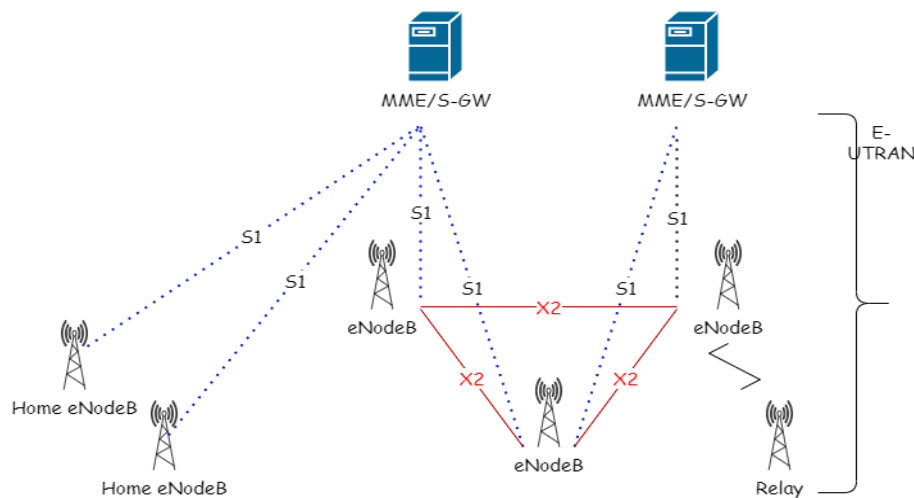


Figure II.4. Architecture de l'E-UTRAN

II.4. Les technologies utilisées en LTE

II.4.1. Le duplexage

Le duplexage garanti la séparation des transmissions sur la liaison descendante et la liaison montante. Il existe deux principaux modes de duplexage :

- Fréquence Duplex ou Frequency Division Duplex (FDD).
- Time Division Duplex ou Time Division Duplex (TDD).

Le mode FDD : Dans FDD, un canal de liaison montante et descendante séparé est utilisé, permettant à un appareil de transmettre et de recevoir des données en même temps. L'espacement entre le canal de liaison montante et le canal de liaison descendante est appelé espacement duplex. Le canal de liaison montante fonctionne sur la fréquence inférieure. Celui est fait parce que les fréquences plus élevées subissent une plus grande atténuation que les fréquences plus basses, cela permet au mobile d'utiliser des niveaux de transmission plus faibles.

Le mode TDD : Le mode TDD permet un fonctionnement en duplex intégral en utilisant une seule bande de fréquence et un multiplexage temporel des signaux de liaison montante et descendante. L'un des avantages du TDD est sa capacité à fournir des allocations de liaison montante et descendante asymétriques. D'autres avantages incluent l'attribution dynamique, l'efficacité spectrale accrue et l'utilisation améliorée des techniques de formation de faisceaux. Cela est dû au fait d'avoir les mêmes caractéristiques de fréquence de liaison montante et de liaison descendante [13].

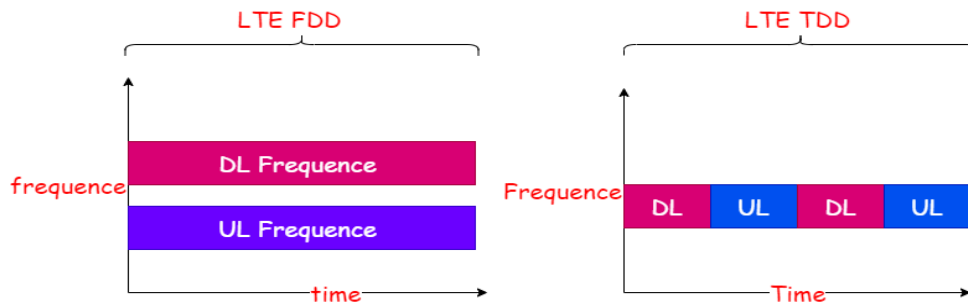


Figure II.5. Les modes FDD et TDD

II.4.2. La structure de la trame LTE FDD

La structure de trame radio de type 1 dans la couche Physique est utilisée pour le FDD, la durée de la trame est 10 ms, elle est composée de 20 slots de 0,5 ms. Deux slot adjacents forme une sous-trame de longueur 1 ms.

Pour le fonctionnement FDD, 10 sous-trames sont disponibles pour la transmission en liaison descendante et montante, chacune est séparée dans le domaine fréquentiel. La figure II.6 illustre respectivement la structure de trame LTE-FDD.

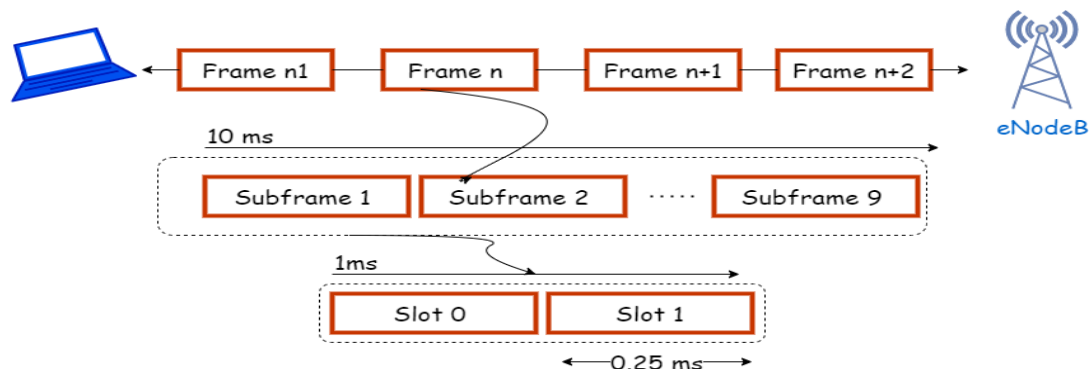


Figure II.6. La structure de la trame LTE

II.4.3. Modulation

Les réseaux 4G utilise la modulation adaptative qui varie en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée en utilisant un des différents types suivants : Q-PSK (Quadrature-Phase Shift Keying), QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 1024-QAM et 2048-QAM.

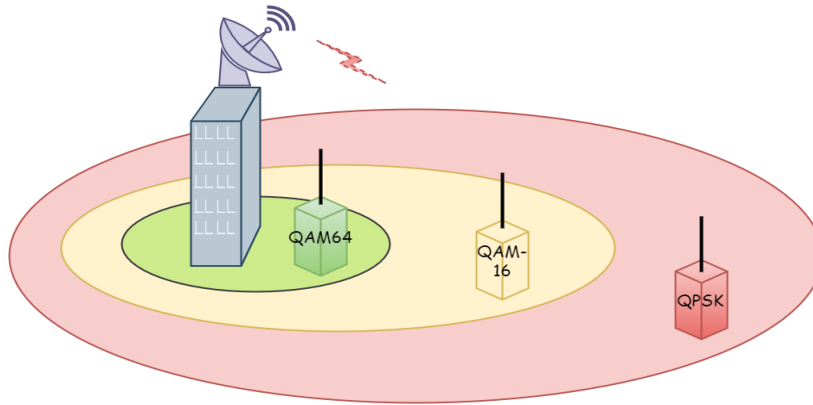


Figure II.7. Modulation adaptative

La modulation essentiellement du 4G est l'utilisation de la technologie OFDM et des technologies d'accès associés OFDMA/SC-FDMA.

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing): Les systèmes OFDM divisent la bande passante en plusieurs sous-porteuses étroites orthogonales, les données sont transmises dans des flux parallèles, les sous-porteuses sont très proches les uns des autres (espacement de 15 KHz entre les sous-porteuses). Des intervalles de garde sont ajoutés pour diminuer les effets de trajets multiples [20].

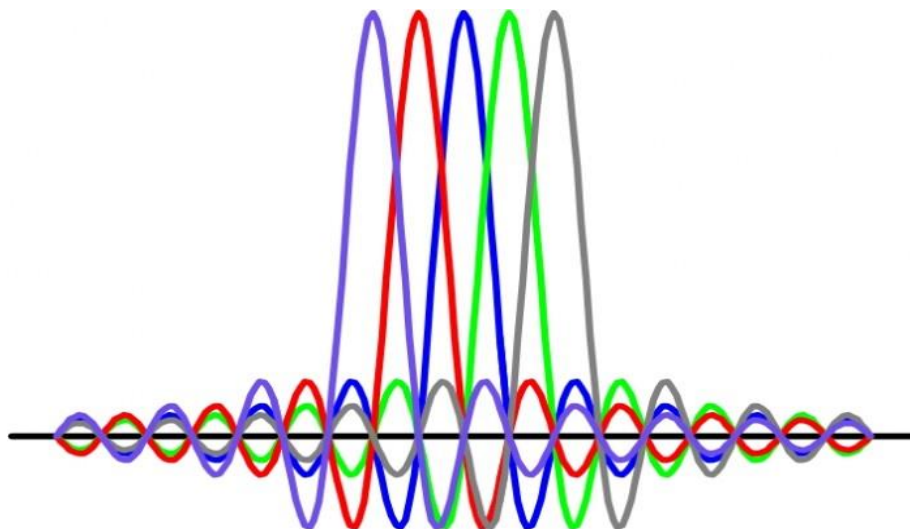


Figure II.8. Sous-porteuses de l'OFDM

La Figure II.8 illustre les sous-porteuses de l'OFDM, où chaque sous-porteuse est attribuée à un utilisateur.

OFDMA : utilise un grand nombre de sous-porteuses de bande étroite. Dans un système FDM conventionnel, l'espacement de fréquence entre les porteuses est choisi avec une bande de garde suffisante pour garantir que les interférences sont minimisées. Dans OFDMA (Figure II.9), les sous-porteurs sont beaucoup plus rapprochés. Cela augmente l'efficacité spectrale. De plus, de

simples impulsions rectangulaires sont utilisées pendant modulation de chaque symbole. Les débits de données élevés sont obtenus en OFDM en transmettant un seul flux de données de manière parallèle sur plusieurs sous-porteuses [13].

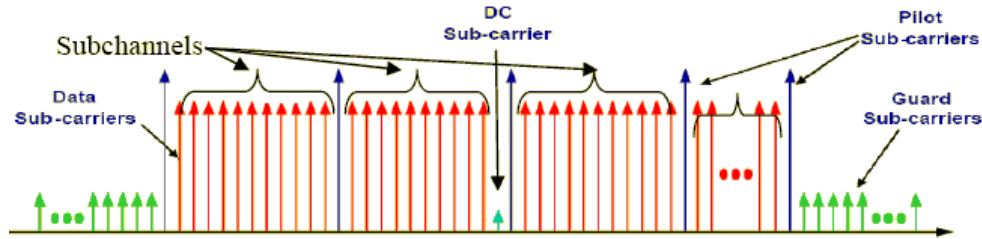


Figure II.9. Description fréquentielle de l'OFDMA

II.4.4. La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) est une technologie de pointe qui permet d'exploiter efficacement le domaine spatial des canaux mobiles de décoloration afin d'améliorer considérablement les performances des systèmes de communication sans fil. Les systèmes MIMO conventionnels, appelés MIMO point à point ou MIMO colloqué, exigent que l'émetteur et le récepteur d'une liaison de communication soient équipés de plusieurs antennes. La coopérative MIMO, aussi connue sous le nom de MIMO virtuel ou distribué, vise à utiliser des antennes distribuées sur plusieurs appareils radio pour obtenir certains avantages semblables à ceux offerts par les systèmes MIMO conventionnels. Les systèmes MIMO exploitent les techniques de diversité suivantes :

- Diversité d'espace : Diversité d'antenne.
- Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- Diversité temporelle : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps de cohérence du canal [2].

Lorsqu'un système comprend une seule antenne pour la transmission et de nombreuses antennes pour la réception, il est nommé SIMO (Single Input Multiple Output). Avec plusieurs antennes à l'émission et une seule antenne à la réception, ce cas est appelée MISO (Multiple Input Single Output). Il est possible d'obtenir ce que l'on appelle formation de faisceaux. Avec cette méthode, le signal de transmission est dirigé dans une direction bénéfique (vers l'UE). Ceci est accompli en ajustant la phase (et parfois l'amplitude) des différents éléments de l'antenne. Cette méthode augmente le SNR (Signal to Noise Ratio) et donc la capacité. Enfin, le système SISO (Single Input Single Output) est caractérisé par une seule antenne pour l'émission et la réception [19] [21]. La Figure II.10 représente les différents types de la technologie MIMO.

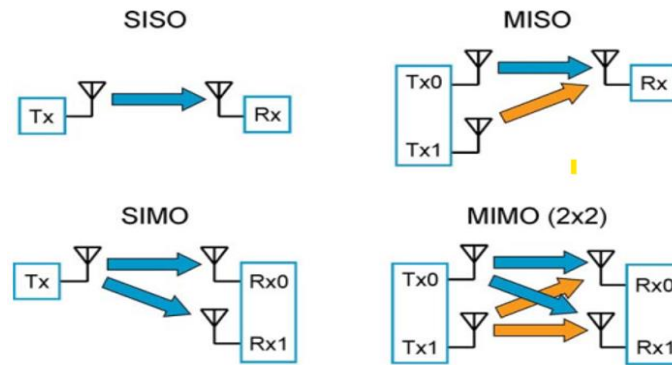


Figure II.10. Schéma représentatif des systèmes SISO, MISO, SIMO et MIMO

II.5. Les canaux radio

Afin d'être flexible et de permettre différents schémas de transmission de données, l'E-UTRAN spécifications introduisent plusieurs types de canaux :

- Les canaux logiques
- Les canaux de transport
- Les canaux physiques

II.5.1. Les canaux logiques

La couche MAC fournit un service de transfert de données pour la couche RLC via des canaux logiques. Les canaux logiques sont soit des canaux logiques de contrôle qui transportent des données de contrôle comme RRC signalisation ou canaux logiques de trafic qui transportent des données du plan d'utilisateur. Ils sont comme suivis :

Canal logique	Type	Description	Voie
BCCH	Contrôle	Diffusion des informations système aux terminaux présents dans la cellule radio	DL
PCCH	Contrôle	sert à informer les UE d'un appel entrant ou d'un changement d'information du système	DL
CCCH	Contrôle	est utilisé pour fournir des informations de contrôle dans les directions de liaison montante et descendante lorsqu'il n'y a pas de lien confirmé entre un UE et le eNodeB c.-à-d. pendant l'établissement de la connexion	DL/UL

MCCH	Contrôle	utilisé pour la transmission des informations de DL contrôle nécessaires à la réception du MTCH.
DCCH	Contrôle	est utilisé pour transmettre des informations de DL/UL contrôle dédiées relatives à une UE spécifique.
DTCH	Traffic	utilisé pour la transmission de données DL/UL utilisateur vers/depuis un terminal.
MTCH	Traffic	Est utilisé pour transmettre des données DL utilisateur pour MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) services en liaison descendante

Tableau II.1. Les canaux logiques [22] [23]**II.5.2. Les canaux de transport**

Les données de la couche MAC sont échangées avec la couche physique via les canaux de transport. Les données sont multiplexées en canaux de transport selon la façon dont elles sont transmises par voie aérienne. Les canaux de transport sont classés comme des liaisons descendantes ou montantes comme suit :

Canal de transport	Description	Voie
BCH	Est utilisé pour transporter les parties de l'information du système qui sont essentielles pour accéder au DL-SCH.	DL
PCH	Ce canal est également utilisé pour informer les UEs des mises à jour des informations du système	DL
DL-SCH	Est utilisé pour transporter des données utilisateur en liaison descendante ou des messages de contrôle. En outre, les autres parties des informations du système qui ne sont pas transportées via le BCH sont transportées sur le DL-SCH.	DL
MCH	est utilisé pour transporter des données	DL

	utilisateur ou des messages de contrôle
UL-SCH	l'équivalent du DL-SCH en liaison UL montante
RACH	est utilisé pour accéder au réseau lorsque l'UE n'a pas de synchronisation précise de la liaison montante, ou lorsque l'UE n'a pas de ressource de transmission montante allouée

Tableau II.2. Les Canaux de transport [22]**II.5.3. Les canaux physiques**

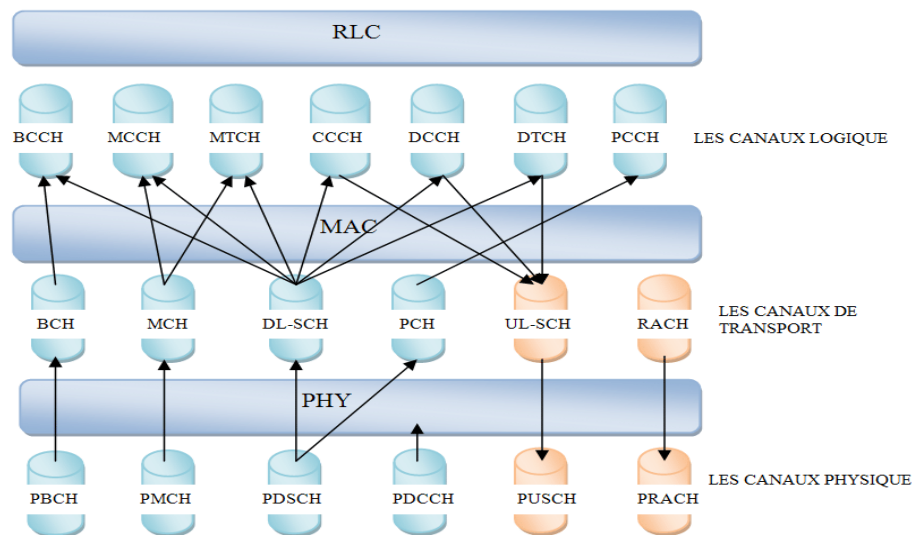
Un canal physique correspond à l'ensemble des ressources temps-fréquence utilisées pour la transmission d'un canal de transport particulier et chaque canal de transport est mappé à un canal physique correspondant. Les différents canaux physiques sont résumés dans le tableau suivant :

Canal physique	Description	Voie
PDSCH	utilisé pour la transmission de données unicast, mais aussi pour la transmission d'informations de pagination	DL
PMCH	Diffuse l'information sur la Multicast/Broadcast	DL
PBCH	transporte une partie des informations du système, requises par l'appareil pour accéder au réseau.	DL
PCFICH	est un canal fournissant aux dispositifs les informations nécessaires pour décoder l'ensemble des PDCCHs	DL
PDCCH	est utilisé pour les informations de contrôle en liaison descendante, principalement les décisions d'ordonnancement, nécessaires à la réception du PDSCH, et pour l'ordonnancement des subventions	DL

	permettant la transmission sur le PUSCH .	
PHICH	Canal physique des réponses HARQ	DL
PUCCH	Canal physique de contrôle	UL
PUSCH	transporte des données utilisateur et couche supérieure signalisation	UL
PRACH	Canal physique pour l'accès aléatoire	UL

Tableaux II.3. Les canaux physiques [24]

La figure II.11 présente le mappage entre les canaux logiques, transport et physiques.

**Figure II.11.** Mappage entre les canaux logiques, transport et physiques

II.6. Les couches du réseau 4G

La figure II.12 détaille le découpage en couches et les interactions logiques entre celles-ci pour les données du plan de contrôle et celles du plan usager. Cette architecture s'applique à l'UE et à l'eNodeB.

Le transfert vertical entre les niveaux d'un même équipement s'effectue par des points d'accès logiques entre les couches, qui sont indiqués par le nom Service Access Points (SAP) dans la figure et représentés par des ellipses. Ils portent des noms spécifiques selon le niveau considéré ; le porteur radio au niveau RLC/PDCP, le canal logique entre RLC et MAC, et le canal de transport entre MAC et PHY [2].

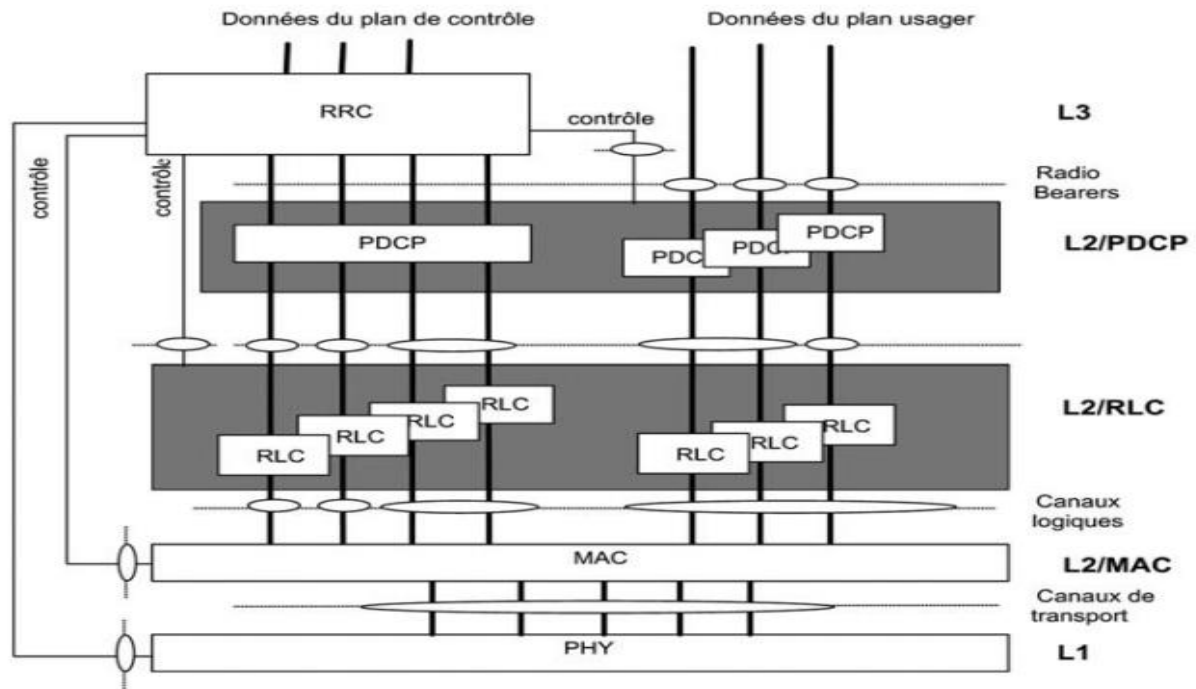


Figure II.12. La modélisation en couches protocolaires de l'interface radio

II.6.1. La couche physique

La couche physique est représentée par la couche 1, souvent appelée couche 1 (L1) ou PHY. Son travail consiste à s'assurer que les données sont transmises d'une manière qui peut se propager dans le canal sans fil et résister aux nombreuses perturbations qui accompagnent le canal radio mobile. D'un point de vue fonctionnel, la couche physique fournit un service de transport à la couche MAC à travers l'interface aérienne. Parmi ces fonctions nous pouvons citer :

- Le codage de canal, qui protège les bits d'information contre les erreurs de transmission, en introduisant de la redondance dans la séquence de bits transmis.
- Les traitements spatiaux (MIMO), qui précèdent les symboles de modulation pour les transmettre sur plusieurs antennes.
- La modulation multi-porteuse permettant d'associer le signal à transmettre sur chaque antenne à des porteuses multiples, selon le principe de l'OFDM pour la voie descendante et du SC-FDMA en voie montante [2].

II.6.2. La couche 2

Cette couche est constituée de trois sous-couches [22] :

- PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
- RLC (Radio Link Control)
- MAC (Medium Access Control)

Ces sous-couches interviennent pour le transfert des données, du plan usager comme du plan de contrôle. Seule la sous-couche PDCP est conçue pour traiter différemment les données de ces deux plans.

II.6.2.1. La sous-couche PDCP : Cette couche traite les messages Radio Resource Control (RRC) dans le plan de contrôle et les paquets Internet Protocol (IP) dans le plan utilisateur. Les principales fonctions de la couche PDCP sont la compression de l'en-tête, la sécurité (protection de l'intégrité et le chiffrement), le soutien pour la réorganisation et la retransmission pendant le transfert.

II.6.2.2. La sous-couche RLC : RLC est responsable de la segmentation/concaténation, de la gestion de la retransmission, de la détection des erreurs et de la livraison en séquence aux couches supérieures. Le RLC fournit des services au PDCP. Il existe une entité RLC par support radio configuré pour un appareil.

II.6.2.3. La sous-couche MAC: La couche MAC gère le multiplexage par canaux logiques, les retransmissions hybrides ARQ et la programmation de liaisons montantes et descendantes. Il est également responsable du multiplexage/démultiplexage des données entre plusieurs fournisseurs de composants lorsque l'agrégation des fournisseurs est utilisée, et de l'évaluation des canaux clairs pour l'accès assisté par licence [24].

II.6.3. La couche RRC

L'interface radio est contrôlée par la couche RRC, qui signifie Radio Resource Control. La couche RRC est connectée aux quatre autres niveaux par des points d'accès de contrôle, RRC est responsable de la configuration et du contrôle des couches de niveau 1 (PHY) et 2 (MAC, RLC et PDCP). Aussi c'est la couche clé dans le processus de gestion de la signalisation entre le UE et l'E-UTRAN, soit l'établissement, la libération et la reconfiguration de connexion [2].

II.7. Les caractéristiques du réseau 4G

L'objectif essentiel du 4G est d'améliorer les services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence.

- La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés

Dans le cas de plusieurs UE actifs, la capacité du réseau limite la valeur du débit. Le LTE permet d'augmenter la capacité des réseaux mobiles : pour la bande passante active de 5 MHz, chaque cellule accepte 200 utilisateurs simultanés à l'état actif, et pour des bandes passantes plus élevées, au moins 400 utilisateurs sont acceptés.

- Débit

Il définit la capacité maximale qui peut être atteinte en transmettant des informations (bits) par unité de temps (s) dans la communication entre l'émetteur et le récepteur. L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter :

Un débit maximum de 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bits/s/Hz.

Un débit maximum de 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bits/s/Hz [2].

- Latence

C'est la capacité de répondre rapidement aux demandes des utilisateurs ou des services, On a deux plans :

La latence du plan de contrôle : Cette valeur indique combien de temps il faut pour se connecter et utiliser le service. Elle correspond au temps de transition de l'UE de l'état de veille à l'état actif, qui est inférieur à 100 ms.

La latence du plan usager : Il est déterminé par le temps de transmission des paquets de données entre la couche IP de l'UE et la couche IP du nœud réseau d'accès, et vice versa. Lorsqu'un seul terminal est actif, le temps d'attente est inférieur à 5 millisecondes, alors qu'il est d'environ 20 millisecondes sous les niveaux de charge de l'interface radio ordinaire [25].

- L'agilité en fréquence

LTE propose six options de bande passante, à savoir 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz. L'objectif est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent fournir.

- La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées jusqu'à 350 km/h.

- Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G

Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms pour les services non temps-réel [25].

II.8. Le Handover dans le LTE

Le Handover, également connu sous le nom de transfert intercellulaire, est un mécanisme clé dans les communications mobiles cellulaires qui peut être complété par un service d'itinérance, qui se produit lorsqu'une UE déplace d'une cellule à une autre cellule pour une conversation soit en cours ou non [19].

II.8.1. Types de Handover

Le Handover est détecté par l'eNodeB, selon les rapports de mesure reçus de l'UE. Le Handover est classé en différents types en fonction de l'origine et de la destination du Handover. Le Handover peut commencer et se terminer dans l'E-UTRAN, il peut commencer dans l'E-UTRAN et se terminer dans une autre technologie d'accès radio RAT (Radio Access Technology), ou il peut commencer à partir d'une autre RAT et se terminer dans E-UTRAN. Le Handover est classé comme suit [18]:

- Intra-frequency intra-LTE handover
- Inter-frequency intra-LTE handover
- Inter-RAT towards LTE handover
- Inter-RAT towards UTRAN handover
- Inter-RAT towards GERAN handover

Dans le Handover intra-LTE, la gestion de la mobilité est décentralisée et les eNodeB prennent des décisions de Handover d'une manière indépendante, sans impliquer MME et S-GW. Les informations requises pour le Handover sont connectées entre eNodeB à l'aide de l'interface X2. Une fois la nouvelle connexion est établie entre l'UE et la nouvelle eNodeB, le MME et le S-GW reçoit une notification du Handover. Les GateWay déterminent le chemin du commutateur après la réception de la notification [19]. Les principales étapes du Handover intra-LTE sont présentées dans la figure II.13

- (I) Handover Request
- (II) Handover Request Ack
- (III) Handover Command
- (IV) Start Packet Forwarding
- (V) Handover Confirm
- (VI) Path Switch
- (VII) Path Switch Ack
- (VIII) Release Resource

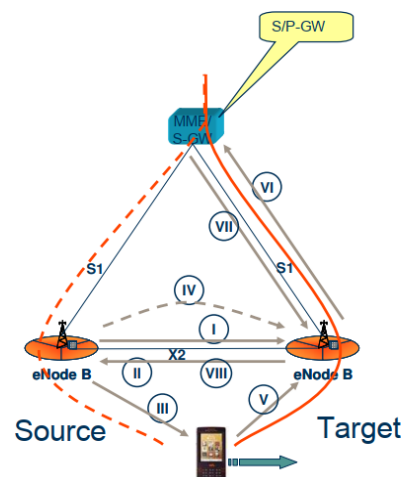
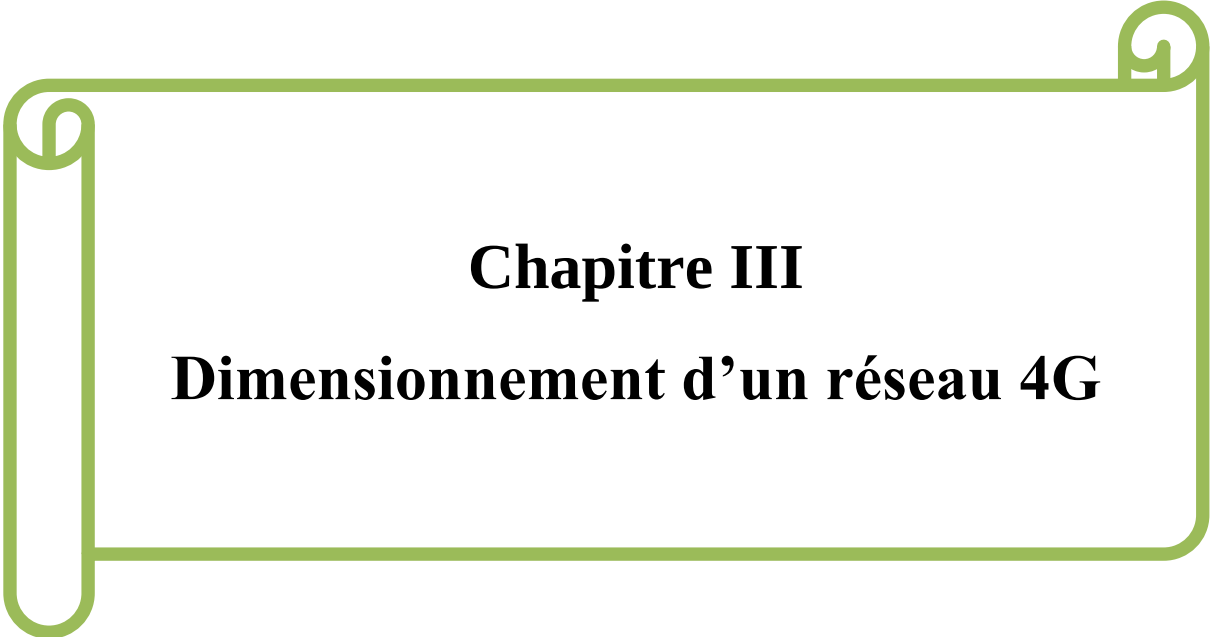


Figure II.13. Handover intra-LTE

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, une étude détaillée du réseau mobile 4G a été présentée, en commençant par un historique résumé l'évolution technologique du 4G ainsi que leur architecture générale. Après, les performances de la 4G sont atteintes par l'introduction de plusieurs technologies, parmi ces technologies nous avons présenté l'OFDM et MIMO. L'objectif essentiel de l'utilisation de ces différentes technologies est d'améliorer les services de données par l'augmentation de la capacité et le débit ainsi que la réduction de la latence. Ensuite, une description sur les canaux radio, les couches et les caractéristiques du réseau 4G a été exposé. A la fin, nous avons donné un aperçu sur le principe du Handover.



Chapitre III

Dimensionnement d'un réseau 4G

III.1. Introduction

Le dimensionnement du réseau mobile est un processus composé de plusieurs étapes, chaque étape à un niveau de complexité différent. Pour les réseaux de première génération (1G), deuxième génération (2G) et troisième génération (3G), une série d'études a été mise en place pour minimiser les coûts d'équipement tout en maintenant une communication de haute qualité et de grande capacité.

Les systèmes 4G sont entièrement orientés pour garantir des services de haut débit aux utilisateurs. Cependant, la migration vers la 4^{ème} génération constitue un énorme défi. Dans la littérature, il existe plusieurs travaux en considérant plusieurs aspects de la 4^{ème} génération sont en cours de développement et de standardisation. Donc, Il est considéré comme une évolution du réseau mobile 3G. Ce réseau a également conçu pour optimiser les coûts.

Dans ce chapitre, on va discuter un cas réel au niveau de l'entreprise ATM Mobilis M'sila. Notre intervention sera effectuée au niveau de la BTS 3900A situé à la commune de M'sila.

III.2. Processus de dimensionnement

Le dimensionnement des eNodeB est la partie la plus importante et elle doit être bien développée. On a deux méthodes à suivre, la première tient compte des exigences de la capacité et la deuxième tient compte des exigences de la couverture. Pour déterminer le rayon de chaque cellule et puis le nombre des sites.

La figure ci-dessus montre le processus de dimensionnement, il comporte quatre grandes phases:

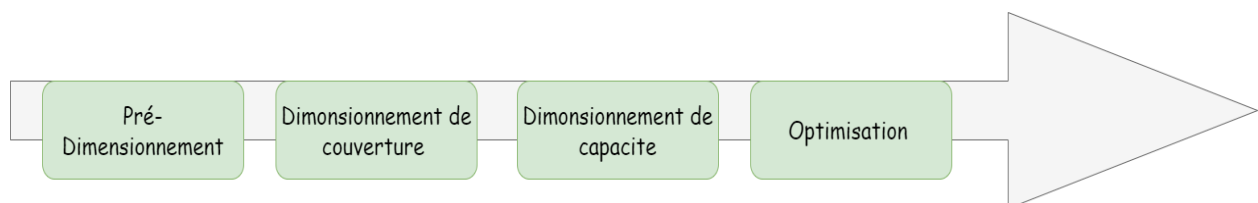


Figure III.1. Processus de dimensionnement

III.2.1. Pré-dimensionnement

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. On cite par exemple : [26]

- Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE (Utilisateur Equipement).
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information démographiques).
- Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone (services demandés, trafic offert...etc.).
- Les services à offrir : voix, données.
- La liste des sites : identifier les lieux pour placer les eNodeB.

- Type d'antenne à utiliser.

III.2.2. Dimensionnement de couverture

L'analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception de réseau 4G. On va se baser sur le bilan de liaisons, qui permet d'estimer le taux de perte du trajet. Pour cela, il est essentiel de choisir un modèle de propagation approprié[26]. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité. La figure suivante illustre le processus de dimensionnement de couverture :

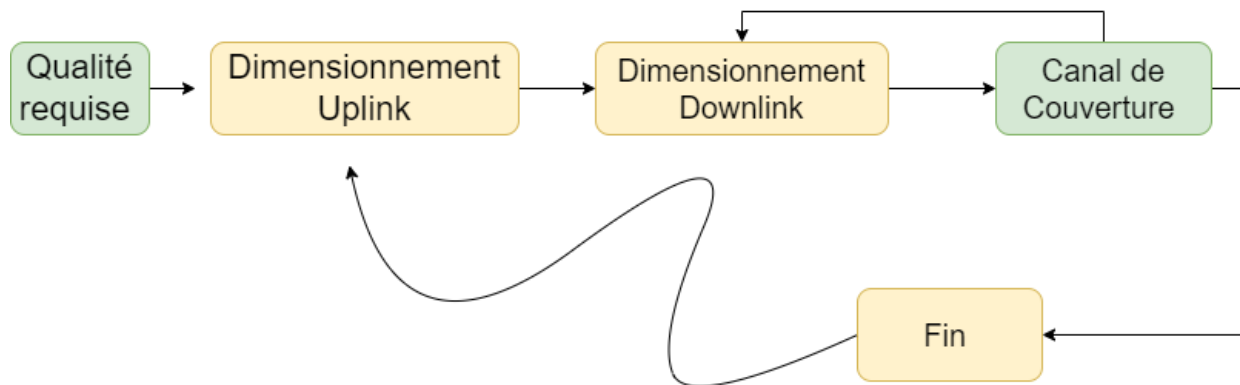


Figure III.2. Processus de dimensionnement de couverture pour le UL et DL

Les étapes de dimensionnement de couverture sont :

Exigence de qualité : L'exigence de qualité de couverture est qu'un certain débit binaire doit être atteint avec une certaine probabilité dans le réseau radio, par exemple 100 kbps doit être atteint avec une probabilité de 98 %.

Dimensionnement de liaison montante : En augmentant progressivement la distance de site à site, la distance maximale de site à site soutenant les exigences de qualité est trouvée.

Dimensionnement de liaison descendante : Sur la base de la distance de site à site obtenue dans le processus de dimensionnement de la liaison montante, la couverture de la liaison descendante et la capacité cellulaire sont calculées. Si les exigences de qualité de la liaison descendante sont respectées, la distance de site à site calculée dans la liaison montante est la limite.

Si les exigences de liaison descendante ne sont pas respectées, la distance de site à site doit être réduite jusqu'à ce que les exigences de liaison descendante soient satisfaites.

Couverture de canaux de contrôle : Les performances du canal de contrôle au bord de la cellule doivent être vérifiées par rapport à la distance calculée de site à site. Cela permet de garantir que les performances du canal de contrôle ne limitent pas les performances de bord des cellules. Si

canal de contrôle la performance ne répond pas à l'exigence de qualité, la distance de site à site doit être réduite jusqu'à ce que les exigences soient satisfaites, fournissant le résultat final [16].

III.2.3. Dimensionnement de capacité

Le dimensionnement de la capacité permet de d'estimer la capacité maximale qu'une cellule peut supporter. L'objectif principal est de fixer le nombre de sites qui sont nécessaires pour répondre au trafic des utilisateurs dans une zone donnée [26].

Le nombre d'eNodeB installés dans le réseau détermine la capacité théorique du réseau. Plusieurs facteurs influent sur cette situation, notamment le type de la zone, le type de service, le nombre d'utilisateurs et les interférences, pour évaluer les besoins en capacités on suit les étapes suivantes:

- Estimer le débit de cellule.
- Analyser les entrées de trafic pour estimer la demande de trafic (Nombre d'abonnés, trafic et des données, répartition géographique des abonnés dans la zone).

La distribution du SINR dans la cellule est l'indicateur le plus important de la capacité : à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, les interférences et le bruit augmentent, réduisant la couverture cellulaire et forçant le rayon de la cellule à rétrécir [2].

III.2.4. Optimisation

L'optimisation est un processus itératif de contrôle et de suivi des KPI (Key Performance Indicator), ayant le but de maintenir les exigences de QoS préétablis.

III.3. Dimensionnement de l'interface S1 et X2

Le dimensionnement de couverture et de capacité est qu'une plate-forme préliminaire pour le dimensionnement. En d'autres termes, est un accès au reste du dimensionnement [27].

III.3.1. L'interface X2

Dans la conception du réseau d'accès 4G, les eNodeB sont connectés deux à deux via l'interface X2 (physique ou logique), cette dernière est une opération simple. Par exemple, la capacité de l'interface X2 en 4G de quelques opérateurs :

Huawei : L'interface X2 nécessite beaucoup moins de capacité que l'interface S1, avec un maximum de 3%.

Ericsson : X2 est < 2 % du trafic en S1.

III.3.2. L'interface S1

Cette interface transporte des données et des signaux, et sa capacité peut être divisée en somme d'une capacité d'utilisateur et de contrôle.

III.4. Refarming du spectre

Simplement, le refarming du spectre est l'action de la réaffectation des bandes de fréquence du spectre à des technologies et/ou à de nouveaux services. Par exemple, un fournisseur de services peut utiliser 900 MHz pour fournir des services 2G. Cependant, avec la demande croissante de services de données, on peut libérer une partie de ce spectre de 900 MHz pour les services LTE, ce processus est connu sous le nom de refarming du spectre.

Refarming du spectre est historiquement été attribuées aux services mobiles 2G (en utilisant Technologie GSM) pour introduire la nouvelle génération de technologies mobiles, y compris à la fois la troisième génération (utilisant la technologie UMTS) et la quatrième génération (utilisant la technologie LTE) [28].

III.4.1. L'importance du Refarming

Le spectre est une ressource intéressante et coûteuse, et il y a un besoin croissant d'assurer son utilisation optimale. Les communications radio mobiles ont évolué au cours des trois dernières décennies. Depuis qu'ils ne transportaient initialement que la voix, les réseaux utilisent maintenant l'UMTS, le HSDPA et le LTE pour fournir des services mobiles à large bande.

Typiquement, 800-900 MHz est attribué aux bandes GSM tandis que L'UMTS utilise le spectre de 1900/2100 MHz, et les bandes de fréquences de 700 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz et 2400 MHz sont utilisées pour les services LTE. Dans le même temps, le nombre d'utilisateurs de la 2G diminue dans toutes les zones géographiques, ce qui ouvre la possibilité d'utiliser ce spectre pour la 4G. De plus, certains fournisseurs de services ont déjà abandonné les réseaux 2G à mesure que les abonnés sont passés aux nouvelles technologies.

III.5. Etude pratique d'un site BTS3900A d'ATM Mobilis

III.5.1. Caractéristiques du site BTS

Numéro d'Identification : 28669.

Localisation : Rue Ladgham, M'sila.

Technologies utilisées : 2G, 3G et 4G

Transmission : le site terminale est rattaché à la BSC qui est à son tour rattaché au MSC de sétif utilise les faisceaux hertziens



Figure III.3. Caractéristique du site BTS 28669

III.5.2. Station de base BTS 3900A

La station de base utilisée dans ce site est de marque Huawei modèle BTS 3900A. Cette station est de type macro pour utilisation extérieure (Outdoor Macro Base Station), qui fait partie de la famille multi standard BTS 3900.

C'est la solution idéale pour le secteur de la téléphonie mobile qui souhaite évoluer vers un réseau haut débit LTE. La solution BTS3900, l'une des stations de base macro extérieures les plus compactes du secteur, fournit une grande capacité évolutive et des applications multimode répondant aux exigences des opérateurs à longue distance [28].

III.5.2.1. Spécifications techniques de la BTS 3900



Figure III.4. Architecture matérielle de BTS3900

III.5.2.2. Spécifications techniques de la BTS 3900

Paramètres	Spécification
Bandes de fréquence de fonctionnement	(900) 880 à 915 MHz et 935 à 960 MHz [GSM – UMTS – LTE FDD] (1800) 1710 à 1785 MHz et 1805 à 1880 MHz [GSM – LTE FDD – GL – GM – LM – GLM] (2100) 1920 à 1980 MHz et 2110 à 2170 MHz [UMTS – LTE FDD – UL]
Capacité	Une armoire unique prenant en charge un maximum de : Deux unités de bande de base BBU3900, six RFU, 12 opérateurs GSM-R
IBW (MHz)	900 = 25 MHz, 1800 = 75 MHz, 2100 = 60MHz

Poids	Armoire vide : ≤ 45 kg Armoire unique avec une configuration complète (un BBU, six RFU, sans alimentation électrique CA) : ≤ 135 kg
H * L * P	400x 300x 100 mm (without the housing)
Alimentation électrique nominal	-48 V CC

Tableau III.1. Spécifications techniques de la BTS 3900[28]

III.5.2.3. Architecture matérielle

L'architecture matérielle flexible se compose d'étagères et modules principaux représentés dans la figure précédente III.4. Les modules de base d'une station de base de la série 3900 sont BBU (base band unit), RFU (Radio Frequency Unit) et RRU (Remote Radio Unite). La BBU utilise des interfaces radio publiques communes (CPRI) et des câbles électriques ou optiques pour communiquer avec les RFU ou les RRU.

BBU (Base band unit) : Est fourni les fonctions : Gère de manière centralisée l'ensemble de la station de base & Traite les signaux de liaison montante et descendante.

EMU (Environment Monitoring Unit) : Est collecte les informations sur l'environnement, telles que la température, l'humidité, l'eau et le smog, de la salle d'équipement via les capteurs. Lorsque la valeur des informations d'environnement est hors du seuil d'alarme prédéfini, l'EMU signale une alarme.

UMPT (Universal Main Processing and Transmission unit): C'est un élément atteint le seuil spécifié, remplacez les cartes existantes ou ajoutez de nouvelles cartes pour augmenter la capacité.

UBBP (Universal BaseBand Processing unit): C'est une nouvelle carte pour augmenter la capacité.

FAN : Il dissipe la chaleur des autres cartes du BBU et contrôle la vitesse des ventilateurs, surveille la température des ventilateurs et signale l'état.

RFU (Radio Frequency Unit) : Peuvent être utilisées dans la série du BTS3900 Le RFU module et démodule les signaux en bande de base et RF, traite les données, amplifie la puissance et effectue la détection VSWR.

RRU (Remote Radio Unit) : Comme le composant RF sur une station de base distribuée, le RRU module et démodule les signaux en bande de base et RF, combine et divise les signaux en bande de base et RF et traite les données. Les RRU sont installés à proximité des antennes.

MRFU (Multimode Radio Frequency Unit) : Comprennent les versions du MRFU. Les modules MRFU peuvent fonctionner dans différents modes avec différentes configurations. **MRFUd** : se

compose d'une unité d'interface haute vitesse, d'une unité de traitement du signal, d'un amplificateur de puissance et d'un duplexeur [28].

III.5.3. Logiciel iMaster MAE U2020

Le MAE de Huawei est une plate-forme visant à automatiser le déploiement rapide du RAN et à réduire l'exploitation de l'opérateur avec la 5G et les réseaux haut débit mobiles en général. Il déplace les modules de gestion RAN d'une approche EMS fermée et cloisonnée vers une plate-forme ouverte permettant une intégration et une programmation faciles.

Le MAE s'appuie sur le moteur de données intelligent de Huawei, le Network AI Engine, qui fournit une analyse unifiée des données et une formation à l'IA. Huawei a développé trois solutions propriétaires qui servent de capacités de base pour MAE : express, déploiement de réseau automatisé, qui prend en charge la maintenance et l'optimisation des performances ; et xSuite prenant en charge la fourniture de services et fournissant une assurance SLA [29].

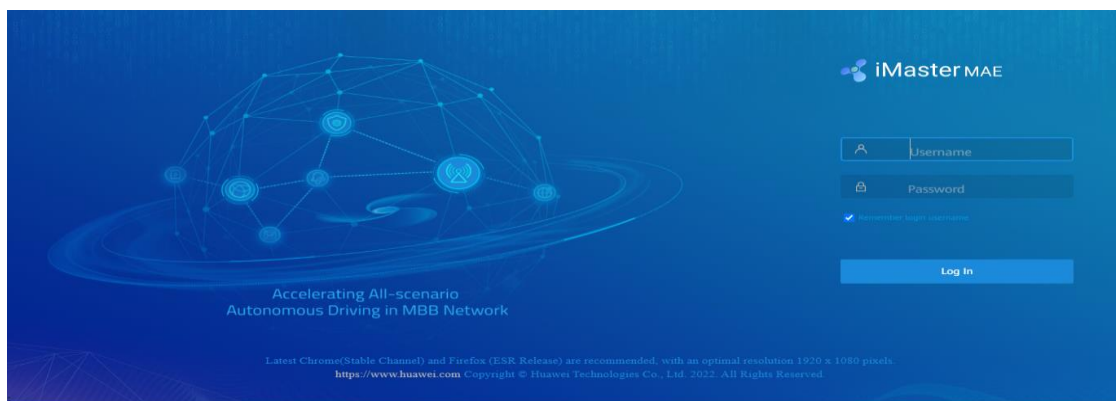


Figure III.5. L'interface du logiciel iMaster MAE

III.6. Extension de cellule 4G dans la bande 2100 réservée pour 3G

La bande 2100 MHz est réservée au réseau 3G, la largeur de la bande passante totale pour ATM Mobilis est de 20 MHz. On peut utiliser jusqu'à trois porteuses avec 5MHz comme bande passante pour chacune. Notre intervention est liée au dimensionnement du réseau 4G où nous exploitons la bande de 5 MHz restante pour créer une cellule 4G dans la bande 2100MHz. Pour effectuer cette opération, on a suivi les étapes suivantes :

- a) **Accès au réseau iMaster MAE :** Pour accéder au logiciel iMaster MAE, vous devez entrer l'adresse IP le mot de passe de l'utilisateur.



Figure III.6. Accès au réseau iMaster MAE

b) Créer le Planned Area Management

Il existe deux types d'area :

- Current Area
- Planned Area

Etape 1

Sur iMaster MAE, avant d'effectuer des modifications ont vérifié ce qui existe dans le NE (Network Element) en terme hardware et software, ce que on appelle hardware inspection et software inspection.

Planned Area nous nous prévus de fournir une plateforme flexible pour tous types de modification et de configuration. D'autre part de conservé les données réseau en direct (Live Network) ne changent pas et ne s'appliquent pas dans la current area.

Etape 2

Planned Area Management → Create

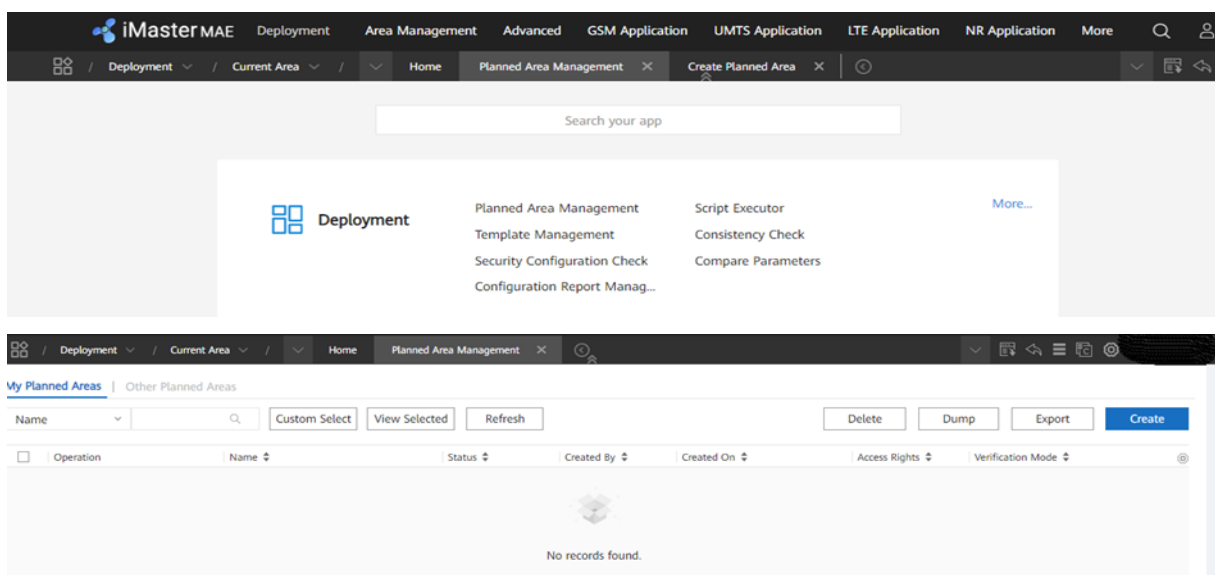


Figure III.7. L'accès au site iMaster et Création le Planned area

Etape 3

Sélectionner les contrôleurs (BSC, RNC) et les stations de bases de tous les sites qui seront exploités, puis les sauvegardés dans le planned area en donnant un nom par exemple **PFE**.

c) Le client U2020

On choisit le site 28669. L'ajout d'une cellule (Cell Addition) en 4G a été recommandé par le service d'optimisation radio pour le site 28669 (Rue Ladgham 28669).

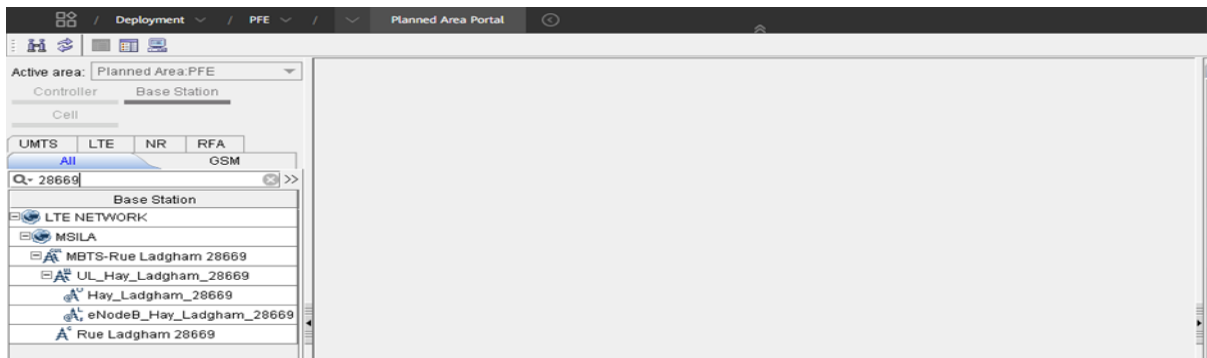


Figure III.8. Choisir le site 28669

d) Création d'une cellule

Dans la fenêtre Planned Area PFE, cliquez à droite de la souris, sélectionnez « Create Cell »

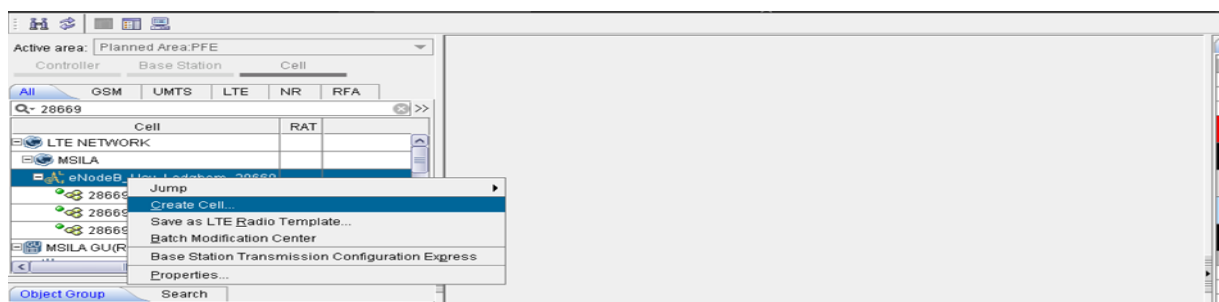


Figure III.9. Création d'une cellule

Le tableau suivant s'affiche :

Attribute	Value
Local Cell ID	3
Cell Name	
Csg indicator	False
Uplink cyclic prefix length	Normal
Downlink cyclic prefix length	Normal
NB-IoT Cell Flag	FALSE
Coverage Level Type	
Frequency band	
Uplink EARFCN indication	Not configure
Uplink EARFCN	
Downlink EARFCN	
Uplink bandwidth	
Downlink bandwidth	
Cell ID	
Physical cell ID	
Standby Cell SFN Recovery Time(h)	
Additional spectrum emission	1
Cell active state	Deactivated
Cell admin state	Unblock
Cell middle block timer(min)	

Attribute	Value
Root sequence index	
High speed flag	Low speed cell flag
Preamble format	0
Cell radius(m)	10000
Customized bandwidth configure indicator	Not configure
Customized uplink bandwidth(0.1MHz)	
Customized downlink bandwidth(0.1MHz)	
Emergency Area Id indicator	Not configure
Emergency Area ID	
Use max power allowed configure indicator	Not configure
Max transmit power allowed(dBm)	
Flag of Multi-RRU Cell	False
Mode of Multi-RRU Cell	
CPRI Compression	No Compression
Physical Cell Number of SFN Cell	
Air Cell Flag	False
CRS Port Number	2 ports
Cell transmission and reception mode	
User label	
Work mode	Uplink and downlink
Cell Standby Mode	Active

Figure III.10. Tableaux de configuration pour la création de la nouvelle cellule

- **Local Cell ID** : indice numérique donnée pour chaque cellule 4G, ainsi que sa signification est locale dans le site 4G.

- **Cell Name** : indice alpha numérique
- **Frequency band**: Une bande de fréquences est un intervalle dans le domaine fréquentiel, délimité par une fréquence inférieure et une fréquence supérieure. Le terme peut faire référence à une bande radio ou à un intervalle d'un autre spectre.
- **Downlink EARFCN**: (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number), lors de la configuration des données radio sur le produit DBS3900, la commande ADD CELL nécessite le EARFCN de la bande de fréquence utilisée. Nombre (EARFCN) compris entre 0 et 65535.
- **Uplink bandwidth**: indique la bande passante UL de la cellule, qui est basée sur le nombre de blocs de ressources (RBs). La valeur CELL_BW_N25 indique une largeur de bande cellulaire de 25 RBs. La valeur CELL_BW_N50 indique une largeur de bande cellulaire de 50 RBs. La correspondance entre la valeur du paramètre et la bande passante réelle de la cellule (c'est-à-dire le nombre de RB) peut être déduite de façon similaire. Ce paramètre s'applique uniquement aux systèmes LTE FDD et LTE TDD.
- **Downlink bandwidth**: indique la largeur de bande DL de la cellule, qui est basée sur le nombre de blocs de ressources (RBs).
- **Cell ID** : paramètre à négocier avec les services CN, radio et BSS il doit être le même sur l'eNodeB et le MME
- **Physical cell ID**: Indicates the physical ID of a neighboring cell in the UL CS coordination set. This parameter applies only to LTE FDD.
- **Cell FDD TDD**: Indique le mode duplex de la cellule. CELL_FDD indique le mode FDD, et CELL_TDD indique le mode TDD.
- **Root sequence index**: Indique la première séquence logique racine (Root Sequence Index), qui est utilisée pour générer la séquence de préambule. Chaque séquence racine logique correspond à une séquence racine physique. Pour le mappage entre les séquences racine logique et les séquences racine physique. Ce parameter applique à LTE FDD et LTE TDD.
- **Cell transmission and réception mode**: Indique le mode de transmission et de réception de la cellule. Par exemple mode 2T2R, 4T4R ... etc.
 - Appuyez sur OK
 - Attendez que la progression soit de 100% et affiche « Successful »

Object Name ^	Status ^	Details ^
28669R	Successful	Creating cell succeeded.

Figure III .11. La cellule a été créée

e) Lier la cellule au Hardware (matériel)

Choisissez Base Station → UL_Hay_Ladgham 28669 → Carrier Resource Management

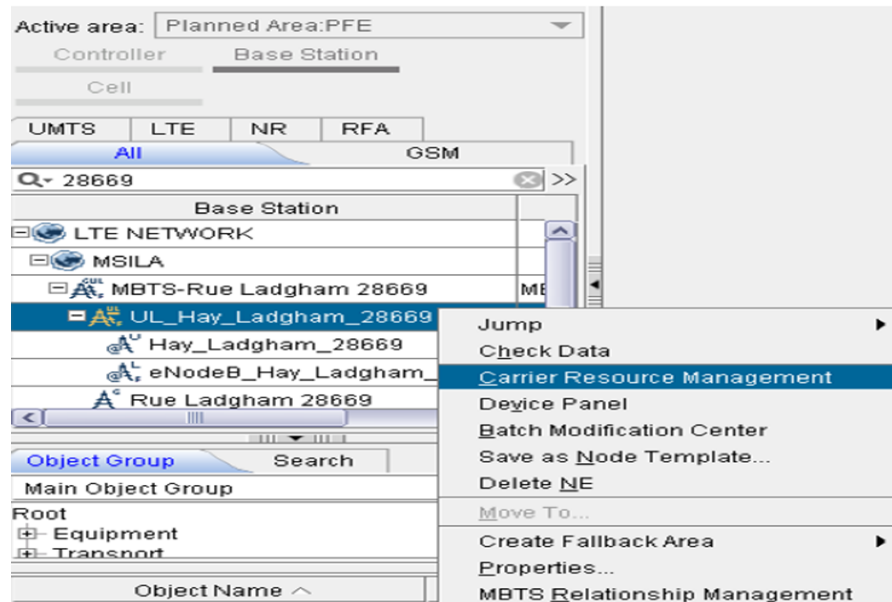


Figure III.12. Lier la cellule au Hardware

- La cellule doit être créée sur un module MRFU2100, pour cela il faut créer un nouveau équipement du secteur (Sector Equipment) différent de celle à la 3G.

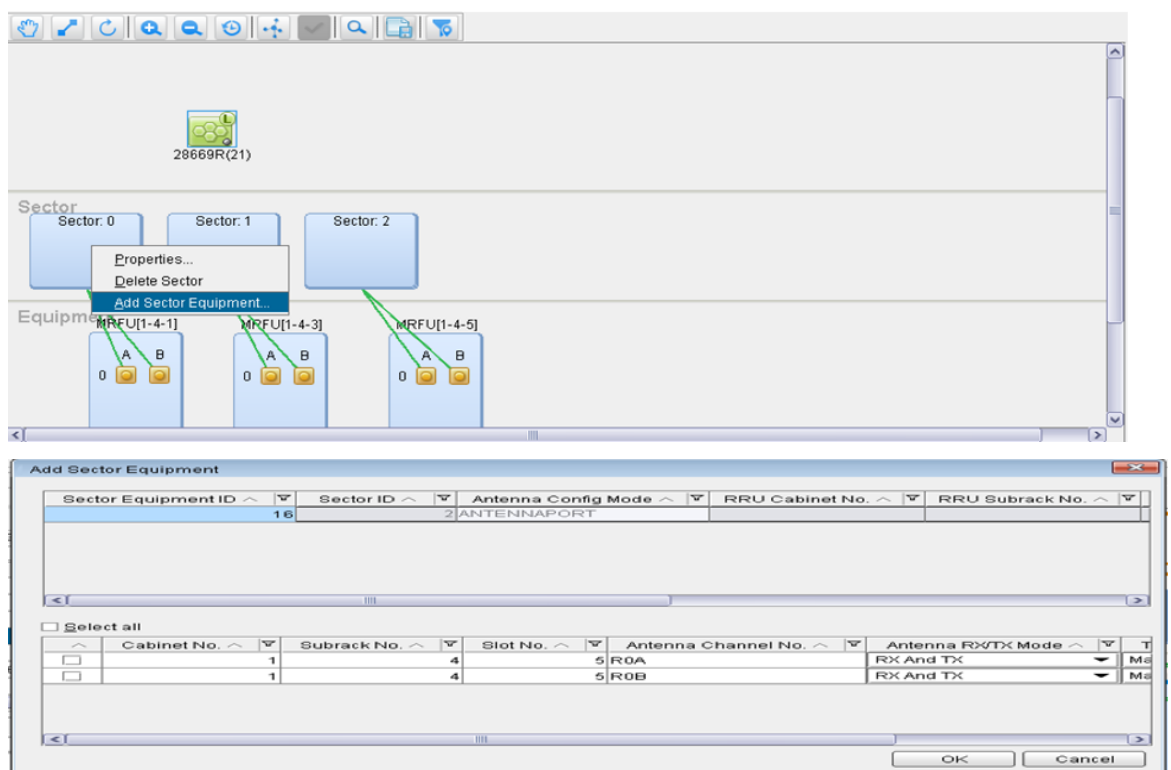


Figure III.13. Configuration et l'ajout du secteur d'équipement

- Il suffit d'appuyer sur « OK » pour obtenir la figure suivante:

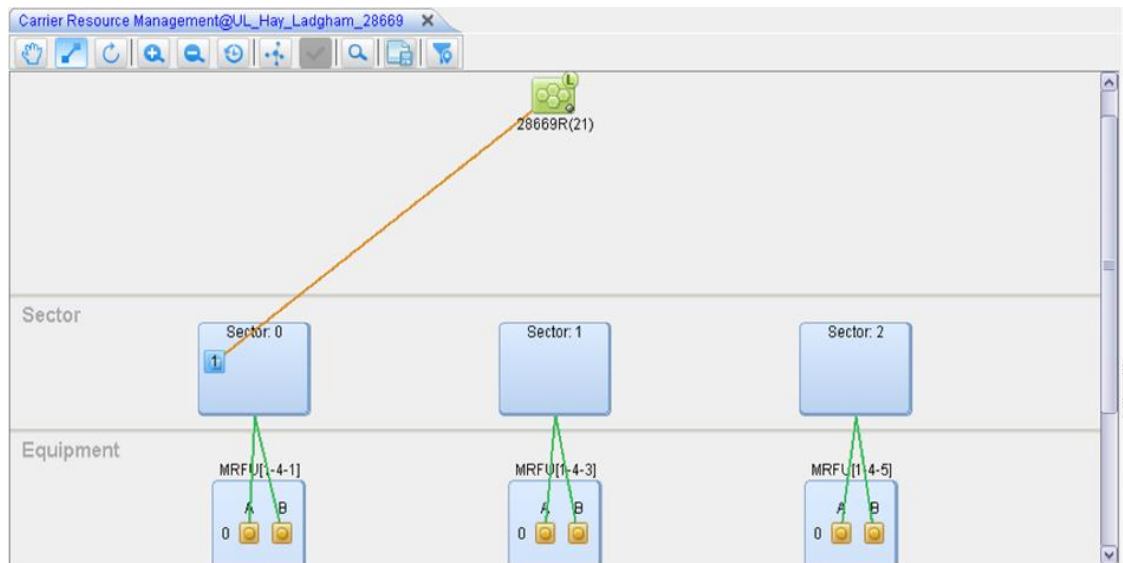


Figure III.14. placer le secteur équipement

Le module «MRFU» avec cette nouvelle configuration fonctionne en mode UL (UMTS, LTE).

f) Configuration des cellules adjacentes

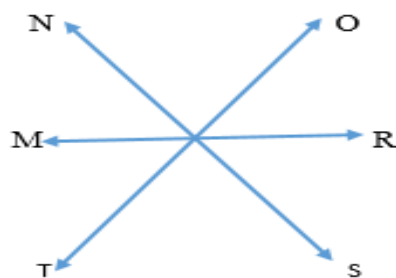
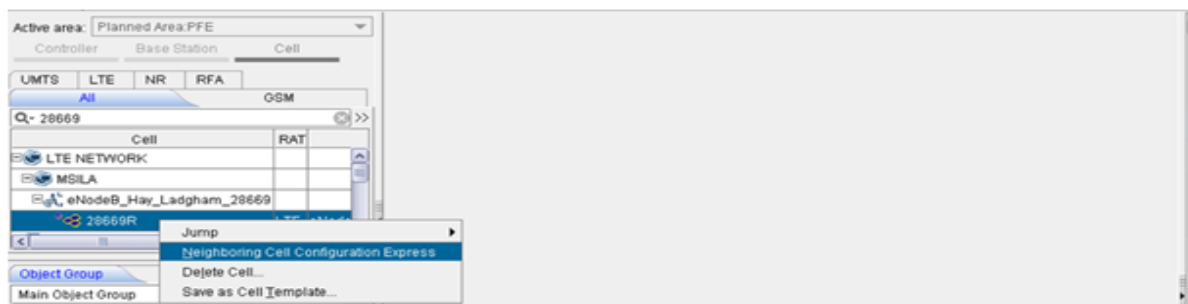


Figure III.15. la configuration des cellules adajcente

g) Création des autres cellules

Ont répété les mêmes étapes précédentes pour crier les cellules correspondant aux deuxième et troisième secteurs.

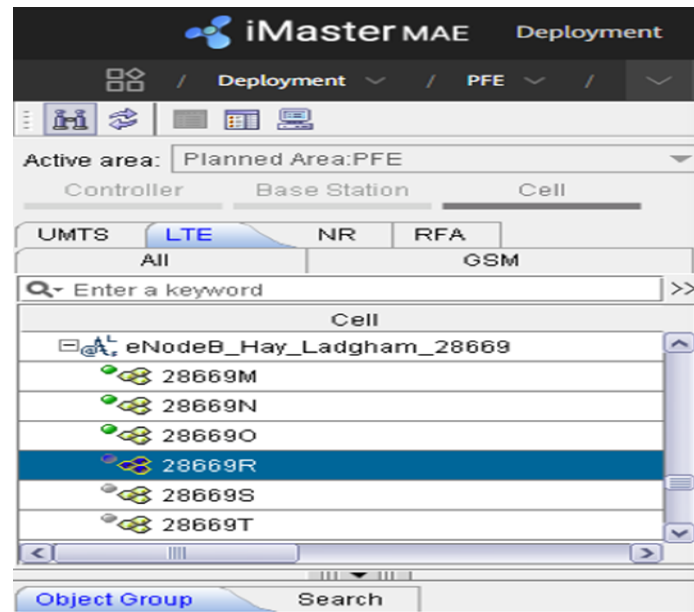


Figure III.16. Création de la cellule 28669S et le cellule 28669T

h) Export Incremental Scripts

Area Management —→ Export Incremental Scripts

➤ Cette opération permet de créer un projet avec tous les modifications précédentes

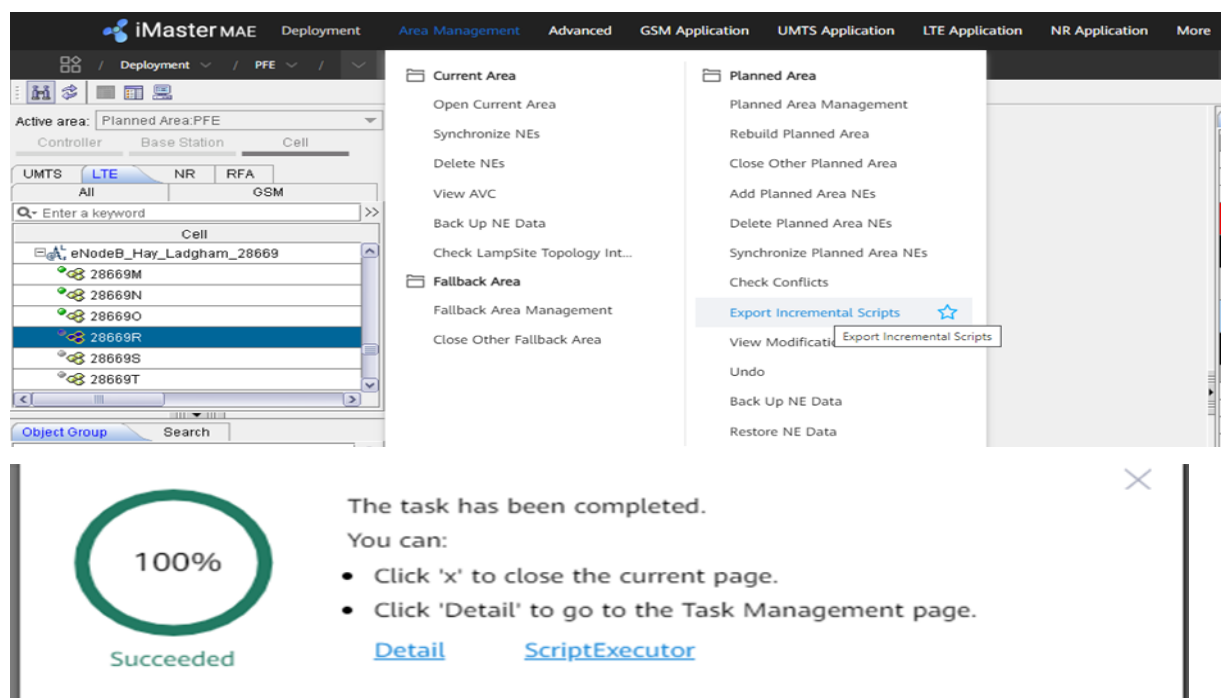


Figure III.17. Export incremental scripts

i) Préactivation de projet

Dans cette étape, nous allons tester les modifications apportées sur ce projet sur le Planned Area. Une fois que la préactivation a été passée avec succès, le projet est prêt pour être activé sur le Current Area (Live Network).

Task	VL	Task St	N	Se	De	Message	O	Result	St	En	Operati	Progress	Description	Action
1	Yes	Complete	UL	Batc		Succeeded in performing the NE preactivation operation.	XXXXX	Succeeded	2022	2022	Preactivate	100	UL_Hay_Ladg	Mon

Figure III.18. La préactivation du projet

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de dimensionnement d'un réseau 4G, le dimensionnement de couverture, de capacité et d'interface. Ensuite, nous avons expliqué le principe de refarming du spectre. L'objectif principal de cette étude est basé sur une intervention pratique liée au dimensionnement de réseau 4G. Ce travail, est effectué au niveau de l'entreprise ATM Mobilis M'sila. Il est connu que les ressources radio sont des ressources limitées et coûteuses, ce travail est focalisé pour l'augmentation de la capacité d'eNodeB et de la couverture ainsi que l'efficacité spectrale. Dans ce stade, notre intervention est réalisée sur le site 28669 dans le but d'ajouter une cellule 4G dans la bande 2100 MHz, les différentes étapes de ce travail sont expliquées en détail dans ce chapitre. L'avantage de cette opération est l'utilisation des ressources hardware et software existantes sans passer par des investissements supplémentaires. Cependant, ce site en question nécessite de plus un dimensionnement dans les interfaces S1 et X2, cela peut être une perspective de ce travail.



Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons considéré l'étude et le dimensionnement de réseau mobile 4G. Dans le premier chapitre, nous avons donné les définitions et les concepts de base des différentes générations de réseau mobile. Ensuite, dans le deuxième chapitre nous avons présenté d'une manière détaillée la quatrième génération, en exposant leur architecture, les techniques impliqués, ...etc. Après, dans le dernier chapitre on a expliqué les techniques de dimensionnement des réseaux 4G utilisées dans la partie pratique au niveau de l'entreprise ATM Mobilis M'sila. Notre intervention réelle a été effectuée sur la BTS3900A, où nous avons réalisé des extensions de cellule 4G dans la bande 2100 MHz réservée au réseau 3G. Cette opération a été effectuée à travers le logiciel iMaster MAE. Après, nous avons testé notre dimensionnement sur le réseau en temps réel et l'opération a été établie avec succès.

Finalement, nous proposons comme perspective d'optimiser la gestion de la bande passante du 3G et 4G.

Référence bibliographique

- [1] DEMOULIN, Cédric et VAN DROOGENBROECK, Marc. Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. *Revue de l'AIM*, 2004, vol. 4.
- [2] BOUGUEN, Yannick, HARDOUIN, Eric, et WOLFF, François-Xavier. LTE pour les réseaux 4G. Editions Eyrolles, 2012.
- [3] AZIZ, Lounnas; LILIA, Sili. Etude du canal de transmission des liaisons FHN dans le réseau de télécommunication 3G et 4G. 2016. PhD Thesis. Université Mouloud Mammeri.
- [4] C Majek, Contribution à l'étude d'un synthétiseur de fréquence pour objets communicants multistandards en technologie CMOS SOI, Thèse de Doctorat (2006)
- [5] Regis J. Bates, "Global Services Mobile Communication".
- [6] SCOURIAS, John. Overview of the global system for mobile communications. *University of Waterloo*, 1995, vol. 4.
- [7] <https://www.scribd.com/document/463364371/Gsm> Global System For Mobile Communication (GSM) : Web Proforum Tutorials The International Engineering
- [8] KUKUSHKIN, Alexander. *Introduction to mobile network engineering: Gsm, 3g-wcdma, lte and the road to 5g*. John Wiley & Sons, 2018.
- [9] MISHRA, Ajay R. *Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5G/3G... evolution to 4G*. John Wiley & Sons, 2004.
- [10] CHUAH, Mooi Choo et ZHANG, Qinqing. *Design and performance of 3G wireless networks and wireless LANs*. Springer Science & Business Media, 2005.
- [11] DAHLMAN, Erik, PARKVALL, Stefan, SKOLD, Johan, et al. *3G evolution: HSPA and LTE for mobile broadband*. Academic press, 2010.
- [12] MOGENSEN, P. High speed downlink packet access (HSDPA)-the path towards 3.5G. In: 2001 IEEE Workshop on Signal Processing Systems. SiPS 2001. Design and Implementation (Cat. No. 01TH8578). IEEE, 2001. p. 344.
- [13] ELNASHAR, Ayman, EL-SAIDNY, Mohamed A., et SHERIF, Mahmoud. Design, deployment and performance of 4G-LTE networks: A practical approach. John Wiley & Sons, 2014.
- [14] METSÄLÄ, Esa et SALMELIN, Juha (ed). *LTE backhaul: planning and optimization*. John Wiley & Sons, 2015.
- [15] RODRIGUEZ, Jonathan. *Fundamentals of 5G mobile networks*. John Wiley & Sons, 2015.
- [16] BCHINI, Tarek. Gestion de la mobilité, de la qualité de service et interconnexion de réseaux mobiles de nouvelle génération. 2010. Thèse de doctorat.
- [17] GHOSH, Amitabha et RATASUK, Rapeepat. *Essentials Of Lte And Lte A*. Cambridge

University Press, 2011.

- [18] IÑIGUEZ CHAVARRÍA, José Bruno. *LTE Handover performance evaluation based on power budget handover algorithm*. 2014. Thèse de maîtrise. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [19] Ericsson, Inc, << LTE10A Air Interface >>, Ericsson LTE Planning, Internal and confidential document © Copyright 2009
- [20] WANG, Xiaodong. OFDM and its application to 4G. In: *14th Annual International Conference on Wireless and Optical Communications, 2005. WOCC 2005*. IEEE, 2005. p. 69.
- [21] Y. Fan and J. S. Thompson, "MIMO Configurations for Relay Channels: Theory and Practice," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 5, May 2007, pp. 1774–86
- [22] SESIA, Stefania, TOUFIK, Issam, et BAKER, Matthew. *LTE-The UMTS long evolution: From theory to practice*. POSTS & TELECOM PRESS, 2009.
- [23] DAHLMAN, Erik, PARKVALL, Stefan, et SKOLD, Johan. *4G, LTE / LTE-Advanced for Mobile Broadband*. Academic Press, 2011.
- [24] DAHLMAN, Erik, PARKVALL, Stefan, et SKOLD, Johan. *4G, LTE- advanced Pro and the Road to 5G*. Academic Press, 2016.
- [25] I.Berchid, *Optimisation d'un réseau single RAN (3G) et planification LTE*, Télécommunication et Technologies de l'Information, institut national des postes et télécommunications, royaume du Maroc, 2014
- [26] DIHIA, Chihaoui et SONIA, Moudir. *Dimensionnement d'un réseau 4G LTE*.2018. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- [27] Rapport de la calibration du modèle de propagation de l'outil de planification Atoll document.Djezzy
- [28] Document Huawei (HEDEX).
- [29] Document BSC Mobilis M'sila.