

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderahmane MIRA - BEJAIA -
Faculté de Technologie

Département Génie Electrique



Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté par :

AMARI Lies et KADI Amar

Pour l'obtention du Diplôme de Master Recherche

Filière : Electronique

Spécialité : Télécommunication

Thème

Convergence 3G-LTE : Enjeux Technico-économiques

Soutenu en public en date du : 18 Juin 2013

Devant le Jury:

Dr M. SADJI

Dr M. SABI

Dr M. TOUNSI

Mr N. MAYOUT

M.A U.A.M Béjaïa

M.A U.A.M Béjaïa

M.C U.A.M Béjaïa

Cadre WTA-Nedjma

Président de Jury

Examineur

Rapporteur

Rapporteur

Promotion 2012-2013

Remerciements

Nous remercions en premier lieu, le Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la patience et la volonté de mener à terme ce modeste travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre Rapporteur **Dr TOUNSI M.** pour sa disponibilité et ses précieux conseils.*

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à **Dr SADJI M.** de nous avoir fait l'honneur de présider cet honorable jury.*

*Nos profonds remerciements s'adressent également à **Dr SABI M.** pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.*

*Nos vifs remerciements vont s'adresser à tout le personnel WTA-Nedjma , pour leurs qualités humaines et leur soutien en particulier **Mr MAYOUT N.***

A ceux, qui de près ou de loin nous ont soutenus.

Merci 

Dédicaces

*On dédie ce modeste travail à tous ceux qui nous ont aidés et
soutenus,*

*On pense particulièrement à nos chères parents, ceux à qui on doit tant pour
leurs amours et leurs supports continu tout le long du cursus de nos études.*

*Que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de notre profonde
reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour nous. Grâce à leurs
collaborations, leurs déterminations dans le travail nous ont soutenus au prix
de sacrifices inoubliables.*

*A nos frères et nos sœurs et tout notre grande famille et sans oublier nos
très chers amis.*

Amar et Lies

Sommaire

Sommaire.....	i
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Chapitre I : les réseaux cellulaires deuxième génération	
I.1) Introduction	3
I.2) Description du réseau GSM.....	3
I.2.1) Architecture du réseau GSM	3
I.2.2) Les constituants du réseau d'accès GSM.....	4
I.2.3) Les constituants du réseau cœur GSM.....	4
I.3) La station mobile (le téléphone portable)	6
I.4) Introduction au concept cellulaire	6
I.5) Contrôle de puissance	8
I.6) La gestion de la mobilité et de l'itinérance.....	8
I.7) Présentation des interfaces.....	10
I.8) Les services d'un réseau GSM	11
I.9) Les techniques d'accès multiple	11
I.9.1) Le FDMA	12
I.9.2) Le TDMA	12
I.9.3) Le CDMA	12
I.10) Les canaux logiques et physiques.....	14
I.10.1) Le canal physique	14
I.10.2) Canaux logiques	15
I.11) Élément de la planification cellulaire	16
I.11.1) Importance de la planification cellulaire	16
I.11.2) Principe général de la planification cellulaire	16
I.11.3) Contraintes et fonctionnalités de la planification	17
I.12) Aperçu sur le Système GPRS	17
I.13) Évolution vers EDGE	19
I.14) Modulation 8PSK	20
I.15) Conclusion	20

Chapitre II : Généralité sur les réseaux radiot-mobiles troisième génération

II.1) Introduction	21
II.2) UMTS.....	21
II.3) Hiérarchie des cellules de l'UMTS	21
II.4) Architecture de l'UMTS	22
II.4.1) Réseau d'accès UTRAN	23
II.4.1.1) Node B	24
II.4.1.2) RNC	24
II.4.1.3) Interfaces de communication	25
II.4.2) Réseau cœur	25
II.4.2.1) Le domaine CS	26
II.4.2.2) Le domaine PS	26
II.4.2.3) Eléments communs	27
II.5) Le duplexage	27
II.6) Organisation temporelle	28
II.7) WCDMA	29
II.7.1) Principe de l'étalement de spectre.....	29
II.7.2) Codes d'étalement	29
II.7.3) Embrouillage	30
II.8) Canaux radio de l'UMTS	31
II.8.1) canaux logiques	31
II.8.2) canaux de transport.....	32
II.8.3) Canaux physiques.....	32
II.9) Contrôle de puissance.....	33
II.10) Transfert intercellulaire	34
II.11) L'évolution d'UMTS.....	36
II.12) Comparaison des technologies de la 3G	38
II.13) Conclusion.....	38

Chapitre III: réseaux radio-mobiles quatrième génération

III.1) Introduction.....	39
III.2) Architecture du LTE	39
III.2.1) Architecture générale	39
III.2.2) Réseau d'accès (Access Network)	40

III.2.2.1) Caractéristiques	40
III.2.2.1.1) Débit de l'interface radio	40
III.2.2.1.2) Connexion permanente	41
III.2.2.1.3) Délai pour la transmission de données.....	41
III.2.2.1.4) Mobilité.....	41
III.2.2.1.5) Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G	41
III.2.2.1.6) Flexibilité dans l'usage de la bande	41
III.2.2.1.7) Support du multicast	41
III.2.2.1.8) Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales.....	42
III.2.2.2) Les entités du réseau d'accès(E-UTRAN) :	42
III.2.3) Réseau cœur (Core Network).....	43
III.2.3.1)Caractéristiques	43
III.2.3.2) Les entités du réseau cœur.....	44
III.2.3.2.1) Mobility Management Entity	44
III.2.3.2.2) Serving Gateway (SGW)	45
III.2.3.2.3) PDN Gateway (PGW).....	45
III.2.3.2.4) Home Subscriber Server (HSS)	45
III.2.3.2.5) Policy and Charging Rules Function (PCRF).....	45
III.2.4) Architecture générale	46
III.3) Interface radio de LTE en Release 8 : OFDMA	47
III.4) Application de MIMO au système EPS : MIMO 2x2, 2x4, 4x2 et 4x4.....	47
III.5) Contrôle de puissance	49
III.6) La VoLTE	49
III.7) Réseau WiMAX.....	50
III.7.1) WiMAX mobile	50
III.7.2) Architecture du WiMAX mobile	51
III.7.3) Mobilité dans l'IEEE 802.16e.....	53
III.7.3.1) Fonctions relatives au déplacement du MS	53
III.7.3.2) Handover de niveau 2 (ASN Anchored Mobility Management)	53
III.7.3.3) Handover de niveau 3 (CSN Anchored Mobility Management)	55
III.7.4) IEEE 802.16m.....	55
III.8) LTE avancé (LTE-Advanced) (3GPP, Release 10)	55
III.8.1) L'architecture.....	56
III.8.2) HeNB	57
III.8.3) SON.....	57

III.8.4) Agrégation de porteuses	58
III.8.5) Les relais	60
III.9) Conclusion	62

Chapitre IV: Choix d'une solution de migration 2G/3G ou 2G/4G

IV.1) INTRODUCTION.....	63
IV.2) DE LA NECESSITE DE MODERNISATION DES RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS.....	63
IV.3) AVANCEES TECHNIQUES DES MIGRATIONS 2G/3G ET 3G/4G.....	64
IV.4) ENJEUX ECONOMIQUES.....	65
IV.4.1) Le Coût d'acquisition des licences 3G ou 4G.....	65
IV.4.2) Le Coût des terminaux mobiles 3G ou 4G.....	66
IV.5) ENJEUX STRATEGIQUES.....	69
IV.6) SOLUTION DE MIGRATION.....	70
IV.7) CONCLUSION.....	70
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	71

Liste des figures

Figure I.1: Architecture global de GSM.....	3
Figure I.2 : Exemple théorique de couverture cellulaire.....	7
Figure I.3: Contrôle de puissance du mobile	8
Figure I.4: Handover entre deux LA.	10
Figure I.5: Différentes techniques d'accès multiple.....	13
Figure I.6 : La structure du multiplex temporel.	15
Figure I.7: Processus de la planification cellulaire.	17
Figure I.8: Architecture du réseau GPRS.....	18
Figure I. 9 : Architecture EDGE.	20
Figure I.10 : Comparaison des modulations GMSK et 8PSK.....	20
Figure II.1 : Hiérarchie des cellules de l'UMTS	21
Figure II.2 : Architecture globale de L'UMTS.....	22
Figure II.3 : Architecture du réseau d'accès.....	23
Figure II.4 : Types de NodeB	24
Figure II .5 : Représentation graphique de l'exemple de communication	25
Figure II.6 : Architecture du réseau cœur de l'UMTS.....	26
Figure II. 7 : FDD.....	28
Figure II. 8 : TDD.....	28
Figure II. 9 : Organisation temporelle de l'UMTS	28
Figure II.10 : Principe d'étalement de spectre.....	29
Figure II. 11 : Arbre des codes OVSF	30
Figure II.12 : Utilisation des codes OVSF.....	30
Figure II.14 : Handover en douceur. Sélection trame par trame.....	34
Figure II.13 : Mécanisme de scrambling.....	31
Figure II.15: Softer handover.....	35
Figure II.16 : Soft handover.....	35
Figure III.1 : Architecture général du LTE.....	40
Figure III.2 : Architecture de l'E –UTRAN.....	42
Figure III.3 : Vue globale du réseau cœur EPC.....	44
Figure III.4 : Architecture de l'EPS– Les connectivités dans le plan usager et contrôle.....	46
Figure III.5 : Techniques SU-MIMO, MU-MIMO et MIMO 4x4 appliquées au système EPC.48	

Figure III. 6 : Contrôle de puissance.....	49
Figure III.7 : Architecture du WiMAX mobile.....	53
Figure III.8: Intra-ASN Handover.....	54
Figure III.9: Inter-ASN Handover.....	55
Figure III.10 : L'architecture de LTE-A.....	56
Figure III.11 : Agrégation de porteuses en une bande passante.....	58
Figure III.12 : Agrégation de porteuses en bande passante non attenante pour une seule bande..	59
Figure III.13 : Agrégation de porteuses en bande passante non contigu de plusieurs bandes...	59
Figure III.14 : Le régime de base des relais.....	61
Figure IV.1: Résultats du sondage WTA-Nedjma sur 'arrivée de la 3G en Algérie.....	67
Figure IV.2 : Résultats du sondage WTA-Nedjma sur les types de mobiles en Algérie.....	68
Figure IV.3 : Résultats du sondage WTA-Nedjma sur l'acquisition de Smartphones en Algérie.	87

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les interfaces du réseau GSM.....	11
Tableau I.2 : Caractéristiques technique des bandes GSM.....	13
Tableau I.3 : Liste des canaux logiques du GSM.....	15
Tableau I.4 : Liste des interfaces dans un réseau GPRS.....	19
Tableau II.1 : Relations entre le code d'étalement et le code de scrambling.....	31
Tableau II.2 : Canaux logiques.....	31
Tableau II.3 : Canaux de transport.....	32
Tableau II.4 : Canaux physiques.....	32
Tableau II.5 : une comparaison des technologies du la 3G.....	38
Tableau IV.1 : Débits théoriques et temps de latence des réseaux mobiles 3G et 4G.....	64
Tableau IV.2 : Exemples de coûts d'acquisition de licences 3G et 4G.....	66
Tableau IV.3 : Coût d'acquisition de quelques Smartphones 4G.....	66
Tableau IV.4 : Coût d'acquisition de quelques mobiles 3G.....	67

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La première génération de réseaux mobiles a connu son essor à la fin des années 70 en offrant aux utilisateurs le premier service de communications mobiles. Malgré une qualité médiocre (transmission analogique non sécurisée, manque de normalisation, pas de roaming,...etc.), un coût exorbitant, un design primitif et un poids considérable, ces systèmes ont vite été victimes de leurs succès.

Le développement des techniques de traitement numérique de signal aidant, l'engouement derrière les communications radio-mobiles a accéléré l'émergence d'une nouvelle génération de réseaux mobiles : le GSM (*Global System for Mobile communication*). Cette technologie (GSM900 : Génération 2G) développée dans les années 80 et déployée à partir du début des années 90, a connu un énorme succès de par le monde pour ses services voix et messagerie courte SMS (*diverses normes en Europe, en Asie et en Amérique du nord*). Devant une extension fulgurante du marché né de cette technologie, il a fallu proposer de nouvelles bandes fréquences (GSM1800), et de nouveaux services comme la messagerie multimédia MMS. L'exigence de débits plus importants (*seulement 9,6 kbps permis par le GSM*), a vite conduit à des extensions de la norme GSM vers le standard GPRS (*General Packet Radio System / débit théorique de l'ordre de 114 kbit/s*), puis le standard EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution / débit théorique de 384 kbps*), qui ont ouvert la voie enfin aux applications multimédia.

Devant l'engouement des opérateurs et des équipementiers de plus en plus nombreux et une profusion de téléphones mobiles de plus en plus performants (*devenus de nos jours de véritables terminaux mobiles justement dits téléphones intelligents ou « Smartphones »*), un changement dans la façon de penser la téléphonie mobile s'est imposé à partir du milieu des années 90. Si jusqu'à alors, ce sont les réseaux mobiles qui permettaient des services, ce sont des derniers qui, depuis, « tiraient » les réseaux vers de nouvelles fonctionnalités. En effet, avec le déploiement massif du réseau Internet partout dans le monde, la voie vers des réseaux mobiles de nouvelles générations était toute tracée. Le groupe de travail IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication for the year 2000*) a ainsi posé les premières jalons et spécifications techniques pour les réseaux de 3^{ème} génération.

Une véritable mutation des réseaux de téléphonie mobile est alors opérée à partir des années 2000 sous l'égide du consortium 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) avec l'avènement de la « Release99 » définissant la norme UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) avec de meilleures techniques de multiplexage et des services beaucoup plus développés incluant l'accès à Internet haut débit (*débits théoriques allant jusqu'à 2Mbit/s*) et des services

multimédia (*transfert de vidéo, visioconférence...*) disponibles en tout lieu et à tout moment. Diverses évolutions ont été définies, notamment les *Release5 (2002)* et *Release6 (2005)* pour des réseaux HSPA (*High Speed Packet Access*) généralisant une commutation par paquets pour les divers services avec des débits de plus en plus améliorés (de l'ordre de 42 Mbit/s).

Les *Release9 (2009)* à *Release12 (2012)*, sont venues révolutionner encore une fois la téléphonie mobile avec de nouvelles techniques de codage et d'accès tout IP pour accroître les débits (100 Mb/s pour LTE- Long Term Evolution , 1 Gb/s pour LTE-Advanced) et réduire la latence des systèmes : C'est la génération 4G lancée depuis une année dans divers pays développés.

Notre projet de fin étude porte sur la maîtrise des différentes évolutions des réseaux radio-mobiles afin de situer et de synthétiser les principales caractéristiques des réseaux 3G et 4G. L'objectif ultime est d'entrevoir une réponse au dilemme de migration des réseaux GSM dans notre pays, arrivés à saturation actuellement, vers des réseaux de 3^{ème} ou de 4^{ème} génération. Une réponse que nous savons d'avance très complexe, tant certaines des données pouvant la constituer, sont très difficiles à obtenir. Toutes les informations ayant trait aux coûts des équipements et des systèmes sont très confidentielles et nous n'avons pu disposer d'aucune estimation malgré un stage au niveau de la direction technique WTA-Nedjma (*Wataniya Telecom Algérie*).

Dans un souci pédagogique de compréhension des différentes évolutions des réseaux radio-mobiles, nous avons organisé notre mémoire comme suit :

- Le premier chapitre est un rappel des caractéristiques générales des réseaux GSM, du point de vue architectural, infrastructurel et fonctionnel ;
- Le deuxième chapitre introduit les réseaux 3G traite l'UMTS et son évolution vers le HSPA avec leurs architectures, les techniques d'accès et les différents types de canaux.
- Le troisième chapitre introduit les réseaux 4G (LTE, LTE-Advanced, WIMAX) et leurs caractéristiques essentielles ;
- Dans le quatrième chapitre, nous donnons une comparaison technico-économique des réseaux 3G et 4G pour tenter de répondre à la lancinante question de migration vers l'un de ces réseaux, des réseaux GSM.
- Enfin une conclusion générale, suivie de nos références bibliographiques, est donnée à la fin du mémoire.

CHAPITRE I :
RÉSEAUX CELLULAIRES
DEUXIÈMES GÉNÉRATION

I.1) INTRODUCTION

GSM (Global System for Mobile communication) est la première norme téléphonie cellulaire qui soit pleinement numérique. C'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles. Le réseau GSM offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. La téléphonie est plus important des services offerts. Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles où entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services proposés sont la transmission de données et la transmission de messages alphanumériques courts à des débits relativement faibles.

I.2) DESCRIPTION DU RESEAU GSM [2, 14]

I.2.1) Architecture du réseau GSM

Hormis le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS, Operation Sub-System) qui permet à l'exploitant d'administrer son réseau, le réseau GSM est divisé en deux parties : Le réseau cœur et le réseau d'accès. Dans la terminologie GSM, on utilise les termes de BSS (Base Station Sub-system) et de NSS (Network Switching Sub-system) pour qualifier ces deux sous-ensembles. La communication entre le NSS et BSS est assurée par une jonction MIC à 2,048 Mbit/s comprenant des canaux à 64 kbit/s écouant soit le trafic soit la signalisation.

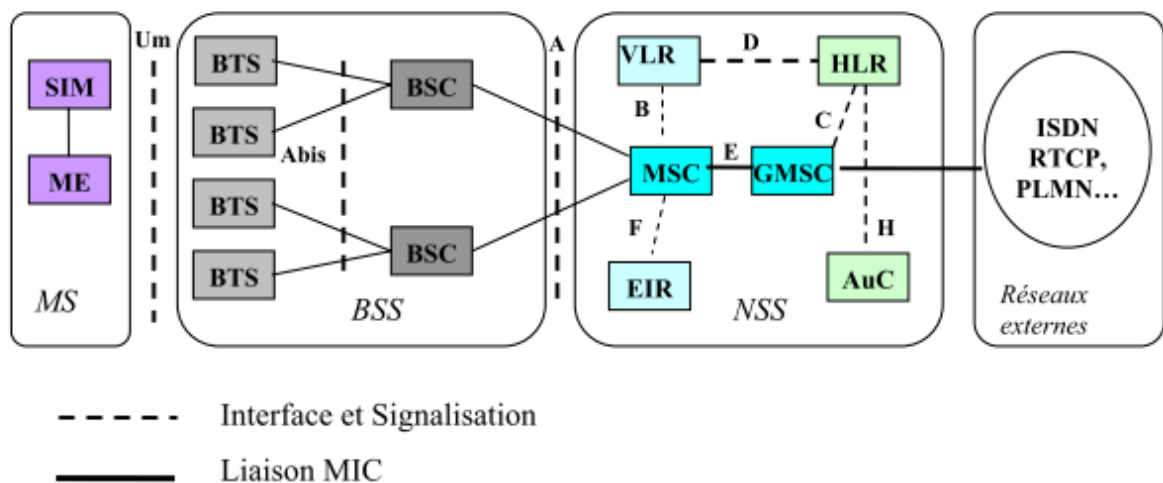


Figure I.1: Architecture globale de GSM.

Le sous-système radio BSS assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio. Il comprend les BTS et les BSC.

Au niveau du sous-système NSS, le trafic écoulé est de même nature que celui écoulé par le réseau cœur (Core Network) du réseau fixe. Des fonctionnalités supplémentaires apparaissent pour le traitement des nouvelles fonctionnalités comme la gestion de la mobilité

du fait de l'absence de connaissance de la localisation du mobile ou la nécessité de sécuriser la liaison radioélectrique du fait de la diffusion à partir de la station de base. Le NSS comprend des bases de données et des commutateurs : MSC/ VLR, HLR, EIR, AuC ...

1.2.2) Les constituants du réseau d'accès GSM

Le réseau d'accès GSM ne comporte que deux types d'équipements :

Le BSC et la BTS

➤ BTS (Base Transceiver Station) est l'équipement de transmission radio du réseau GSM.

Elle effectue différentes opérations, dont le codage/décodage des informations transmises sur l'interface radio; la modulation/démodulation.

➤ Le BSC est un équipement pouvant contrôler une ou plusieurs BTS. Les fonctions principales du BSC sont les suivantes :

- Le routage de l'appel entre la BTS et le MSC.
- L'allocation des ressources utilisées sur l'interface radio. Cette fonction comprend l'allocation initiale, ainsi que le contrôle des ressources radio lors de la procédure de Handover.
- le contrôle de la BTS (démarrage, supervision, activation des ressources radio utilisées par la communication).

1.2.3) Les constituants du réseau cœur GSM

Cette section donne une description rapide des rôles et des fonctions des constituants du réseau cœur GSM .Il est constitué de :

➤ MSC (Mobile Switching Centre) et GMSC (Gateway MSC).

- Le MSC est un commutateur de données et de signalisation. Il est chargé de gérer l'établissement de la communication avec le mobile.
- Le GMSC est un MSC un peu particulier servant de passerelle entre le réseau GSM et le RTCP (réseau téléphonique commuté public). Lorsque l'on cherche à joindre un abonné GSM à partir d'un point extérieur au réseau GSM (on parle alors d'appel entrant), l'appel passe par le GSMC, qui effectue une interrogation du HLR avant de router l'appel vers le MSC dont dépend l'abonné.

➤ Le VLR (Visitor Location Register) est une base de données attachée à un ou plusieurs MSC.

Le VLR est utilisé pour enregistrer les abonnés qui se trouvent dans une zone géographique donnée, appelée LA (Location Area).Lorsque le mobile se déplace en mode veille et détecte

un changement de LA, il doit signaler ce changement au VLR. Cette mise à jour est nécessaire au réseau pour pouvoir joindre le mobile en cas d'appel entrant. Le VLR contient des données assez similaires à celles du HLR. Par ailleurs, le VLR mémorise pour chaque abonné les informations suivantes:

- L'identité temporaire du mobile TMSI (Temporary Mobile Station Identity) utilisé pour limiter la fraude liée à l'interception et à l'utilisation frauduleuse de l'IMSI.
- la zone de localisation (LA) courante de l'abonné.

Dans la plupart des réseaux, le MSC et le VLR sont un seul et même équipement : MSC/VLR.

➤ Le HLR (Home Location Register) est la base de données contenant les informations relatives aux abonnés gérés par l'opérateur. Pour chaque abonné, le HLR mémorise les informations suivantes:

- Les informations de souscription (abonnement data ou non, souscription à tel service supplémentaire, débit maximal autorisé, etc.).
- L'identité du mobile, ou IMSI (International Mobile Station Identity).
- Le numéro d'appel de l'abonné, ou MSISDN (Mobile Station International ISDN Number).

Par ailleurs, le HLR mémorise le numéro de VLR sous lequel l'abonné est enregistré de manière à pouvoir joindre facilement l'abonné dans le cas d'un appel qui lui est destiné.

➤ L'AuC (Authentication Center) est un élément permettant au réseau GSM d'assurer certaines fonctions de sécurité.

- L'authentification de l'IMSI de l'abonné.
- Le chiffrement de la communication.

Ces deux fonctions de sécurité sont activées au début de l'établissement d'appel avec l'abonné. En cas d'échec de l'une ou l'autre des procédures, l'appel est rejeté. L'AuC est couplé au HLR et contient pour chaque abonné une clé d'identification lui permettant d'assurer les fonctions d'authentification et de chiffrement.

➤ EIR (Equipment Identity Register) est un équipement optionnel des réseaux GSM destiné à lutter contre le vol des terminaux mobiles. L'EIR est en fait une base de données contenant la liste des mobiles interdits, appelée black list.

Lors de l'établissement d'un appel, le réseau demande au terminal son identité, ou IMEI (International Mobile station Equipment Identity). Si L'IMEI retourné par le terminal fait partie de la liste des mobiles interdits, l'appel ne peut être établi. Bien entendu, pour

être totalement efficace, cette fonction suppose que tout abonné ayant perdu son terminal signale à son opérateur la perte ou le vol de son équipement. Il faut également que l'opérateur effectue une mise à jour de la base de données de son EIR et active dans son réseau la procédure d'identification.

I.3) LA STATION MOBILE (LE TELEPHONE PORTABLE) [2]

La station mobile est constituée du téléphone portable à proprement parler mais aussi d'une carte appelée carte SIM (Subscriber Identity Module), qui est indispensable pour accéder au réseau. Cette carte contient, sur un microprocesseur, les informations personnelles de l'abonné. Ce dernier peut donc, par insertion de la carte SIM dans n'importe quel téléphone portable, recevoir des appels, en donner et avoir accès à tous les services qu'il a souscrit : le téléphone portable et l'utilisateur sont totalement indépendants. Le téléphone portable est identifié par le numéro IMEI (International Mobile Equipment Identity). Ce numéro renseigne sur le type d'équipement, l'identité du constructeur et le numéro de série.

La carte SIM, elle, contient le numéro IMSI (International Mobile Subscriber Identity), mais aussi une clé secrète pour la sécurité, ainsi que d'autres informations. Les numéros IMEI et IMSI sont indépendants, ce qui permet la séparation du téléphone portable et de l'utilisateur.

De plus, la carte SIM protège l'abonné des connexions frauduleuses par l'introduction d'un numéro d'identité personnel (code PIN) lors de l'accès au réseau.

On distingue trois types de stations mobiles :

- Les stations mobiles embarquées (classe 1) de puissance 20 W.
- Les mobiles portables (classe 2) de 8 W.
- Les mobiles portatifs de (classe 3) 5 W, (4) 2 W et (5) 0.8 W.

Les mobiles portatifs 2 W sont actuellement les plus répandus dans les réseaux GSM.

I.4) INTRODUCTION AU CONCEPT CELLULAIRE [2]

Le nombre de communications simultanées que peut écouler une station de base est limité pour des questions matérielles, et surtout à cause du nombre de fréquences disponibles.

Dans les zones urbaines denses, l'opérateur utilise des microcellules de quelques centaines de mètres de rayon, pour écouler un trafic important par unité de surface.

Dans les zones rurales faiblement peuplées, les cellules sont de tailles importantes (jusqu'à 30 km) et sont appelées des macro-cellules. L'utilisation d'un portatif n'est donc pas toujours possible sur la totalité de la surface d'une cellule rurale.

Les différents environnements (urbain/rural, intérieur/extérieur, etc.) et les prévisions des demandes de trafic imposent des contraintes de nature diverse sur l'interface radio et le déploiement du système.

Les systèmes radio mobiles ont des ambitions diverses .Un système satellite peut assurer une couverture géographique complète (incluant mers et désert) mais ne peut faire face aux demandes de trafic qui existent dans les zones urbaines. A l’opposé, un système sans cordon est à même de gérer des concentrations de trafic très local (hot spot) mais en aucun cas couvrir des zones rurales.

Les systèmes de radio téléphonie cellulaire occupent la place importante située entre ces deux extrêmes. Ils sont adaptés à des environnements variés, zones rurales ou urbaines, peuvent servir des abonnés piétons ou automobilistes, couvrir des rues ou des autoroutes, et dans une certaine mesure l’intérieur des immeubles. Ils sont parfaitement à même d’offrir un service global de téléphonie mobile dans des pays de densité de population moyenne ou forte.

Les premiers réseaux radio mobiles se composaient de quelques émetteurs qui couvrent des zones importantes, et non interconnectés entre eux. Cette configuration est caractérisée par un nombre de communication limité et des communications interrompues. Pour couvrir une zone vaste et avoir une grande capacité, on introduit le concept cellulaire. Un réseau cellulaire est formé par un ensemble de cellules dont la taille dépend de la puissance d’émission des émetteurs et surtout de la nature de l’environnement (Urbain, Suburbain, Rural). Un réseau cellulaire est caractérisé par sa grande capacité grâce à la réutilisation des fréquences, il est également caractérisé par les transferts intercellulaires (Handover) qui assurent la continuité des services, lors de la transition d’une cellule à une autre.

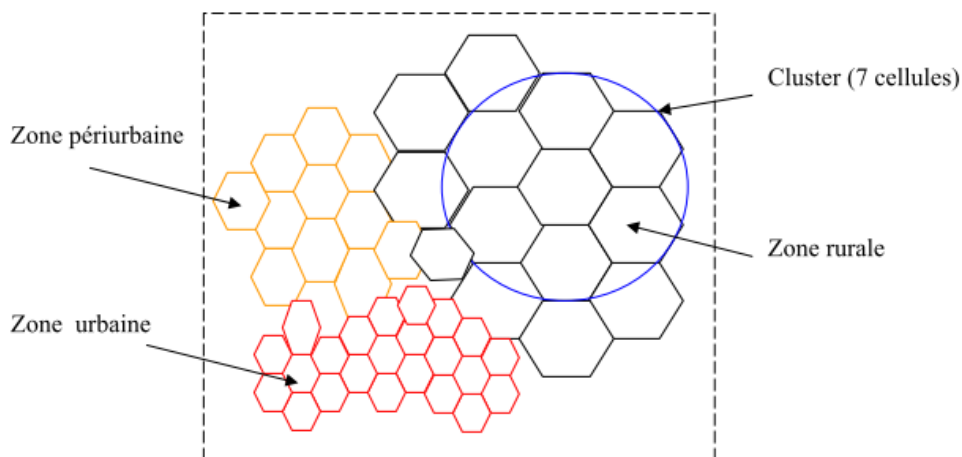


Figure I.2 : Exemple théorique de couverture cellulaire

Ce concept résout le problème d’augmentation du trafic au cours du temps. Une station de base couvre une zone géographique appelée cellule. La station de base habituellement sera placée en clair à une puissance d’émission appropriée (en excès de 20 W) et un récepteur sensible à faible bruit. La station mobile aura une puissance d’émission et une antenne. En résumé, une cellule correspond à la zone couverte par la BTS: c’est à dire la zone où le champ

radioélectrique émis a un niveau suffisant pour maintenir une qualité de communication acceptable.

I.5) CONTROLE DE PUISSANCE [2, 14]

Le niveau du signal reçu par un mobile ou par une BTS, fluctue à cause des conditions de propagation radio et de la mobilité des usagers. Donc, les concepteurs des systèmes cellulaires et les planificateurs radio définissent des puissances d'émission permettant l'établissement et le maintien de liens radio pour des mobiles pouvant se situer n'importe où dans la zone de service d'une cellule. Le contrôle de puissance (PC : Power Control) consiste à adapter la puissance de tous les émetteurs de telle sorte que les interférences soient minimisées.

Par conséquent, ce processus consiste à ajuster (en augmentant ou en diminuant à chaque instant) la puissance de MS ou BTS pour arriver à un niveau moyen permettant de minimiser la puissance requise de l'émetteur (économie d'énergie) tout en conservant la qualité de service cible (niveau C/I : rapport signal à bruit). Les émetteurs (BTS ou MS) vont donc ajuster leurs puissances dans une certaine marge dont la valeur supérieure ne doit pas excéder sa capacité physique (mobiles : 2 Watts, 8 Watts).

Les principales causes conduisant à l'augmentation ou à la diminution de la puissance émise sont: l'éloignement ou le rapprochement d'une MS de sa BTS et l'augmentation ou la diminution du niveau d'interférence sur le canal radio utilisé par le mobile.

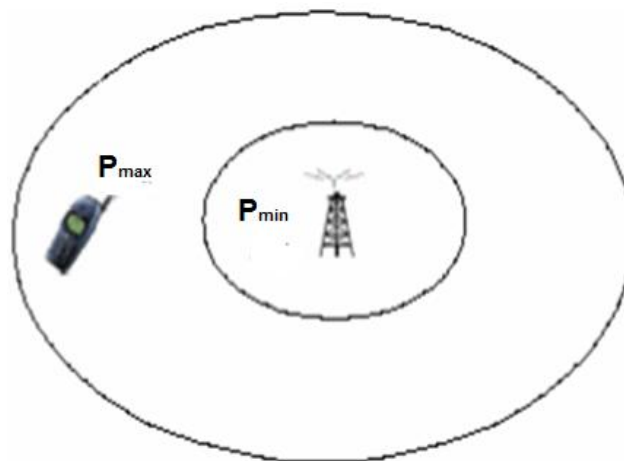


Figure I.3: Contrôle de puissance du mobile

I.6) LA GESTION DE LA MOBILITE ET DE L'ITINERANCE [2]

L'utilisateur d'un réseau de radiotéléphonie, qui se déplace en différents points du territoire couvert, doit pouvoir appeler et être appelé. C'est la notion d'itinérance ou de roaming (du verbe anglais to roam, errer).

La gestion de la mobilité a pour rôle d'établir la communication entre le mobile et le MSC, lorsqu'un mobile se déclare sur une cellule, et de la maintenir, lorsque le mobile change de cellules.

Lorsque le mobile est en veille, c'est-à-dire sous tension mais non engagé dans une communication, il doit obligatoirement choisir une et une seule cellule de référence. Cette cellule de référence correspond à la cellule la plus apte à fournir un service à l'abonné en cas de besoin (établissement d'un appel téléphonique, envoi ou réception d'un message court, etc.).

Le mobile signale sa zone de localisation (regroupement plus ou moins grand de cellules adjacentes) qui lui a été communiquée par la BTS. Cette information est transmise au VLR qui effectue les opérations suivantes : informer le HLR de la nouvelle localisation du mobile et effacer dans l'ancien VLR les informations relatives au mobile : c'est le roaming.

Un appel sortant, généré par le mobile, est analysé par le MSC qui traite l'acheminement de l'appel.

Pour un appel entrant, l'interrogation du HLR permet de déterminer l'adresse du VLR qui gère le mobile. L'appel est ensuite transmis vers le MSC qui traite l'acheminement vers le mobile.

Pendant une communication, le terminal est en liaison radio avec une station de base déterminée. Il est souhaitable d'assurer la continuité du service alors que l'utilisateur se déplace. Il peut être nécessaire de changer la station de base avec laquelle le terminal est relié tout en maintenant la communication : c'est le transfert intercellulaire ou Handover (encore appelé hand-off).

Le handover est le transfert automatique entre cellules pour maintenir la communication engagée. Le handover entre deux cellules dont les BTS sont raccordées à la même BSC est géré par ce BSC. Le handover entre deux cellules dont les BTS sont raccordées à deux BSC, eux-mêmes dépendant du même MSC, est géré par ce MSC. Le handover entre deux cellules dont les BTS sont raccordées à deux BSC, reliés à deux MSC différents, est mis en œuvre grâce à un dialogue entre les deux MSC via le réseau de signalisation.

En GSM, les changements de cellules en mode veille ne sont pas signalés au réseau. En revanche, tout changement de zone de localisation (LA: Location Area) doit être indiqué au réseau par le biais d'une procédure appelée « location update ». Cette information est détenue par le MSC/VLR comme l'indique la figure I-4.

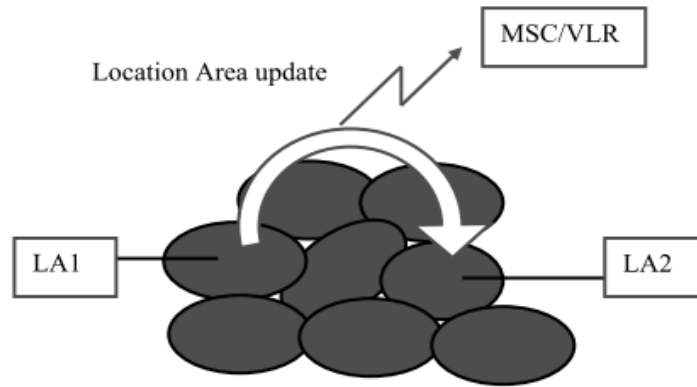


Figure I.4: Handover entre deux LA.

L'intérêt de ces zones de localisation est de pouvoir établir rapidement l'appel en cas de communication à destination d'un mobile. Lorsque le réseau souhaite établir une communication avec un mobile en veille, un message de paging est émis sur un canal radio particulier, appelé PCH (Paging Channel). Si le réseau ne disposait d'aucune information concernant la position du mobile dans la couverture radio, il faudrait alors envoyer le paging dans toutes les cellules du réseau, ce qui représenterait une charge considérable sur les interfaces et les constituants du réseau GSM.

Grâce aux zones de localisation, le réseau connaît avec une certaine précision la position du mobile, ce qui lui permet de n'envoyer le paging que dans un petit sous-ensemble de cellules du réseau. Malheureusement, ce mécanisme n'est pas totalement satisfaisant, car le compromis sur la taille des zones de localisation est difficile à trouver dans les zones à forte densité.

Définir de petites zones de localisation permet d'améliorer la précision sur la position du mobile et de diminuer la charge de trafic sur les canaux PCH. L'inconvénient de ce procédé réside dans le nombre élevé de location update que le réseau doit alors traiter. D'un autre côté, il est difficile de mettre en œuvre de trop grandes zones de localisation, en raison de la très faible capacité de trafic du canal radio PCH.

I.7) PRÉSENTATION DES INTERFACES [2]

Une interface est un protocole qui permet le dialogue entre deux nœuds. Chaque interface est désignée par une lettre. Le découpage des fonctions entre VLR et MSC effectué par les constructeurs n'est en général pas conforme à la norme ; l'interface B est donc peu respectée.

L'interface à respecter de façon impérative est l'interface D car elle permet à un MSC/VLR de dialoguer avec le HLR de tout autre réseau. Sa conformité avec la norme permet donc l'itinérance internationale.

L'interface A sépare le NSS du BSS. La conformité du BSC et du MSC à la recommandation permet aux opérateurs d'avoir différents fournisseurs pour le NSS et le BSS.

L'interface radio Um est normalisée par contre l'interface Abis du réseau d'accès n'est pas normalisée, obligeant l'opérateur à associer des équipements BSC et BTS d'un même constructeur.

Les interfaces du réseau GSM sont montées dans le tableau suivant:

Interface	Equipements	Fonction principale
Um	BTS-Mobile	Interface radio FDMA/TDMA. Cette interface est normalisée.
Abis	BTS- BSC	Supervision de la BTS. Activation, désactivation des ressources radio. Cette interface n'est pas normalisée.
A	BSC-MSC	Etablissement et libération de la communication Allocation de ressources et gestion du Handover.
B	MSC-VLR	Échange d'informations usager et mise à jour de zone de localisation. Cette interface est non normalisée car les fonctions du MSC et du VLR sont souvent intégrées dans un seul équipement.
C	GMSC-HLR	Interrogation du HLR pour joindre un abonné mobile.
D	VLR-HLR	Le VLR informe le HLR de la localisation du mobile. Le HLR fournit au VLR les informations relatives à l'abonné.
E	MSC-MSC	Gestion du Handover.
	MSC-GMSC	Transport des SMS.
G	VLR-VLR	Gestion du changement de zone de localisation.
F	MSC-EIR	Vérification de l'identité du terminal.
H	HLR-AuC	Échange des informations nécessaires au Chiffrement et à l'authentification. Cette interface n'est pas normalisée

Tableau I.1 : Les interfaces du réseau GSM

I.8) LES SERVICES D'UN RESEAU GSM [12]

Les télé-services, les services supportés, et les services supplémentaires forment les services de base du réseau GSM. Les télé-services incluent essentiellement : téléphone, fax, messages courts, mail. Les services supportés se résument dans ceux qui transportent les services des utilisateurs, comme par exemple la simultanéité de l'envoi des données et de la voix etc. Les services supplémentaires les plus courants offerts par le réseau GSM sont : l'identification des numéros et le renvoi d'appel.

I.9) LES TECHNIQUES D'ACCES MULTIPLE [12]

Pour les réseaux mobiles, il est important de spécifier la signification physique d'un canal de transmission et la manière dont les utilisateurs y accèdent. Dans tout système de transmission, chaque communication consomme une ressource physique dont le volume dépend de la quantité d'information à transmettre. Cette ressource est appelée canal physique. Dans une même cellule, plusieurs techniques définissent la manière dont les mobiles accèdent à la ressource

radio. Ces méthodes ont toutes pour principe de diviser la bande de fréquences généralement très limitée, en plusieurs canaux physiques assurant la communication tout en respectant les contraintes permettant d'éviter les interférences. Les principales méthodes d'accès utilisées par les réseaux mobiles sont le FDMA (Frequency Division Multiple Access), le TDMA (Time Division Multiple Access) et le CDMA (Code Division Multiple Access).

1.9.1) Le FDMA

La méthode d'accès FDMA ou Accès Multiple par Répartition de Fréquences (AMRF) repose sur un multiplexage en fréquences. Un tel procédé divise la bande de fréquences en plusieurs sous bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse ou carrier qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut transporter que le signal d'un seul utilisateur. La méthode FDMA est essentiellement utilisée dans les réseaux analogiques.

1.9.2) Le TDMA

La technique d'accès TDMA ou Accès Multiple à Répartition dans le Temps (AMRT) offre la totalité de la bande de fréquences à chaque utilisateur pendant une fraction de temps donnée, dénommée slot (intervalle de temps). L'émetteur de la station mobile stocke les informations avant de les transmettre sur le slot autrement dit dans la fenêtre temporelle qui lui a été réservée. Les différents slots sont regroupés par la suite en trames, le système offrant ainsi plusieurs voies de communication aux différents utilisateurs. La succession des slots dans les trames forme le canal physique de l'utilisateur. Le récepteur enregistre les informations à l'arrivée de chaque slot et reconstitue le signal à la vitesse du support de transmission. Le TDMA s'applique principalement à la transmission des signaux numériques, contrairement au FDMA conçu pour une transmission analogique. Toutefois la combinaison des deux techniques est possible.

1.9.3) Le CDMA

La méthode CDMA ou Accès Multiple par Répartition de Code (AMRC) autorise l'allocation de la totalité de la bande de fréquences de manière simultanée à tous les utilisateurs d'une même cellule. Pour ce faire, un code binaire spécifique est octroyé à chaque utilisateur. Ce dernier se sert de son code pour transmettre l'information qu'il désire communiquer en format binaire d'une manière orthogonale, c'est-à-dire sans interférence entre les signaux ou autres communications. En CDMA l'usage de codes permet une réutilisation de la même fréquence dans des cellules adjacentes. Cela offre un avantage révolutionnaire à cette méthode par rapport à celles qui la précèdent. Toutefois les codes étant seulement quasi orthogonaux à la réception, un problème d'auto – interférence entre en jeu, qui s'intensifie au fur et à mesure que le nombre de communications simultanées augmente. Excédant le nombre maximal

des codes attribués, la surcharge de la cellule affecte en outre tous les utilisateurs par l'interférence provoquée sur leurs canaux, alors que, en comparaison, un seul utilisateur est brouillé en TDMA.

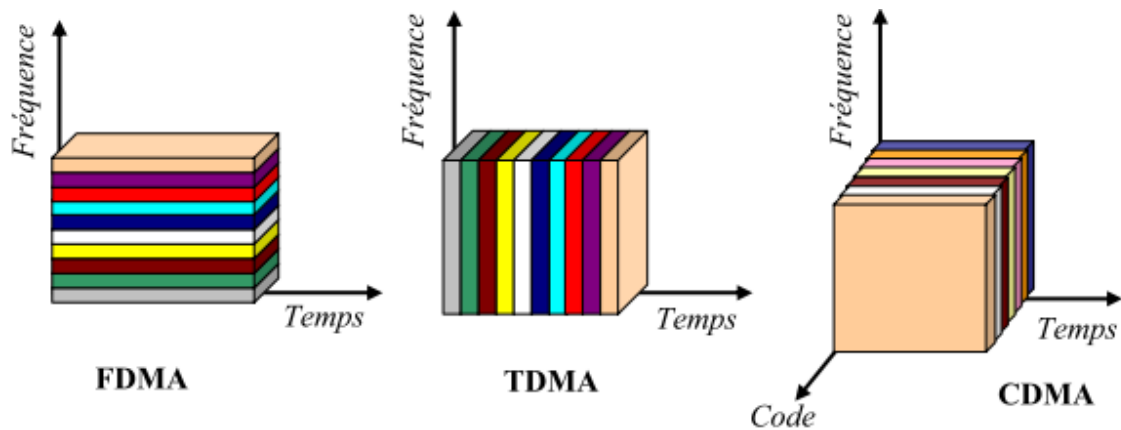


Figure I.5: Différentes techniques d'accès multiple.

Les bandes de fréquences allouées sont bien illustrée dans le tableau I.2

	GSM900	GSM1800	GSM1900
Fréquence d'émission du terminal vers la station de base (up link)	890-915 MHz	1710-1785MHz	1850-1910MHz
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal (down link)	935-960 MHz	1805-1880MHz	1930-1990MHz
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal (down link)	25+25 MHz	75+75MHz	60+60MHz
Mode d'accès	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
Espacement des canaux radio	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Espacement du duplex	45 MHz	80MHz	95MHz
Nombre de canaux radio par Sens	124	375	300
Nombre de canaux de parole plein débit	8	8	8
Débit brut d'un canal radio	270 kbit/s	270 kbit/s	270 kbit/s
Débit d'un codec à plein débit	13 kbit/s	13 kbit/s	13 kbit/s
Type de codage	RPE-LTP	RPE-LTP	RPE-LTP
Type de modulation	GMSK	GMSK	GMSK

Tableau I.2: Caractéristiques technique des bandes GSM

I.10) LES CANAUX LOGIQUES ET PHYSIQUES [12]

I.10.1) *Le canal physique*

Un canal physique est défini par l'occurrence d'un time slot sur une fréquence particulière. La couche physique regroupe tous les moyens mis en œuvre dans un système de communication pour transmettre les informations d'un émetteur vers un récepteur. Dans un système radio mobile, la couche physique gère l'émission et la réception des signaux radio.

Pour éviter que les signaux radio de différents utilisateurs proches ne se perturbent les uns les autres, le système de communication définit les règles d'accès au médium. Il peut s'agir des techniques d'accès multiples, dont les plus répandues sont le TDMA (Time Division Multiple Access), le FDMA (Frequency Division Multiple Access) et le CDMA (Code Division Multiple Access), ou de versions hybrides telles que le FDMA/TDMA, le TDMA/CDMA, etc.

En GSM, l'accès radio s'appuie sur du FDMA/TDMA. Sur plusieurs bandes de fréquences se trouve une trame TDMA. Pour augmenter la diversité fréquentielle, il est possible de mettre en œuvre le saut de fréquence. Dans ce cas, chaque trame TDMA est transmise à une fréquence différente de la précédente, le jeu de fréquences utilisé étant connu à la fois de l'émetteur et du récepteur, et les trames TDMA se partageant les bandes de fréquences disponibles.

L'accès TDMA est assuré par la découpe temporelle d'un canal de 200 kHz en huit (8) intervalles de temps élémentaires, appelés slots, numérotée de 0 à 7. La durée d'un slot est de 577 μ s et celle de la trame de 4,615 ms. Le débit binaire sur cette trame est d'environ 270 kbit/s grâce à une modulation non linéaire, la GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Les canaux physiques permettent de transporter différents types de canaux logiques de débits variés. Pour mettre en œuvre cette variété de débits, une notion de multitrame a été introduite permettant d'obtenir des périodes d'apparition spécifiques pour chaque type d'information: Une multitrame à 26 trames, d'une durée totale de 120 ms, et une autre multitrame à 51 trames, d'une durée totale de 235,38 ms.

Les multitrames sont regroupées en supertrames de durée 6,12 s comprenant soit 51 multitrames de trafic soit 26 multitrames de contrôle. L'hypertrame regroupe 2 048 supertrames et a une durée de 3h 25 mn 53.76 s.

Figure I.6 nous donne La structure du multiplex temporel

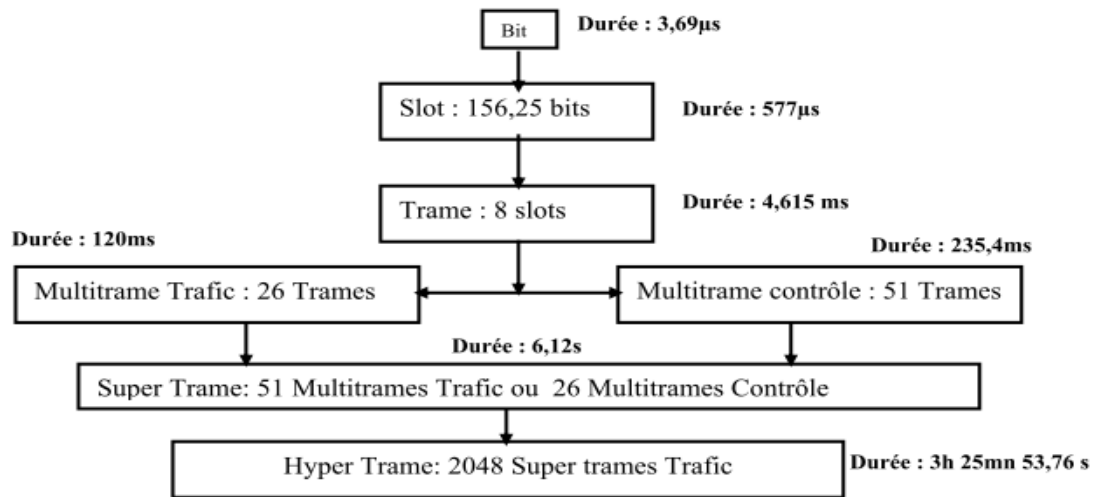


Figure I.6 : La structure du multiplex temporel.

I.10.2) Canaux logiques

Alors que les canaux physiques ne font que transporter des informations, quelles qu’elles soient, les canaux logiques permettent de distinguer les différents types d’informations circulant dans le système. Il existe deux catégories de canaux logiques, les canaux communs, partagés par tous les utilisateurs, et les canaux dédiés, réservés à un utilisateur spécifique.

Le tableau I.3 résume les canaux logiques

Catégorie	Nom	Sens	Rôle
Diffusion (commun)	BCCH(Broadcast Control CHannel)	Descendant	Diffusion d’information système spécifique à la cellule
	FCCH(Frequency Correction CHannel)	Descendant	Synchronisation fréquentielle
	SCH (Synchronization CHannel)	Descendant	Synchronisation temporelle et identification de la cellule
Contrôle (commun)	AGCH (Access Grant CHannel)	Descendant	Réponse du réseau à l’accès initial
	CBCCH (Cell Broadcast CHannel)	Descendant	Diffusion de messages courts
	PCH (Paging CHannel)	Descendant	Appel du mobile
	RACH(Random Access CHannel)	Montant	Accès initial du mobile
Contrôle (dédié)	FACCH(Fast Associated Control CHannel)	Bidirectionnel	Signalisation rapide
	SACCH(SlowAssociated Control CHannel)	Bidirectionnel	Contrôle de la transmission
	SDCCH (Stand-Alone Dedicated Control CHannel)	Bidirectionnel	Signalisation
Trafic (dédié)	TCH (Traffic CHannel)	Bidirectionnel	Transmission de données

Tableau I.3 : Liste des canaux logiques du GSM.

I.11) ELEMENT DE LA PLANIFICATION CELLULAIRE [12]

I.11.1) Importance de la planification cellulaire

La planification du réseau cellulaire est la partie la plus importante avant l'implantation du système, sans laquelle le réseau risque une qualité de communication médiocre, un taux de coupure important et un taux de blocage élevé entraînant des coûts supplémentaires et des manques à gagner pour l'opérateur. Elle comprend le déploiement, le paramétrage et l'optimisation du réseau.

La capacité et la couverture (paramètres qui nous intéressent dans ce projet) sont deux éléments essentiels dans la planification d'un réseau cellulaire. L'objectif de ce processus dépend de la nature de la zone à planifier :

- En zone urbaine ou suburbaine, l'objectif est d'assurer une capacité en trafic suffisante (c'est à dire qu'il s'agit dans ce cas de desservir un nombre élevé d'abonnés) en utilisant des micro ou picocellules.
- En zone rurale ou dans les zones à faible densité d'abonnés, l'objectif est d'assurer la couverture la plus complète possible sans nécessité de capacité élevée en utilisant des macrocellules.

Les paramètres liés aux procédures de handover et de contrôle de puissance et les algorithmes de mise à jour de localisation doivent être ajustés de façon à optimiser l'utilisation des ressources radio. Ainsi, un système convenablement optimisé offrira des communications de bonne qualité et aura une capacité importante.

I.11.2) Principe général de la planification cellulaire

Etant donné une densité et un comportement statistique d'utilisateurs, des caractéristiques géographiques et une bande de fréquence. Il s'agit de minimiser le coût de l'infrastructure radio et réseau en fonction de la couverture radio, de la taille des cellules et de la topologie du réseau. Tout en respectant des contraintes de qualité de service représentées, dans le cas de la méthode d'accès TDMA par le rapport C/I, et par le rapport E_b/N_0 dans le cas de la technique CDMA et par le taux de blocage évidemment.

Le processus de planification doit aboutir alors à :

- Un plan de stations de base (emplacements, capacités, tailles et puissances principalement).
- Un plan des fréquences associées (fréquences allouées à chaque station de base du réseau) ou plan de puissances pour le cas de CDMA.
- Un plan des équipements du réseau fixe (BSC, MSC).
- Un réseau de connexion entre toutes ces entités.

Les principales phases de la planification cellulaire sont :

1. Dimensionnement des différents éléments du réseau, la définition de la structure cellulaire (motif de réutilisation, taille des cellules,...).
2. planification radio : la sélection à l'aide d'un logiciel des sites radio théoriques et l'allocation des canaux aux BTS.

Le schéma général du processus de planification est représenté dans la figure I.7 :

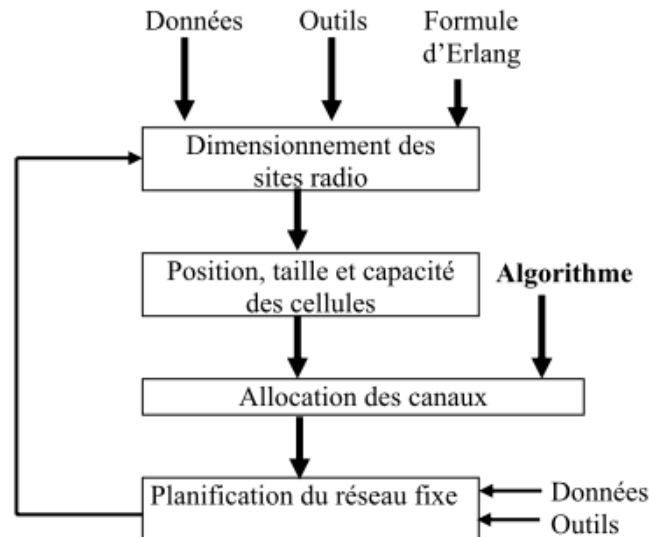


Figure I.7: Processus de la planification cellulaire.

I.11.3) Contraintes et fonctionnalités de la planification

Les planificateurs d'un réseau cellulaire doivent prendre en compte plusieurs critères et contraintes dont les principaux sont les suivants :

- Minimisation du nombre de stations de base à implanter pour réduire au minimum le coût d'installation du réseau.
- Maximisation de la qualité de service offerte aux utilisateurs par l'évitement des trous de couverture et la minimisation du taux de blocage et des niveaux d'interférence pour satisfaire la charge en trafic dans chaque cellule.
- Minimisation du nombre de handovers.

Pour atteindre tous ces objectifs, le planificateur doit tenir compte des facteurs suivants :

- Comment définir le réseau ?
- Combien de stations de base sont nécessaires pour satisfaire les demandes de couverture et de capacité.
- impact des conditions de propagation radio.
- Prédiction de la densité de trafic attendue.

I.12) APERÇU SUR LE SYSTEME GPRS [1]

Le GPRS (General Packet Radio Service) représente un service de transmission de données utilisant la liaison radio. Il utilise également la commutation de paquets ce qui signifie

que les informations sont découpées en paquets avant d'être acheminées sur le réseau. Les informations sont reconstituées à leur arrivée. Les ressources radio ne sont utilisées que lorsque les données transitent de et vers le terminal GPRS, Théoriquement la bande passante peut atteindre 155 kbps.

Le réseau GPRS est une évolution importante du réseau GSM puisque la structure GSM ne change pas. En effet, le réseau GPRS vient ajouter aux infrastructures GSM existantes un certain nombre d'entités.

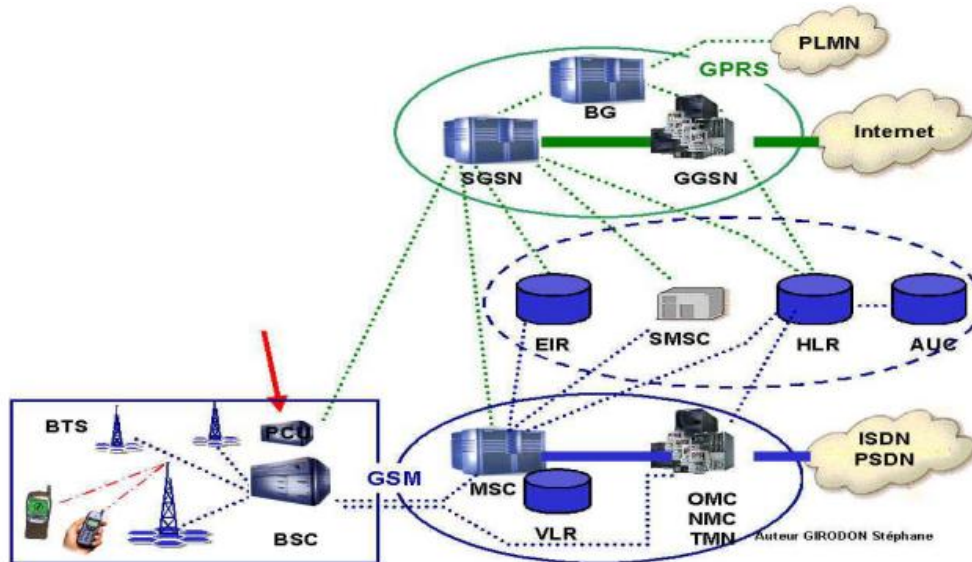


Figure I.8: Architecture du réseau GPRS.

Les équipements d'un réseau GPRS sont :

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

Le SGSN joue un rôle de retour, il gère et contrôle les terminaux GPRS présents dans sa zone.

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

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

➤ Le module BG pour la sécurité : Les recommandations introduisent le concept de BG (border gateway) qui permet de connecter le réseau GPRS via un réseau fédérateur et qui assure les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux. Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais ils jouent le rôle d'interface avec

les autres PLMN (public land mobile network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux.

➤ Le routeur IP (Internet protocole) : L'opérateur peut prendre le parti de gérer et d'administrer ses propres routeurs IP afin d'ouvrir le réseau GPRS vers les réseaux de données externe.

➤ Le module PCU sur les BSC et le module CCU sur les BTS :

- Sur les antennes -les BTS-est ajouté un module CCU (channel codec unit). Cette entité permet de gérer les envois d'information vers le module SGSN.

- La norme GPRS introduit également un équipement appelé PCU (packet control unit) généralement situé sur les BTS, les BSC ou le SGSN. Le PCU a pour fonction de gérer l'échéancier de transmission et l'acquittement des blocs sur les canaux de données.

Le tableau I.4 donne la liste des interfaces fréquentes en GPRS, ainsi que le type de protocole utilisé.

Nom	Localisation	Utilisation (non exhaustif)	Types de protocole
G b	BSC – SGSN	Divers	
G e	GGSN – HLR	Interrogation HLR pour activation d'un contexte sur données entrantes	(IP)/SS7
G r	SGSN – HLR	Gestion de localisation	
G p	SGSN – SGSN	Gestion de l'itinérance	IP
G n	SGSN – GGSN	Activation de contexte, transfert de données	IP
G i	GGSN – réseau de données	Transfert de données	IP
Gs Gestion	SGSN – MSC/VLR	coordonnée de l'itinérance entre GSM-circuit et GPRS	SS7

Tableau I.4 : Liste des interfaces dans un réseau GPRS

I.13) ÉVOLUTION VERS EDGE [1]

La technologie EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), basée sur la technique de communication des réseaux GSM et sur une modulation 8PSK (Phase Shift Keying à 8 états) est considérée comme la génération 2.75 venant compléter les performances de transmission des réseaux GPRS .La vitesse de transfert de données pour un réseau EDGE peut théoriquement atteindre un débit maximum de 473,6 kbps contre seulement 160 kbps pour un réseau GPRS. Le fonctionnement de base d'un réseau EDGE est très proche d'un réseau GPRS. Pour l'utilisateur, il s'agit de disposer d'un mobile compatible avec la technologie EDGE au même titre que le GPRS. Pour l'opérateur, il suffit de rajouter un équipement EDGE au niveau de ses BTS. Le reste du réseau GSM/GPRS est utilisé de manière identique et transparente par l'EGPRS.

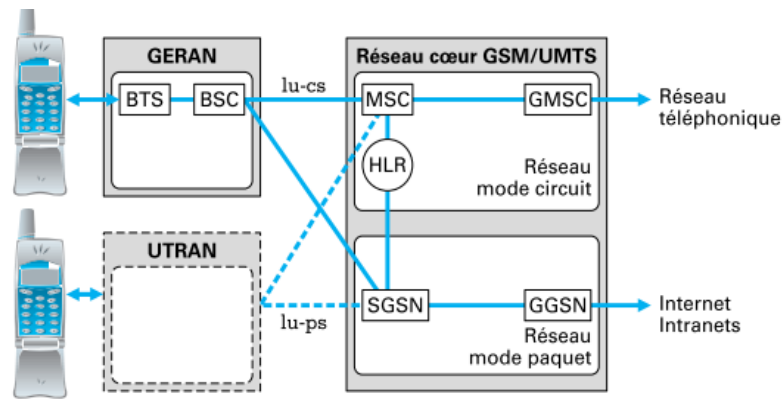


Figure I. 9 : Architecture EDGE.

I.14) MODULATION 8PSK [5]

La modulation est de type 8PSK (Phase Shift Keying), c'est-à-dire une modulation par sauts de phase à 8 états. À chaque changement d'état, la phase varie de n fois 45° en plus ou en moins, chacune de ces variations permettant d'identifier la transmission d'un nouveau triplet de bits. Le débit est ainsi multiplié par trois par rapport au GSM qui utilise une modulation GMSK (Gaussian Multiple Shift Keying) à seulement deux états. La figure I.10 montre les mécanismes de ces deux types de modulations et permet de comprendre pourquoi le débit d'informations est multiplié par trois pour une fréquence support identique.

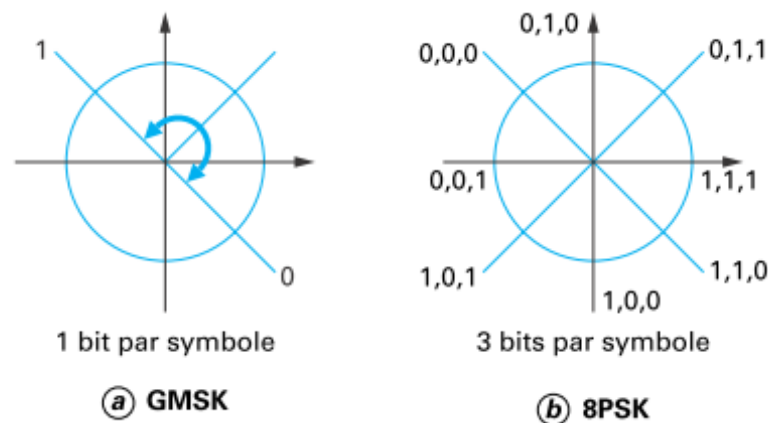


Figure I. 10: Comparaison des modulations GMSK et 8PSK.

I.15) CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons rappelé l'essentiel des caractéristiques techniques et infrastructurelles d'un réseau cellulaire GSM avec ses évolutions immédiates pour la transmission de données, à savoir le GPRS puis l'EDGE.

Ce rappel qui met en avant l'adjonction de quelques nouveaux modules et fonctionnalités pour permettre un service de transmission de données par paquets sur le réseau GSM, nous facilitera la compréhension des nouvelles évolutions présentées dans le chapitre suivant, dites systèmes de troisième génération (3G).

CHAPITRE II :
GÉNÉRALITÉ SUR LES
RÉSEAUX RADIO-MOBILES
TROISIÈME GÉNÉRATION

II.1) INTRODUCTION

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

II.2) UMTS [12]

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

II.3) HIERARCHIE DES CELLULES DE L'UMTS [1]

Tout comme le réseau GSM, l'UMTS est divisé en plusieurs cellules de tailles variables. Chacune d'entre elles est présentée en fonction de la densité de population à servir et de la vitesse de mobilité. L'accès par satellite est une extension.

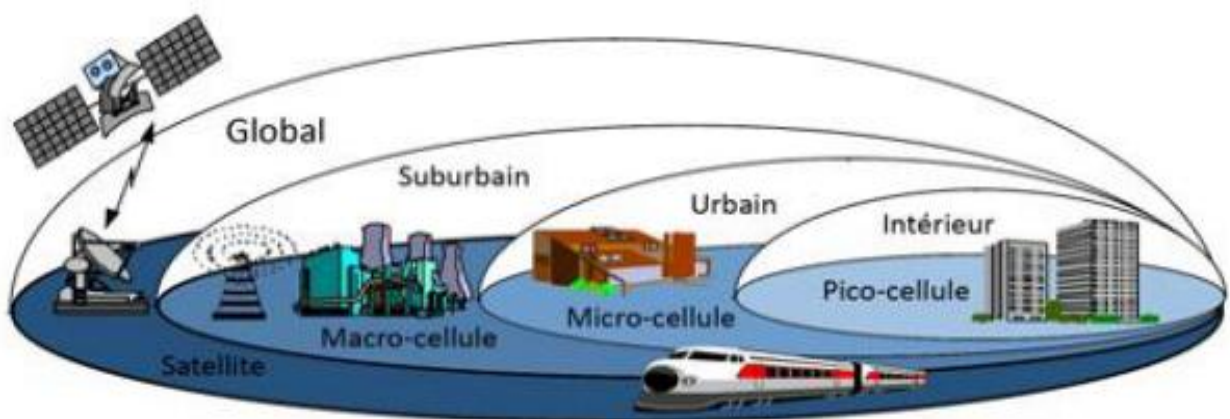


Figure II.1 : Hiérarchie des cellules de l'UMTS

- Une pico-cellule permet des débits de l'ordre de 2 Mbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur, etc.).
- Une microcellule permet des débits de l'ordre de 384 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120 km/h (véhicule, transports en commun, etc.).
- Une macro-cellule permet des débits de l'ordre de 144 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500 km/h (Train à Grande Vitesse, etc.).

II.4) ARCHITECTURE DE L'UMTS [2]

L'architecture du système UMTS est similaire à celle de la plupart des réseaux de deuxième génération.

Le système UMTS est composé de différents éléments logiques qui possèdent chacun leurs propres fonctionnalités. Il est possible de regrouper ces éléments de réseau en fonction de leurs fonctionnalités ou en fonction du sous réseau auquel ils appartiennent.

Les éléments de réseau du système UMTS sont répartis en deux groupes. Le premier groupe correspond au réseau d'accès radio (RAN, Radio Access Network ou UTRAN, UMTS Terrestrial RAN) qui supporte toutes les fonctionnalités radio. Quant au deuxième groupe, il correspond au réseau cœur (CN, Core Network) qui est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.

Pour compléter le système, on définit également le terminal utilisateur UE (User Equipment) qui se trouve entre l'utilisateur proprement dit et le réseau d'accès radio. La figure suivante présente l'architecture globale du système UMTS.

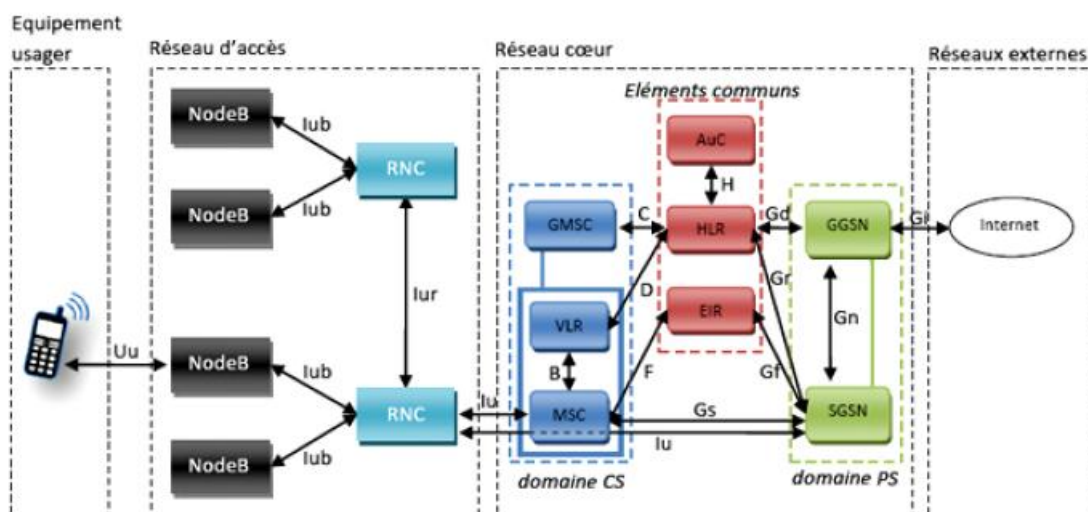


Figure II.2 : Architecture globale de L'UMTS.

Le terminal utilisateur (UE) est composé des deux parties suivantes :

Le terminal mobile (ME : Mobile Equipment), qui est l'équipement électronique émetteur/récepteur et interface homme-machine.

La carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module), carte à puces aux fonctionnalités très voisines de celles de la carte SIM des réseaux GSM. Elle contient l'identité de l'abonné et certaines informations relatives à cet abonnement, les algorithmes d'authentification, les clés d'authentification et de cryptage. Par ailleurs, au moins dans les premières années de déploiement de l'UMTS en Europe et dans les pays ayant adopté le GSM, tous les terminaux seront des mobiles bimodes UMTS-GSM.

II.4.1) Réseau d'accès UTRAN [1]

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il est chargé d'autres fonctions :

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

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

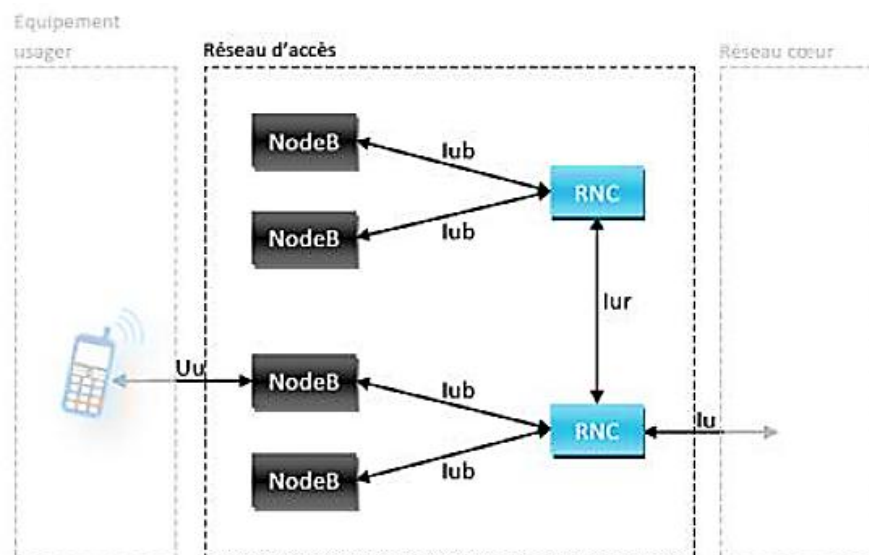


Figure II.3 : Architecture du réseau d'accès

Le réseau d'accès radio (UTRAN) comporte les deux éléments suivants :

II.4.1.1) Node B [2]

Le Node B est un relais radio électrique qui assure la couverture d'une cellule pour les terminaux UMTS. Il convertit le flux de données entre les interfaces Iub et Uu et participe à la gestion des ressources radio. Notons que le terme Node B provient des spécifications du 3GPP et est équivalent au terme « station de base » que nous avons utilisé précédemment.

Le NodeB travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Nous pouvons trouver deux types de NodeB :

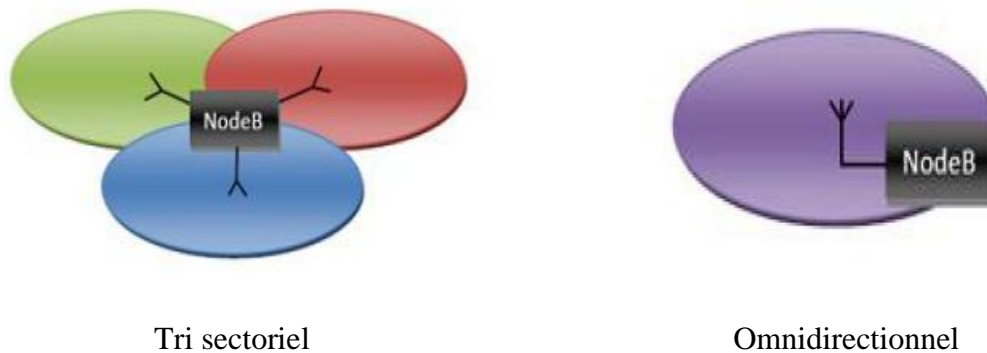


Figure II.4 : Types de NodeB.

II.4.1.2) RNC [1]

Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes). Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

Lorsqu'une communication est établie par un équipement usager, une connexion de type RRC (Radio Resource Control) est établie entre celui-ci et un RNC du réseau d'accès UTRAN. Dans ce cas de figure, le RNC concerné est appelé SRNC (Serving RNC). Si l'utilisateur se déplace dans le réseau, il est éventuellement amené à changer de cellule en cours de communication. Il est d'ailleurs possible que l'utilisateur change de NodeB vers un NodeB ne dépendant plus de son SRNC. Le RNC en charge de ces cellules distantes est appelé «Controlling RNC». Le RNC distant est appelé « Drift RNC » du point de vue RRC. Le «Drift RNC» a pour fonction de router les données échangées entre le SRNC et l'équipement usager.

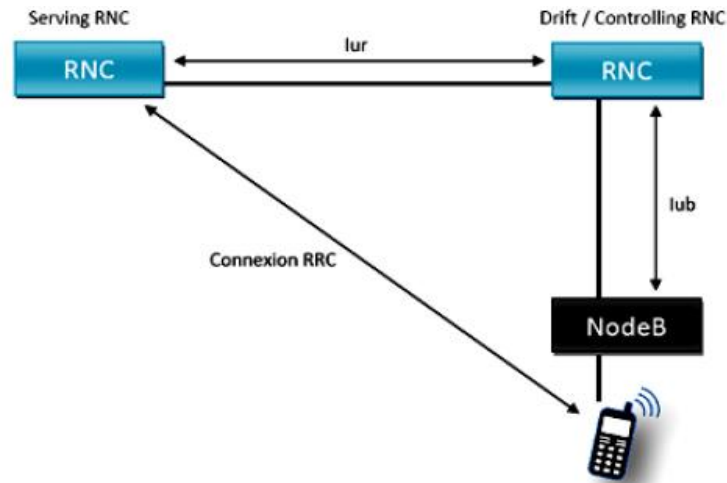


Figure II .5 : Représentation graphique de l'exemple de communication.

II.4.1.3) Interfaces de communication [1]

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

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie W-CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.
- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer entre eux.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC.

II.4.2) Réseau cœur [1]

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de trois parties partagées par deux domaines:

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie.
- Le domaine PS (Packet Switched) permet la commutation des paquets.

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication paquets et circuits. Ils peuvent être considérés comme des domaines de service. Ce type d'architecture permet de pouvoir créer ultérieurement d'autres domaines de service.

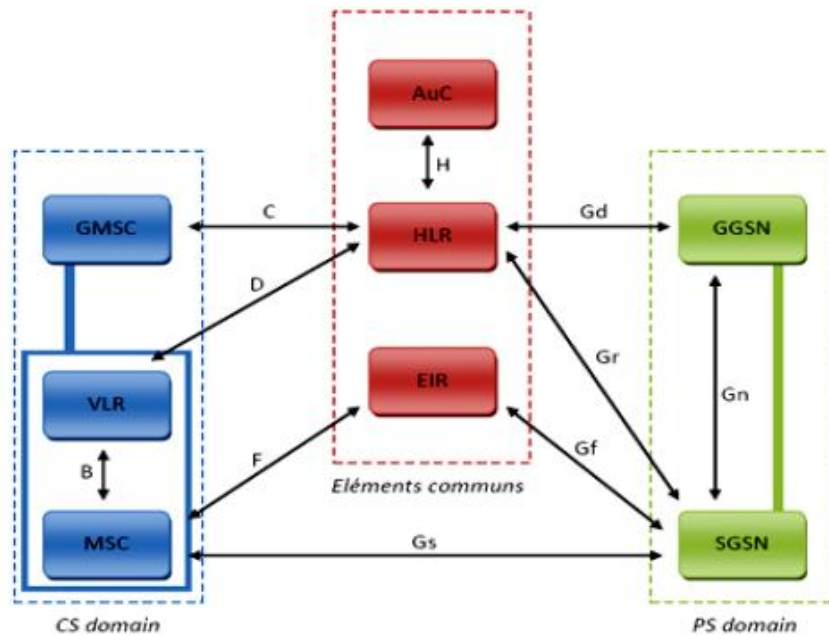


Figure II.6 : Architecture du réseau cœur de l'UMTS.

II.4.2.1) Le domaine CS

Le domaine CS est composé de plusieurs modules :

- Le MSC (Mobile-services Switching Center) : est en charge d'établir la communication avec l'équipement usager. Il a pour rôle de commuter les données.
- Le GMSC (Gateway MSC) : est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (Public Switched Telephone Network). Si un équipement usager contacte un autre équipement depuis un réseau extérieur au réseau UMTS, la communication passe par le GMSC qui interroge le HLR pour récupérer les informations de l'utilisateur. Ensuite, il route la communication vers le MSC duquel dépend l'utilisateur destinataire.
- Le VLR (Visitor Location Register) : est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire l'identité temporaire de l'équipement usager dans le but d'empêcher l'interception de son identité. Le VLR est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique LA (Location Area).

II.4.2.2) Le domaine PS

Le domaine PS est composé de plusieurs modules :

- Le SGSN (Serving GPRS Support Node) : il est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone de routage RA (Routing Area).
- Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) : est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet.

II.4.2.3) *Eléments communs*

Le groupe des éléments communs est composé de plusieurs modules :

- Le HLR (Home Location Register) : Il représente une base de données des informations de l'utilisateur : l'identité de l'équipement usager, le numéro d'appel de l'utilisateur, les informations relatives aux possibilités de l'abonnement souscrit par l'utilisateur.
- L'AuC (Authentication Center) : Il est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication. Si une de ces deux fonctions n'est pas respectée, la communication est rejetée. L'AuC se base sur le HLR afin de récupérer les informations relatives à l'utilisateur et pour ainsi créer une clé d'identification.
- L'EIR (Equipment Identity Register) : Il est en charge de la gestion des vols des équipements usagers. Il est en possession d'une liste des mobiles blacklistés par un numéro unique propre à chaque équipement usager, le numéro IMEI (International Mobile station Equipment Identity).

II.5) LE DUPLEXAGE [9,3]

La liaison entre l'UE et la station de base est spécifique au sens de transmission entre ces deux entités. En effet, l'UE dispose typiquement d'une puissance d'émission inférieure à celle de la station de base, d'antennes moins performantes et de ressources de calcul moindres, qui limitent la complexité des traitements du signal mis en œuvre. On distingue ainsi deux voies de communication :

- la voie montante ou UL (UpLink), où l'UE transmet vers la station de base.
- la voie descendante ou DL (DownLink), où la station de base transmet vers l'UE.

Un autre élément caractérisant un système mobile est la technique de séparation entre la voie montante et la voie descendante. Cette technique est aussi appelée le duplexage. Deux modes de duplexage sont possibles.

- Dans le duplexage en fréquence ou mode FDD (Frequency Division Duplex), les voies montantes et descendantes opèrent sur des fréquences différentes.

FDD en UMTS utilise une bande passante de 5 Mhz pour la voie descendante, et une bande passante de 5 Mhz pour la voie montante. Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires.

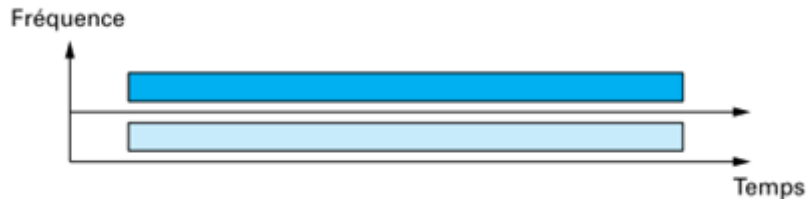


Figure II. 7 : FDD.

Dans le duplexage en temps ou mode TDD (Time Division Duplex), les voies montante et descendante opèrent sur les mêmes fréquences mais sont séparées dans le temps. Le mode TDD requiert une synchronisation temporelle entre les stations de base, exigeance parfois complexe à garantir d'un point de vue opérationnel.

TDD en UMTS n'utilise qu'une seule bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) utilisables aussi bien pour la voie montante que pour la voie descendante. Elle comprend donc une composante TDMA (Time Division Multiple Access) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits de services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

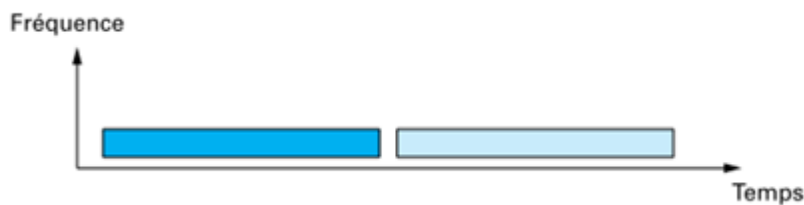


Figure II. 8 : TDD.

II.6) ORGANISATION TEMPORELLE [12]

L'organisation temporelle de l'UMTS est basée sur une super trame de 720 ms, composée elle-même de 72 trames de 10 ms et chaque trame est divisée en 15 slots de 667 μ s.

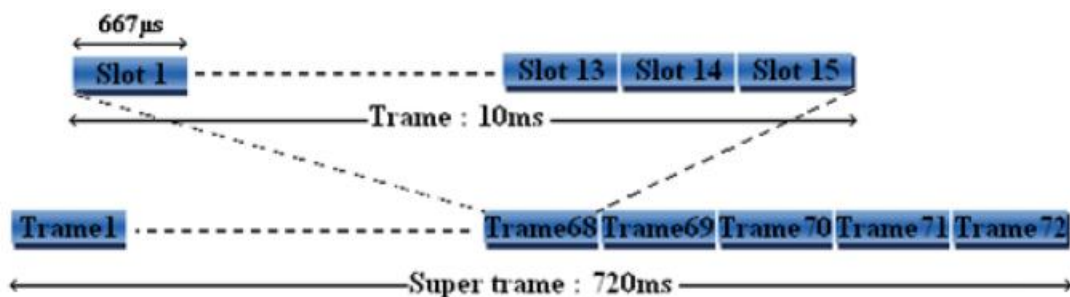


Figure II. 9 : Organisation temporelle de l'UMTS.

II.7) WCDMA [1]

L'UMTS a adopté un système CDMA nouveau, appelé W-CDMA, ou CDMA large bande, parce que les informations exploitées par l'utilisateur peuvent atteindre 2 Mbit/s, au lieu que quelques dizaines de kilobits par seconde pour les systèmes précédents.

II.7.1) Principe de l'étalement de spectre

Le W-CDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe (Direct Sequence). Pour cela, chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (OU exclusif) par un code pseudo aléatoire PN (Pseudo random Noise code) propre à cet utilisateur. La séquence du code (constituée de L éléments appelés "chips") est unique pour cet utilisateur, et constitue la clé de codage. Cette dernière est conservée si le symbole de donnée est égal à 1, sinon elle est inversée. La longueur L du code est appelée facteur d'étalement SF (Spreading Factor). Si chacun des symboles a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/L secondes.

Le nouveau signal modulé a un débit L fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences L fois plus étendue.

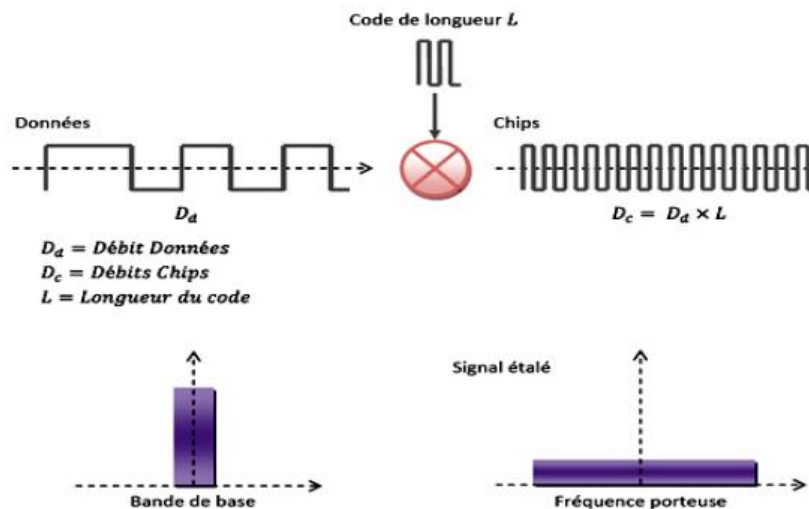


Figure II.10 : Principe d'étalement de spectre.

Afin de pouvoir lire le message envoyé, le récepteur doit réaliser la même opération. En effet, ce dernier génère la même séquence d'étalement qu'il multiplie au signal reçu afin d'obtenir les données. Les données des autres utilisateurs (pas de multiplication avec la séquence d'étalement) restent étalées.

II.7.2) Codes d'étalement

Chaque utilisateur possède un code, il est donc nécessaire de n'avoir aucune interférence entre ceux-ci. Pour cela, nous utilisons des codes orthogonaux dits codes OVVSF

(Orthogonal Variable Spreading Factor Code) afin de modifier le facteur d'étalement et de conserver l'orthogonalité des différents codes d'étalement. Ces codes sont définis par un arbre OVSF où chaque nœud possède deux fils. Les codes des deux fils sont issus du code de leur père commun, c'est-à-dire que leur code est composé par le code du père et de son complémentaire. L'arbre des codes OVSF ainsi créé peut être représenté sous la forme de la matrice de Hadamard.

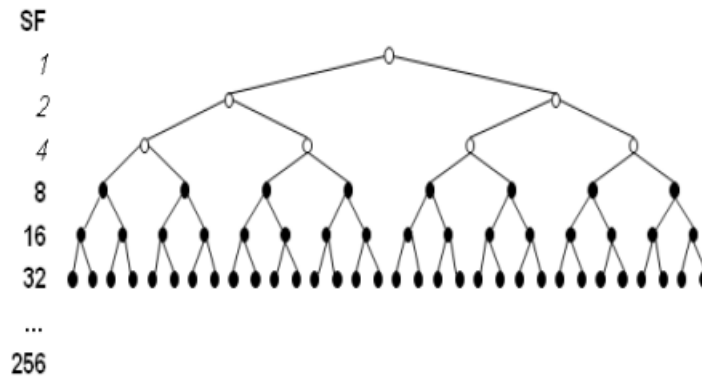


Figure II. 11 : Arbre des codes OVSF.

L'arbre ci-dessus, nous montre la relation entre le facteur d'étalement et le nombre de codes disponibles pour un étalement donné. Il est important de savoir que le facteur d'étalement SF détermine la longueur du code. Le nombre de bits du facteur d'étalement SF peut être égal à l'un de ces sept valeurs : 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256.

Dans un tel arbre, il n'est pas possible d'utiliser tous les codes OVSF simultanément. Comme nous l'avons vu, le code de chaque nœud est déterminé en fonction du code du nœud père. Cela implique donc que pour une branche, les codes ont une relation entre eux, ce qui empêche l'utilisation d'autres codes lorsque l'un d'entre eux est utilisé.

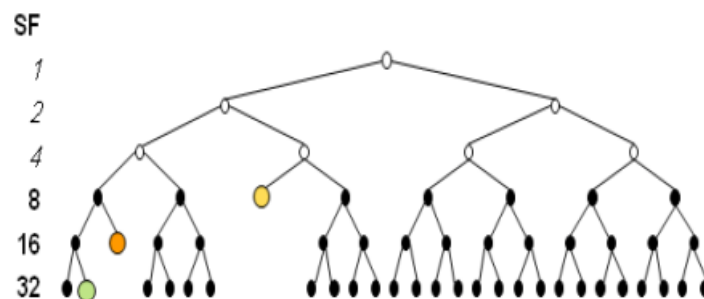


Figure II.12 : Utilisation des codes OVSF.

II.7.3) Embrouillage

L'embrouillage (scrambling), réalisé par l'émetteur, permet de séparer les différents signaux d'une même station de base ou d'un même terminal sans modifier ni le débit, ni la bande passante. Cela permet d'étaler un signal par plusieurs émetteurs avec le même code

d'étalement sans compromettre la détection des signaux par le récepteur. Il existe un arbre de codes d'étalement pour chaque code de scrambling, ce qui permet aux émetteurs d'utiliser leurs arbres de codes indépendamment.

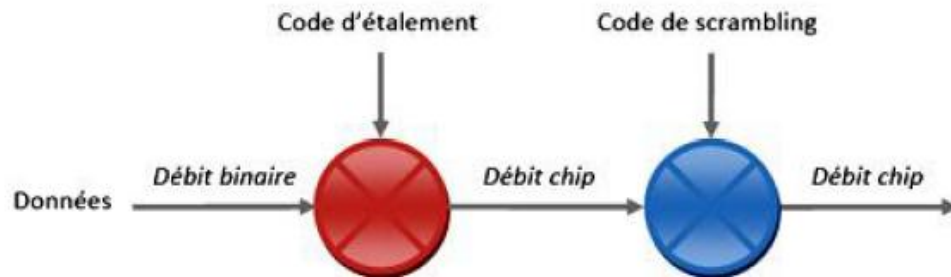


Figure II.13 : Mécanisme de scrambling.

Le tableau suivant dresse les différences entre les codes d'étalement et les codes de scrambling

Fonctionnalités	Code d'étalement	Code de scrambling
Famille de codes	OVSF	Gold
Utilisation	voie montante : Séparation des canaux de données d'un même terminal.	voie montante : Séparation des terminaux.
	voie descendante : Séparation des connexions des différents utilisateurs d'une même cellule.	voie descendante : Séparation des cellules

Tableau II .1 : Relations entre le code d'étalement et le code de scrambling.

II.8) Canaux radio de l'UMTS [1]

En UMTS nous distinguons trois types de canaux dont les canaux physiques véhiculent l'information sur l'interface radio, les canaux logiques sont définis par la nature de l'information transportée, et les canaux de transport sont définis par les caractéristiques de la transmission sur l'interface radio.

II.8.1) canaux logiques

Canal	Fonction
BCCH : Broadcast Control CHannel	Diffuse l'information relevant de la cellule ou des cellules voisines à l'UE
PCCH : Paging Control Channel	Utilisé pour pager les messages et les informations de notification
DCCH : Dedicated Control Channel	Utilisé pour transporter les informations de contrôle dédiées dans les deux directions
CCCH : Common Control Channel	Utilisé pour le transfert des informations de contrôle
DTCH : Dedicated Traffic Channel	Utilisé pour le transport des données utilisateur ou le trafic
CTCH : Common Traffic Channel	Utilisé pour transférer les informations dédiées de l'utilisateur à un groupe d'UE

Tableau II.2 : Canaux logiques.

II.8.2) canaux de transport

Canal	Fonction
DCH : Dedicated transport Channel	Utilisé pour le transfert des données à un UE particulier et chaque UE a son propre DCH dans chaque direction
BCH : Broadcast Channel	Diffuse l'information aux UE dans la cellule pour qu'il puisse identifier le réseau et la cellule
FACH : Forward Access Channel	Transporte les données ou les informations aux UE qui sont enregistrés dans le système
PCH : Paging Channel	Transporte les messages qui alertent le UE des appels entrant, SMS, messages et des sessions de données
RACH : Random Access Channel	Transporte les demandes de service des UE voulant accéder au système
CPCH : uplink Common Packet Channel	Fournit une capacité additionnelle au-delà de celle de RACH et est utilisé aussi pour le contrôle de puissance rapide
DSCH : Downlink Shared Channel	Partagé par les utilisateurs

Tableau II.3 : Canaux de transport.**II. 8.3) Canaux physiques**

Canal	Fonction
PCCPCH : Primary Common Control Physical Channel	Diffuse d'une façon continue les identifications du système et les informations de contrôle d'accès
SCCPCH : Secondary Common Control Physical Channel	Transporte le FACH et le PACH
PRACH : Physical Random Access Channel	Permet à l'UE de transmettre les bursts d'accès aléatoire pour l'accès au réseau
DPDCH : Dedicated Physical Data Channel	Utilisé pour le transfert des données utilisateur
DPCCH : Dedicated Physical Control Channel	Transporte les informations de contrôle vers et de l'UE.
PDSCH : Physical Downlink Shared Channel	Partage le contrôle d'information pour les UE
PCPCH : Physical Common Packet Channel	Utilisé pour le transport des paquets des données.
SCH : Synchronisation Channel	Utilisé pour permettre la synchronisation des UE avec le réseau.
CPICH : Common Pilot Channel	Transmet par chaque NodeB et par la suite l'UE pourra estimer le temps de la démodulation du signal.
AICH : Acquisition Indicator Channel	Fournit les informations pour l'UE sur le DCH et peut être utilisé pour communiquer avec le NodeB.
PICH : Paging Indicator Channel	Fournit les informations pour l'UE pour opérer son mode sleep pendant l'écoute du canal PCH.
CSICH : CPCH Status Indicator Channel	Transporte l'état du CPCH et fonctionne dans un mode similaire du PICH.
CD/CA-ICH : Collision Detection / Channel Assignment Indicator Channel	Indique si le canal d'assignation est actif ou non pour l'UE.

Tableau II.4 : Canaux physiques.

II.9) CONTROLE DE PUISSANCE [12]

Comme dans tous les systèmes cellulaires, l'effet de la distance entre le mobile et l'émetteur peut induire un brouillage des mobiles les plus éloignés du centre d'une cellule par ceux qui sont proches du site d'émission-réception. Les signaux émis par ces différents mobiles avec la même puissance arrivent en effet au niveau des récepteurs avec des amplitudes très différentes. Dans un système CDMA, cet effet, du fait que ces mobiles émettent en même temps sur la même fréquence, est beaucoup plus perturbateur que dans un système analogique où il suffisait d'écarter les fréquences utilisables dans une même cellule. Le CDMA ne fonctionne de manière optimale que si les signaux reçus par une station de base sont tous à peu près de même niveau, de manière à ce que tous les codes puissent être également décodés. Il est donc nécessaire d'introduire un contrôle dynamique de puissance sur le canal montant.

La solution retenue par le W-CDMA est le contrôle de puissance rapide en boucle fermée. Pour chacun des mobiles, 1 500 fois par seconde, la station de base mesure le rapport signal/interférences et compare cette mesure à une valeur cible prédéfinie. En fonction du résultat, la station demande au mobile d'augmenter ou de diminuer sa puissance d'émission. Cette méthode est également utilisée dans le sens descendant, pour s'assurer que les mobiles en limite de cellule reçoivent un niveau juste suffisant pour une bonne qualité, sans perturber les mobiles les plus proches de la station.

Pour assurer une qualité constante (caractérisée par la valeur du taux d'erreur, le BER : Bit Error Rate), quelles que soient les conditions de communication, notamment quelle que soit la vitesse de déplacement du mobile, le seul contrôle de puissance en boucle fermée décrit ci-avant n'est pas optimal. En effet, si on veut qu'il soit efficace pour tous les types de mobiles, il doit traiter le pire cas, au risque de pénaliser la capacité du réseau par un paramétrage trop prudent, avec un rapport signal/interférences moyen trop élevé. Le contrôle de puissance en boucle externe a été introduit dans le système UMTS pour permettre de laisser le rapport signal/interférences cible à une valeur faible, suffisante pour les mobiles lents ou immobiles et de l'augmenter seulement pour les mobiles à grande vitesse de déplacement. Pour cela, la station de base ajoute un indicateur de qualité à chaque trame de données reçue sur le sens montant. Si cet indicateur montre que la qualité de transmission est en baisse, le réseau commande à la station de base d'augmenter la valeur du rapport signal/interférences cible. Cette fonctionnalité est commandée par le contrôleur de réseau radio (RNC) car elle doit pouvoir être assurée en permanence, même pendant un transfert intercellulaire.

II.10) Transfert intercellulaire [3]

Dans un réseau CDMA, il est courant que les fréquences utilisées dans des cellules consécutives soient identiques. D'une manière générale, le handover va être effectué en analysant trame par trame le signal reçu des deux cellules impliquées, et la meilleure trame sera retenue (figure II.14). Ainsi, progressivement, le nombre de trames traitées par la cellule d'accueil devient prépondérant devant le nombre de trames traitées par la cellule cédante. Le handover s'effectue « en douceur ». On dit qu'il s'agit d'un soft handover.

Contrairement au mécanisme de handover traditionnel, tel que rencontré dans un réseau analogique ou GSM, il n'y a pas d'interruption de la communication, même de très courte durée.

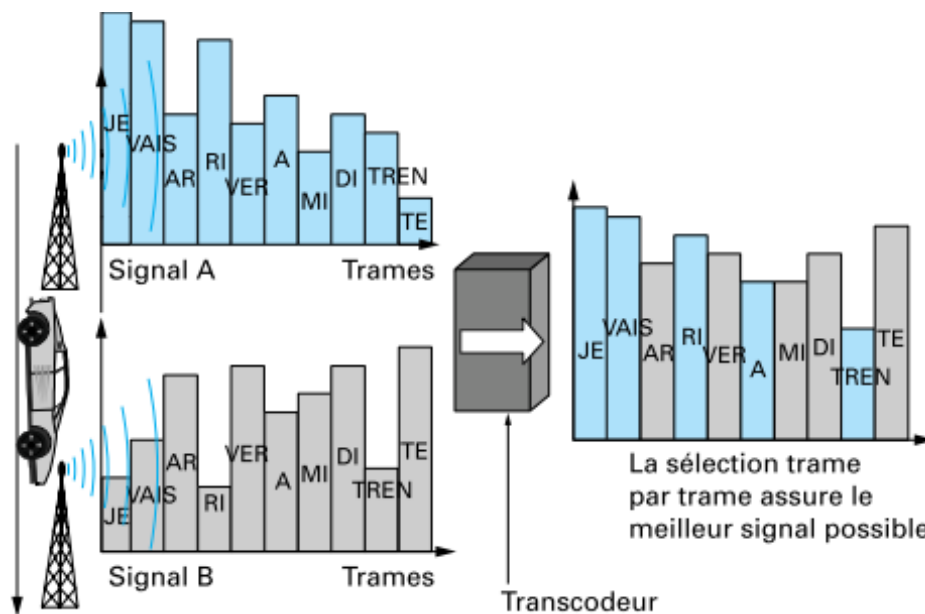


Figure II.14 : Handover en douceur. Sélection trame par trame

➤ Softer et soft handovers

Dans un système W-CDMA, on distingue le cas où le mobile reste dans la zone couverte par une station de base en changeant juste de secteur (softer handover) et le cas où il change de station de base (soft handover).

La figure II.14 montre le principe d'un softer handover. Le mobile étant en communication avec une seule station de base, il utilise simultanément deux canaux radio. Dans le sens descendant, deux codes d'étalement sont activés pour que le mobile distingue les signaux issus des deux secteurs. Dans le sens montant, les signaux émis par le mobile sont reçus par les deux secteurs de la station de base et dirigés vers le même récepteur. Ils sont donc combinés au niveau de la station de base.

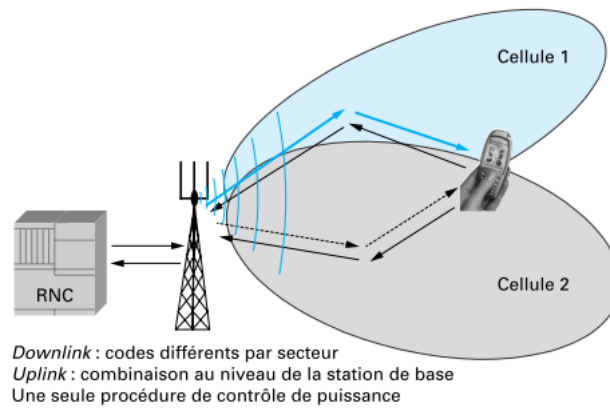


Figure II.15 : Softer handover.

La figure II.15 de montre le principe du soft handover. Le mobile est cette fois dans la zone de couverture qui est commune à deux stations de base. Les communications utilisent deux canaux différents, un pour chacune des deux stations. Du côté du mobile, il n'y a pas de différence avec un softer handover. Dans le sens montant, par contre, les données sont combinées au niveau du contrôleur de réseau radio (RNC) et non plus de la station de base. Cela permet de sélectionner la meilleure trame parmi celles qui sont reçues, après chaque période d'entrelacement, toutes les 10 à 80 ms.

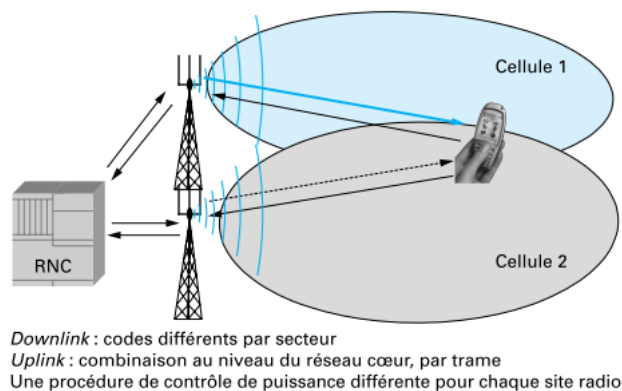


Figure II.16 : Soft handover.

➤ Autres types de handovers

En dehors des handovers en douceur qui viennent d'être décrits et qui sont les plus courants, on rencontre dans un système WCDMA deux autres types de transfert intercellulaire, qu'on appelle hard handovers par opposition aux mécanismes précédents :

- le handover interférence, lorsque le mobile passe dans une cellule où les fréquences sont différentes de celles qu'il quitte.

- le handover intersystème, quand le mobile change de système, par exemple pour quitter une plaque UMTS et entrer dans une plaque GSM, ou plus simplement pour passer du mode FDD au mode TDD.

II.11) L'EVOLUTION D'UMTS [9]

L'UMTS connaît deux évolutions majeures que nous présentons brièvement dans les sections suivantes :

- Le HSPA (High Speed Packet Access).
- Le HSPA+ (High Speed Packet Access+).

Les évolutions HSPA

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

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

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

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

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

Phase Shift Keying) utilisée en Release 99. Enfin, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ (Hybrid Automatic Response reQuest), est défini entre l'UE et la station de base, afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets. Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximaux de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite.

Les évolutions HSPA+

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

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

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

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

- les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système.
- la gestion des utilisateurs always-on.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008). L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DC-HSDPA (Dual Carrier – HSDPA). Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés. De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales.

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

II.12) COMPARAISON DES TECHNOLOGIES DE LA 3G [9]

Le tableau illustre une comparaison des technologies UMTS Release 99, HSPA et HSPA+ Release 8

	UMTS Release 99	HSPA	HSPA+ Release 8
Débit maximal UL	384 Kbit/s	5,8 Mbit/s	11,5 Mbit/s
Débit maximal DL	2Mbit/s	14,4 Mbit/s	42 Mbit/s
Latence	250 ms	70 ms	30 ms
Largeur de canal	5 MHz	5 MHz	5 MHz avec possibilité de deux canaux simultanés.
Technique d'accès Multiples	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation DL	QPSK	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Modulation UL	BPSK	BPSK, QPSK	BPSK, QPSK, 16QAM
Bandes de fréquences usuelles (MHz)	900/2100	900/2100	900/2100

Tableau II.5 : une comparaison des technologies de la 3G.

II.13) CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons introduit le réseau UMTS et son évolution vers les systèmes HSDPA et HSDPA+, avec une description des constituants du réseau cœur, du réseau d'accès radio UTRAN et des deux domaines de commutation circuit CS et paquet PS. Nous avons aussi abordé les techniques de multiplexage et d'embrouillage CDMA ainsi que les mécanismes de contrôle de puissance et de transfert intercellulaire utilisées dans ces types de réseaux.

CHAPITRE III :
RÉSEAUX RADIO-MOBILES
QUATRIÈME GÉNÉRATION

III.1) INTRODUCTION

Toujours en cours de recherches et de standardisation, le réseau 4G (4^{ème} génération) est proposé comme évolution des réseaux mobiles 3G. Ce réseau a également pour objectif d'abolir les frontières de la mobilité. Avec le réseau 4G, un utilisateur pourra se connecter où qu'il se trouve : à l'intérieur des bâtiments avec les technologies Bluetooth, WiFi..., à l'extérieur (dans la rue et les lieux publics) avec l'UMTS ou le WiMAX... En général, le passage d'un réseau à l'autre deviendra transparent pour l'utilisateur.

Les débits supposés sont entre 20 et 100 Mb/s à longue portée et en situation de mobilité, et 1 Gb/s à courte portée vers des stations fixes.

Par définition, la 4G assure la convergence de la 3G avec les réseaux de communication radio fondés sur le protocole IP. La connexion devra être possible quel que soit le mode de couverture.

L'institution internationale de standardisation ITU (Union Internationale des Télécoms) n'a toujours pas donné de définition à la 4G. Les trois technologies supposées comme candidates potentielles pour une validation 4G sont :

- Long Term Evolution (LTE) poussée par les Européens, avec Ericsson en tête suivi de Nokia et Siemens...
- WiMAX version 802.16m soutenu par Intel sachant que le WIMAX a été ajouté à la liste des standards 3G par l'ITU le 19/10/2007.
- Ultra Mobile Broadband (UMB) soutenu par le fondateur américain Qualcomm (fabriquant des puces).

III.2) ARCHITECTURE DU LTE [8]

LTE : Long Terme Evolution (connu sous le nom de la 4G), est la dernière technologie sans fil apparue. La 3GPP a défini cette technologie comme release 8 suite au succès qu'a connu les réseaux UMTS/HSPA. Elle est basée sur des techniques radios telles que l'OFDMA et le MIMO permettant le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur et une latence plus faible.

III.2.1) Architecture générale

La figure ci-dessous décrit l'architecture globale du réseau, en incluant non seulement le réseau Cœur et le réseau d'accès, mais aussi d'autres blocs, et cela dans le but de montrer la relation entre eux. Pour une simplification, la figure montre seulement les interfaces de signalisation. Dans des cas, les deux (signalisation et DATA) sont supportés par les interfaces (comme S1, S2 ou 3G PS Gi interfaces) mais, dans d'autres cas les interfaces sont dédiés pour les plans de contrôle, et ne supportent que les signalisations (comme les interfaces S6 et la

S7). Les nouveaux blocs spécifiés pour le LTE, connu aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN).

D'autres blocs sont également affichés, comme l'UTRAN (le réseau d'accès de l'UMTS), les deux parties PS et CS du réseau cœur, reliés respectivement, au réseau d'IP public (ou privé) et au réseau du téléphone. L'IMS (IP Multimedia Subsystem) est localisé au sommet de la parties cœur et fournit l'accès aux réseaux IP publique et privé, et le réseau public du téléphone via les entités du réseau Media Gateway.

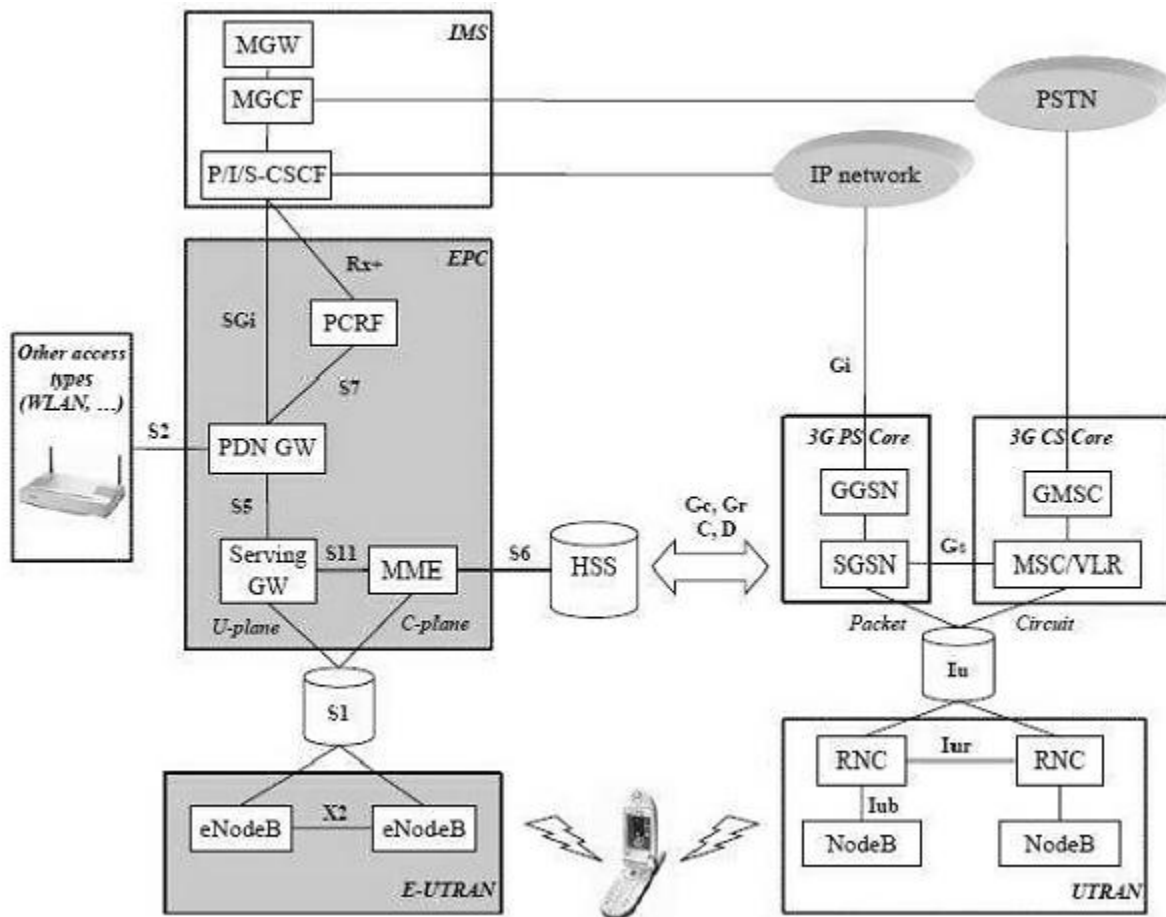


Figure III.1 : Architecture général du LTE

III.2.2) Réseau d'accès (Access Network)

III.2.2.1) Caractéristiques

III.2.2.1.1) Débit de l'interface radio

L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum instantané de 100 Mbit/sen considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum instantané de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20MHz pour le sens montant. Les technologies utilisées sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single

Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens montant. Cela correspond à une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.

III.2.2.1.2) Connexion permanente

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

III.2.2.1.3) Délai pour la transmission de données

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

III.2.2.1.4) Mobilité

Assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer (la LTE ne permet que le hard handover et non pas le soft handover) dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.

III.2.2.1.5) 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. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre la LTE et la 2G/3G est toujours possible. Le handover pourra aussi s'effectuer entre la LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs CDMA évolueront aussi vers la LTE qui devient le vrai standard de communication mobile de 4ème génération.

III.2.2.1.6) Flexibilité dans l'usage de la bande

E-UTRAN doit pouvoir opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20MHz.

III.2.2.1.7) Support du multicast

Notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast.

III.2.2.1.8) Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales

Comme la LTE pourra opérer sur des bandes de fréquences diverses et notamment basses comme celle des 700 MHz, il sera possible de considérer des cellules qui pourront couvrir un large diamètre.

III.2.2.2) Les entités du réseau d'accès(E-UTRAN) :

La seule entité présente dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilé à un NodeB+RNC.

L'eNodeB est le responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.

A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentes les entités Node B et RNC, l'architecture eUTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/SGW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur.

L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et la MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et la SGW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre les eNodeBs adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (Handover). Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE.

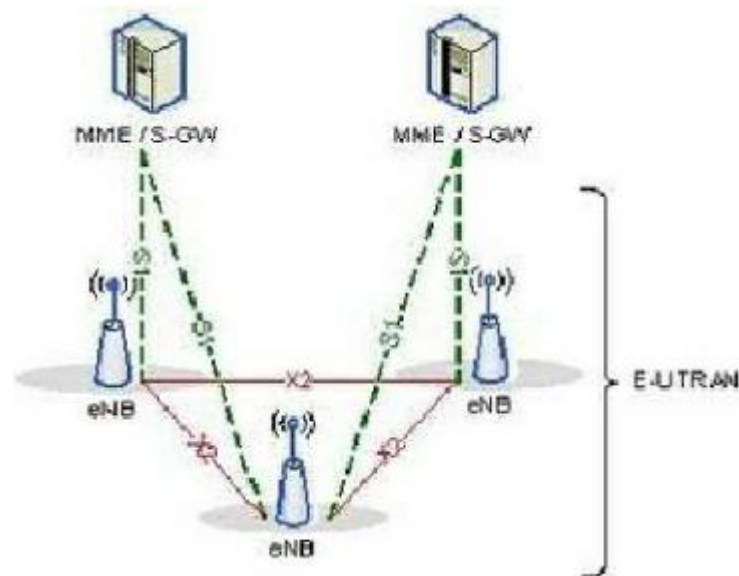


Figure III.2 : Architecture de l'E –UTRAN

III.2.3) Réseau cœur (Core Network)

III.2.3.1) Caractéristiques

En effet, la SAE est le nom d'une étude où la 3GPP industrie développe une structure pour une évolution et migration des systèmes courants à un système qui supporte des technologies d'accès multiples, avec un plus haut taux de données et basé sur la commutation de paquets. Alors que l'EPC (Evolved Packet Core) ou le CPE est le nom du réseau cœur évolué.

À la différence des réseaux 2G et 3G où l'on distinguait les domaines de commutation de circuit (CS, Circuit Switched) et de commutation de paquet (PS, Packet Switched) dans le réseau cœur, ce nouveau réseau quant à lui ne possède qu'un domaine paquet appelé EPC. Ainsi, tous les services devront être offerts sur IP y compris ceux qui étaient auparavant offerts par le domaine circuit tels que la voix, la visiophonie, le SMS, etc.

L'EPC fonctionne en situation de roaming en mode « home routed » ou en mode « local breakout ». Autrement dit lorsqu'un client est dans un réseau visité, son trafic de données est soit routé à son réseau nominal qui le relaye par la suite à la destination (home routed) ou directement routé au réseau de destinataire sans le faire acheminer à son réseau nominal (local breakout). Il est possible de faire acheminer le trafic de l'EPC vers l'accès LTE, CDMA-2000 (paquet), 2G(paquet) et 3G (paquet) et ainsi garantir le handover entre ces technologies d'accès. L'EPC supporte les Default bearers et les Dedicated bearers, c'est-à-dire lorsque l'utilisateur se rattache au réseau EPC, ce dernier lui crée un défaut bearer qui représente une connectivité permanente tant que l'utilisateur est rattaché au réseau mais sans débit garanti. Quand l'utilisateur souhaitera établir un appel qui requiert une certaine qualité de service telle que l'appel voix ou visiophonie, le réseau pourra établir pour la durée de l'appel un dedicated bearer qui supporte la qualité de service exigée par le flux de service et surtout qui dispose d'un débit garanti afin d'émuler le mode circuit.

Enfin, l'EPC supporte le filtrage de paquet par exemple pour la détection de virus et une taxation évoluée basée sur le service accédé par le client en termes du volume, de la session, de la durée, de l'événement, du contenu, etc.

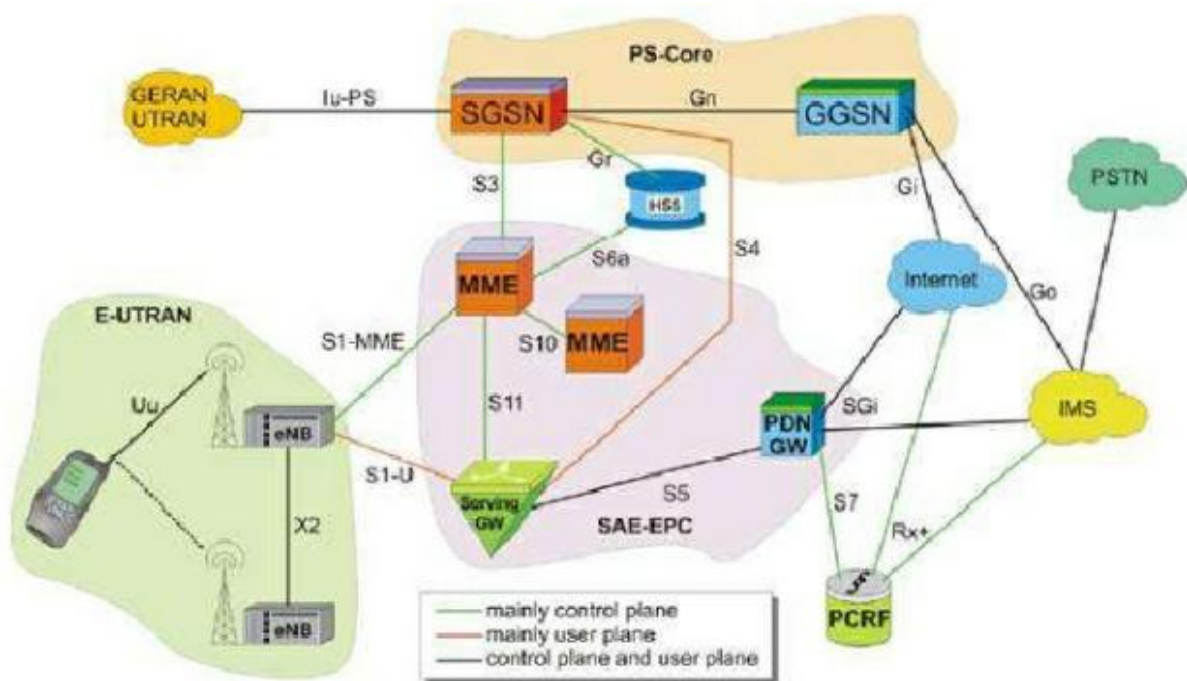


Figure III. 3 : Vue globale du réseau cœur EPC.

III.2.3.2) Les entités du réseau cœur

Le réseau cœur évolué EPS consiste comme le montre la figure 3-3 en les cinq principales entités énumérées ci-dessous:

III.2.3.2.1) Mobility Management Entity

Entité de gestion de mobilité, **MME** : la MME est le nœud principal de contrôle du réseau d'accès.

LTE/SAE. Elle manipule un certain nombre de fonctionnalités telles que:

- Le suivi des UE Mode Inactif (idle).
- L'activation / désactivation du Bearer.
- Le choix du SGW pour un UE.
- Le handover Intra-LTE impliquant la location du nœud du réseau d'accès.
- L'interaction avec le HSS pour authentifier un utilisateur en attachement et implémentation des restrictions d'itinérance.
- Elle agit comme un licenciement pour la Non-Access Stratum (NAS).
- Elle Fournit des identités temporaires pour les UEs.
- La SAE/MME agit en point de terminaison pour le chiffrement de protection des NAS de signalisation. Dans le cadre de cela, il s'occupe également de la gestion de la clé de sécurité. En conséquence, la MME est le point où l'interception légale de signalisation peut être effectuée.
- La procédure de Paging.

- L'interface S3 se terminant dans la MME fournit ainsi la fonction de plan de contrôle de mobilité entre les réseaux d'accès LTE et 2G/3G.
- Le MME/SAE termine également l'interface S6 pour le HSS pour l'itinérance UEs.
- La MME/SAE fournit un niveau considérable de fonctionnalités de contrôle global.

III.2.3.2.2) Serving Gateway (SGW)

La passerelle de service SGW, est un élément plan de données au sein de la LTE/SAE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network, RAN et le réseau cœur. La SGW maintient également les chemins de données entre les eNodeBs et les passerelles PDN. De cette façon le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodeBs différentes, la SGW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu.

III.2.3.2.3) PDN Gateway (PGW)

La passerelle LTE/SAE PDN assure la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE. L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l'accès à des PDNs multiples.

III.2.3.2.4) Home Subscriber Server (HSS)

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

III.2.3.2.5) Policy and Charging Rules Function (PCRF)

La PCRF est le nom générique de l'entité au sein de la LTE SAE/EPC qui détecte les flux de service et applique la politique de tarification. Pour les applications qui nécessitent une politique dynamique de tarification ou de contrôle, un élément du réseau intitulé Applications Function, AF est utilisée.

Le but est d'entrer dans les détails de l'architecture du LTE et plus particulièrement l'E-UTRAN. Pour ce faire et on décrira avec détail les entités fonctionnelles du réseau ainsi que les interfaces et protocoles. On s'intéressera plus à l'interface radio du réseau.

III.2.4) Architecture générale

La figure III.4 présente une vue simplifiée de l'architecture EPS. Tous les nœuds et interface du réseau y sont représentés. Elle met en lumière les interactions et signalisations au niveau usager ainsi que la connectivité data et l'aspect architectural.

L'interface X2 ne doit pas être vue comme une simple interface point-a-point entre deux eNodeBs, mais plutôt comme une interface maillée. Cette interface optionnel a été défini dans le but de transporter les paquets entre eNodeBs et de limiter les pertes de paquets dans le cas d'une mobilité d'utilisateur Intra E-UTRAN.

L'interface S1 à son tour, n'est pas une simple interface entre un eNodeB et un MME/Serving Gateway, puisque un eNodeB peut être connecté à un ou plusieurs MME. Cette flexibilité est connue sous le nom de S1-flex (équivalent à l'Iu-flex 3G/UMTS). Puisque le MME et le Serving GW sont déployés dans des boîtes physiques séparées, l'interface S1 est divisée en deux parties :

- L'interface S1-U (Pour le plan usager) qui transporte les données utilisateur entre l'eNodeB et le Serving GW.
- L'interface S1-C (Pour le plan de contrôle) qui transporte uniquement la signalisation entre l'eNodeB et le MME.

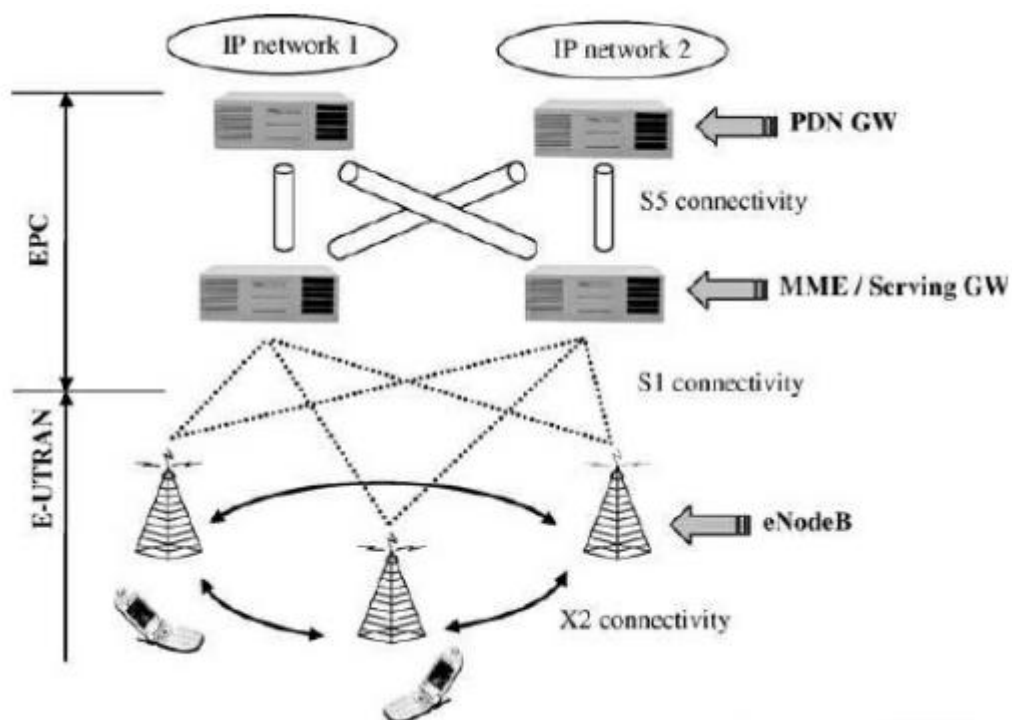


Figure III.4 : Architecture de l'EPS– Les connectivités dans le plan usager et contrôle

III.3) INTERFACE RADIO DE LTE EN RELEASE 8 : OFDMA [4]

La Release 8 du système EPS introduit le réseau d'accès évolué (E-UTRAN) et son élément unique, l'eNode B, ainsi qu'une toute nouvelle interface radio (E-UTRA) basée sur l'accès multiple à répartition en fréquences, OFDMA dans le sens descendant et SC-FDMA ou DFTS-OFDMA dans le sens montant. En outre, les mécanismes d'ordonnancement (scheduling), de retransmission rapide HARQ ainsi que la technique MIMO introduits par le HSPA et son évolution HSPA+ sur l'interface radio du système UMTS sont repris pour celle du système EPS.

Accès multiples OFDMA et SC-FDMA ou DFTS-OFDM.

L'interface radio du système EPS est marquée par la disparition de l'accès multiple à répartition en codes CDMA au profit de l'accès multiple à répartition en fréquences orthogonales OFDMA. La technique OFDMA est particulièrement adaptée à un canal radio sélectif en fréquence (frequency selective channel) et aux très hauts débits.

- Accès multiple à répartition en fréquences orthogonales OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Dans le sens descendant qui se caractérise par sa robustesse contre l'interférence multi-trajets et son affinité avec les techniques avancées telles que MIMO.

- Accès multiple à répartition en fréquences avec porteuse unique SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) également appelé DFTS-OFDMA (Discrete Fourier Transform Spread – OFDMA) dans le sens montant.

La technique OFDMA permet de transformer un canal radio sélectif en fréquence et doté d'une large bande de fréquences en un ensemble de canaux radio à bande étroite (ou sous porteuses) grâce à l'usage d'un préfixe cyclique CP (Cyclic Prefix) qui permet, dans les deux sens de transmission, d'assurer l'orthogonalité dessous-porteuses même en présence de canaux multi trajets.

Sur l'interface radio, un symbole OFDMA est transmis avec une durée de symbole relativement longue ($66,6 \mu s$) pour une sous-porteuse de largeur de bande relativement étroite (15 kHz). Le 3GPP a fixé deux longueurs de préfixes cycliques : court ($4,7 \mu s$) et long ($16,7 \mu s$).

III.4) APPLICATION DE MIMO AU SYSTEME EPS : MIMO 2x2, 2x4, 4x2 ET 4x4 [4]

La technique MIMO, introduite dans le cadre de l'évolution HSPA+, est supportée par le système EPS avec deux ou quatre antennes en émission et deux ou quatre antennes en réception, ce qui permet de transmettre jusqu'à quatre flux de données en parallèle et donne lieu à plusieurs configurations (figure III.5) :

- SU-MIMO (Single-User – Multiple Input Multiple Output) consiste pour l'eNode B à allouer un ou deux flux à un utilisateur unique sélectionné par le réseau d'accès E-UTRAN. Cette configuration apporte un gain en débit maximal théorique significatif dans des conditions de rapport signal et interférence sur bruit (SINR) élevé.
- MU-MIMO (Multi-User – MIMO) consiste à allouer un ou deux flux à différents utilisateurs. Dans le sens descendant, cette configuration améliore le débit maximum théorique notamment en bordure de cellule où le rapport signal et interférence sur bruit est faible. Dans le sens montant, MU-MIMO permet de limiter la complexité du terminal mobile de par l'utilisation d'une seule antenne en émission (1 Tx). Les configurations SU-MIMO, MU-MIMO et la diversité de transmission TxDiv sont possibles dans le sens descendant alors que seule la configuration MU-MIMO est supportée dans le sens montant. La spécification R8 décrit l'application de la technique MIMO au système EPS. Dans le sens descendant, un ou deux flux (ou mots de code) sont embrouillés (scrambling) et modulés (avec un schéma de modulation QPSK, 16-QAM ou 64-QAM) puis subissent deux opérations (figure III.5)

:

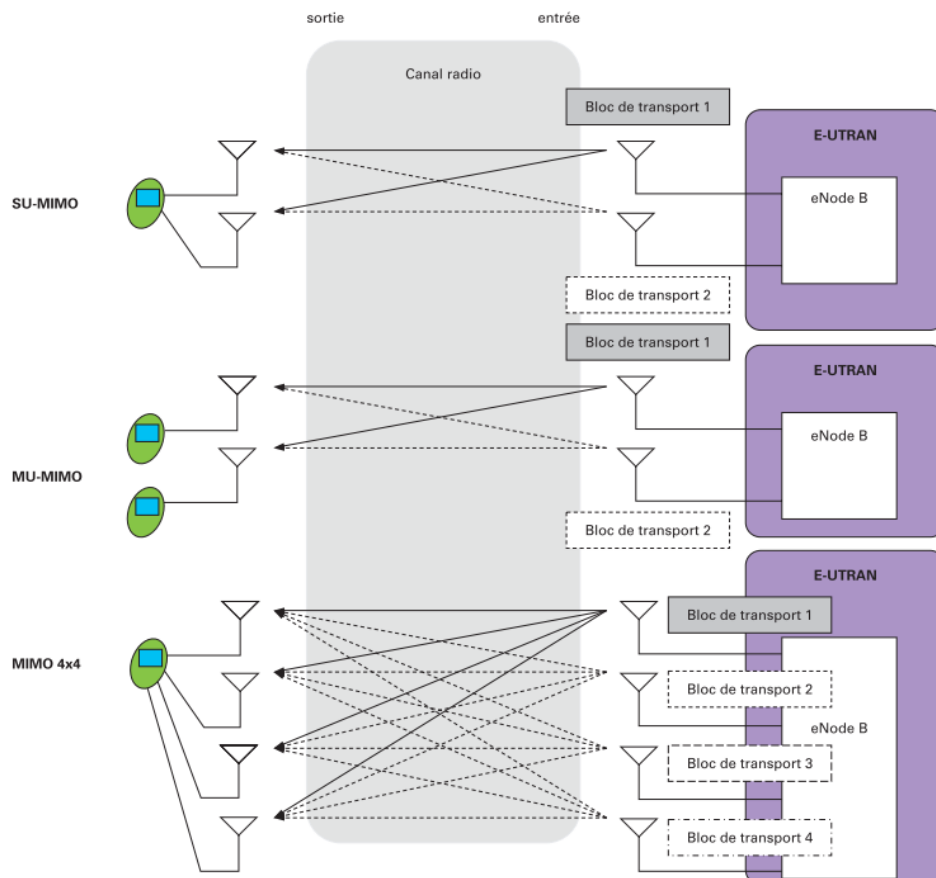


Figure III.5 : Techniques SU-MIMO, MU-MIMO et MIMO 4x4 appliquées au système EPC

III.5) CONTROLE DE PUISSANCE [8]

Afin de s'adapter aux changements dus aux interférences intercellulaires ou de correction des pertes ou des erreurs des amplificateurs de puissance, le LTE adopte un système de contrôle de puissance. Comme il est indiqué à la Figure III. 6, le UE transmette la puissance, exprimée en dBm, est fixé comme suit:

$$P = \min (P_{\max}, P_0 + 10^\circ \log_{10} M + \alpha \cdot L + \Delta_{\text{mcs}} + f(\Delta_i))$$

Avec : P_{\max} est la puissance d'émission maximale UE P_0 est un paramètre spécifique UE (Éventuellement spécifique des cellules) M est le nombre des ressources affectées blocs (BPR) à un certain utilisateur α est le facteur de compensation des pertes L est la mesure de chemin de liaison descendante en se basant sur PDL Δ_{mcs} est un paramètre spécifique d'UE -spécifiques signalée par couches supérieures Δ_i est une valeur spécifique de correction de gros en boucle valeur avec une augmentation relative ou absolue en fonction de $f()$.

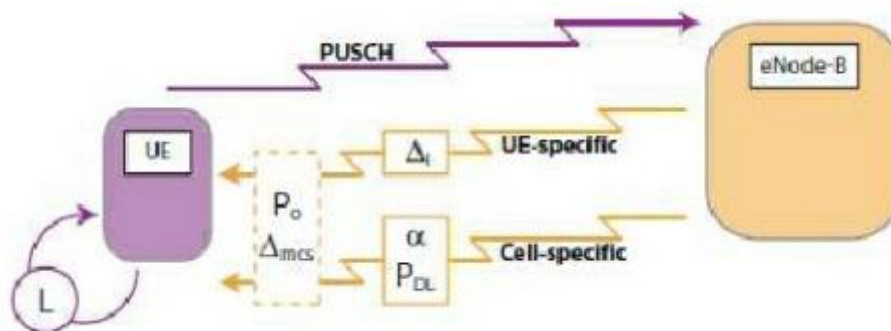


Figure III. 6 : Contrôle de puissance

La signalisation du contrôle de puissance. Le contrôle de puissance cherche généralement à maximiser la puissance reçue de signaux souhaités tout en limiter les perturbations. Les terminaux qui sont plus loin de la cellule voisine peuvent transmettre avec plus de puissance que les terminaux qui sont à proximité de la cellule. L'orthogonalité des porteuses dans LTE permet la transmission de signaux avec différents puissance dans la même cellule. À court terme, cela signifie qu'au lieu de compenser les pics de multipath fading par réduction de puissance, on peut exploiter ces pics d'augmenter le taux de données au moyen de planification et adaptation de liaison.

III.6) LA VoLTE

La VoLTE (Voice over LTE) donne enfin de la voix en 4G. Ericsson annonce les premiers lancements commerciaux de services VoLTE en Corée du Sud et aux Etats-Unis, permettant de diffuser des services voix sur la 4G, et non plus seulement des services data. Le développement de la 4G LTE a longtemps été contraint par les difficultés pour s'accorder sur les caractéristiques de services VoLTE et le moyen de les intégrer sur un réseau mobile optimisé pour les transmissions data. Les opérateurs mobiles au part avant offrant des accès LTE réutilisent leurs

réseaux 2G ou 3G (UMTS) pour prendre en charge les appels vocaux de leurs abonnés via une procédure appelée « CSFB »(Circuit-Switch-Fall-Back).

Les premiers réseaux LTE commerciaux doivent d'ailleurs dissocier les usages, avec la 4G servant uniquement pour les services data, les services voix étant gérés en 2G et 3G, ce qui n'est pas sans poser de problème puisqu'il n'est généralement pas possible de faire les deux en même temps, l'appareil mobile doit basculer vers l'un ou l'autre réseau en fonction de l'usage, voire passant en 2G/3G s'il doit être amené à gérer les deux services en même temps, même si de la 4G est disponible. Les choses devraient changer avec le lancement des premiers services VoLTE commerciaux annoncés par l'équipementier télécom Ericsson sur certains marchés. Ericsson indique de travailler étroitement avec les fabricants de terminaux et de puces mobiles pour garantir la compatibilité des matériels avec ses solutions VoLTE et assurer le bon fonctionnement des équipements lors du déploiement de la VoLTE chez les opérateurs. Ces services sont l'une des briques manquantes à la 4G LTE avant son déploiement massif et qui imposait des solutions hybrides et consommatrices en énergie. En assurant des services voix et data sur la 4G en simultané, les services VoLTE renforcent aussi l'optimisation des ressources spectrales initiée avec LTE par rapport aux technologies 2G et 3G. Il faut encore que les smartphones et tablettes soient compatibles.

III.7) RESEAU WiMAX [7, 15]

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une solution pour des réseaux MAN sans fil. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mb/s avec une distance de 50 km.

WiMAX se sert de la technologie micro onde avec plusieurs bandes de fréquences.

WiMAX couvre des zones géographiques importantes sans la contrainte d'installation d'infrastructures coûteuses pour faire parvenir la connexion jusqu'à l'utilisateur.

III.7.1) WiMAX mobile

Le WiMAX mobile (Standard IEEE 802.16e) est la version qui apporte la mobilité au WiMAX fixe tout en restant interopérable avec celui-ci. A partir d'une station de base (BS) vers des clients mobiles (MS) se déplaçant à moins de 120 km/h en passant d'une antenne à l'autre, l'IEEE 802.16e prévoit la transmission de données à des débits allant jusqu'à 30 Mb/s sur une zone de couverture d'un rayon inférieur à 3,5 km. Pour bénéficier des services de cette technologie, les équipements mobiles devront intégrer un composant dédié.

Au niveau de l'interface physique, IEEE 802.16e utilise la méthode d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qui permet d'adapter les canaux de manière dynamique.

III.7.2) Architecture du WiMAX mobile

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

L'IEEE 802.16e est composé aussi du NAP (Network Access Provider) qui est l'entité responsable de fournir l'infrastructure nécessaire pour l'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services. Elle contrôle un ou plusieurs ASN (Access Service Network) qui est formée d'une ou plusieurs BS, et d'un ou plusieurs ASN-GW.

La dernière composante de l'IEEE 802.16e est le NSP (Network Service Provider). Cette entité fournit l'accès au réseau IP et offre aux abonnés l'accès aux services réseau. Le NSP contrôle un ou plusieurs CSN (Connectivity Service Network) qui est le cœur du réseau WiMAX.

Les fonctions des différents éléments formant l'architecture du réseau WiMAX mobile sont décrites ici :

- Network Access Provider (NAP) :

Une entreprise qui fournit l'infrastructure d'accès radio à un ou plusieurs fournisseurs de services de réseau.

- Network Service Provider (NSP) :

- Une entité qui fournit la connectivité IP et les services réseau aux abonnés compatibles avec le niveau de service établi. Pour fournir ces services, un NSP établit des ententes contractuelles avec un ou plusieurs programmes d'action nationaux.

- Un NSP peut également établir des accords de Roaming avec d'autres fournisseurs de services réseau et des ententes contractuelles avec des tiers fournisseurs de l'application (par exemple ASP) pour fournir des services IP aux abonnés.

- Connectivity Serving Network (CSN) :

Représentation logique des fonctions du NSP, par exemple :

- Raccordement à Internet.

- Authentification, autorisation et gestion.

- Gestion de l'adresse IP. - Mobilité et Roaming entre ASNs.

- Gestion de la politique et de la QoS fondée sur le SLA (Service Level Agreement).

Elle contient des éléments de gestion comme le DHCP, l'AAA, l'HA, etc.

- Access Serving Network (ASN) :

Représentation logique des fonctions du NAP, exemple :

- Interface d'entrée au réseau 802.16.
- Gestion des ressources radio et contrôle d'admission.
- Gestion de la mobilité.
- QoS et politique de renforcement.
- Acheminement pour la sélection de CSN.

Elle contient une ou plusieurs stations de bases responsables de la communication avec les abonnés, et un ou plusieurs ASN-GW qui constituent une passerelle qui assure la connexion des BSs avec le CSN.

- ASN Gateway (ASN GW) :

Élément du réseau WIMAX qui agit comme une entité logique dans le système WIMAX. Il sert à représenter une agrégation du plan de contrôle des entités fonctionnelles avec la fonction correspondante dans l'ASN ou la fonction résidente dans le CSN, ou une autre fonction dans l'ASN.

Fonctionnalités de l'ASN GW :

- Gère la mobilité, le Handover (transfert intercellulaire) et le forwarding.
- Il agit comme une passerelle. Il contrôle les ressources radio.
- Il renforce la QoS et la classification des fonctions et se charge de la gestion et de la sécurité.
- Gestion de localisation et du Paging.
- Serveur pour la session réseau et le contrôle de la mobilité.
- Contrôle d'admission et mise en cache des profils d'abonnés, et des clés de chiffrement.
- AAA (Authentication Authorization Accounting) client/proxy.
- Fournit les fonctionnalités de l'agent étranger.
- Routage IPv4 et IPv6 pour sélectionner le CSN.

- La station de base :

Située dans l'ASN et responsable de la communication sans fil avec les abonnés.

- Les terminaux d'abonnés :

Sont des équipements spéciaux équipés d'une carte WiMAX qui permet la communication avec ce réseau. Ils sont situés dans la zone de couverture d'une BS pour pouvoir communiquer avec cette dernière.

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

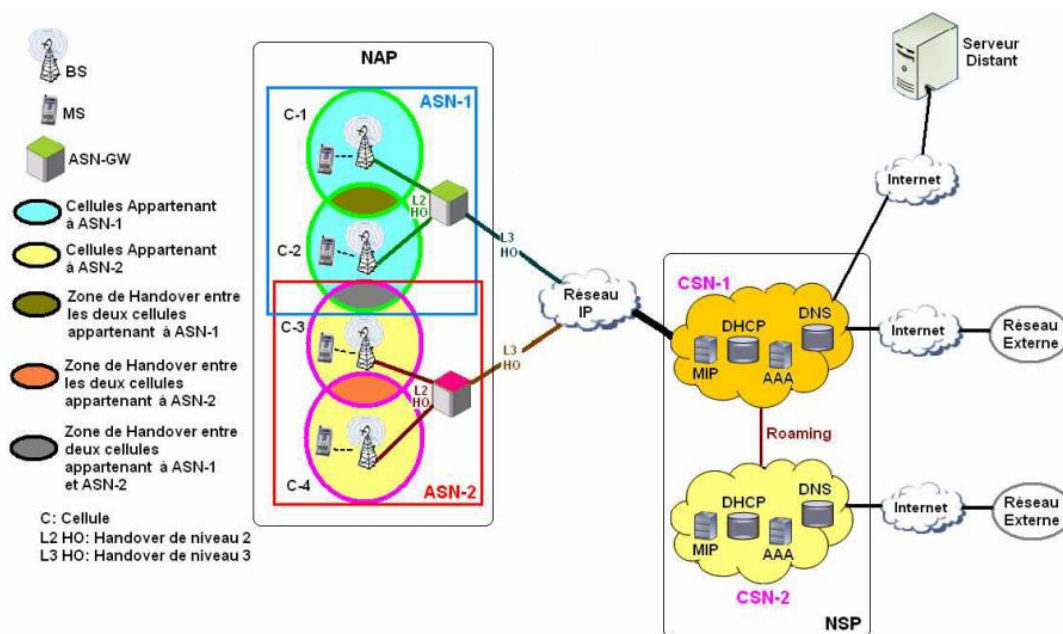


Figure III.7 : Architecture du WiMAX mobile

III.7.3) Mobilité dans l'IEEE 802.16e

III.7.3.1) Fonctions relatives au déplacement du MS

Il y a trois fonctions principales de gestion du déplacement de la station mobile :

- Data Path : prend en charge la configuration du chemin et la transmission des données.
- MS Context : s'occupe de l'échange des informations relatives au MS dans le réseau cœur.
- Handover : c'est la fonction la plus intéressante, elle s'occupe de la signalisation et prend les décisions relatives au passage entre les cellules.

III.7.3.2) Handover de niveau 2 (ASN Anchored Mobility Management)

Mobilité Intra-ASN (entre BSs de même ASN / Handover de couche 2 du modèle OSI) :

- Micro mobilité.
- Pas de mise à jour de l'adresse IP.

Deux types de Handover :

- Hard Handover : Début du nouveau service avec la nouvelle BS après la déconnexion avec l'ancienne BS (délai d'arrêt). La station communique avec une seule BS.
- Soft Handover : Début du nouveau service avec la nouvelle BS avant la déconnexion avec l'ancienne BS (pas de délai d'arrêt). La MS communique avec plusieurs BS en

même temps, et maintient une liste de BSs active set. Il propose deux techniques : le MDHO et le FBSS.

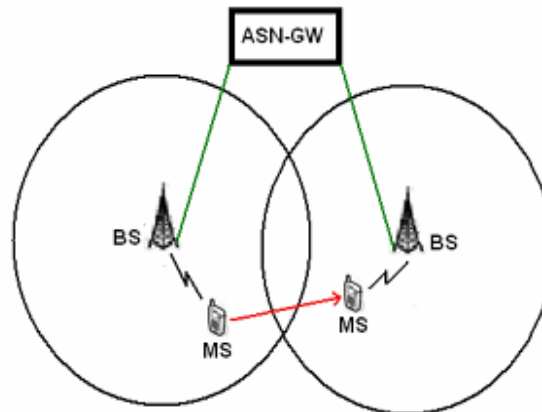


Figure III.8 : Intra-ASN Handover .

Les différentes étapes d'un Handover sont les suivantes :

- 1) Sélection de la cellule : une MS doit d'abord acquérir des informations sur les BSs dans le réseau. Ces informations servent à déterminer si un Handover est possible ou non. Cela peut se produire soit en utilisant les informations déjà connues sur le réseau, soit en exigeant un scrutation (scan).
- 2) Décision et initialisation du Handover : c'est la procédure de migration d'une MS à partir de l'ancienne BS vers la BS cible. La décision peut être déclenchée par la MS ou par la BS.
- 3) Synchronisation en voie descendante avec la BS cible : la synchronisation est obligatoire pour établir la communication. Durant cette phase, la MS reçoit les paramètres de transmission en voie montante et descendante. Si la MS a obtenu auparavant ces paramètres de la même BS, la procédure peut être raccourcie.
- 4) Ranging : lorsque la MS est synchronisée avec la nouvelle BS, il faut commencer la procédure de Ranging qui consiste en la réception de la MS des bons paramètres de la communication (exemple : décalage temporel, puissance du signal, etc.).
- 5) Résiliation de service : l'ancienne BS termine la connexion associée à la MS qui vient de migrer vers une autre BS et supprime toutes les informations de sa file d'attente.
- 6) Annulation de Handover : durant le processus de Handover, la MS a le droit d'annuler la procédure et de reprendre la communication avec l'ancienne à condition qu'elle ne l'ait pas annulée.

III.7.3.3) Handover de niveau 3 (CSN Anchored Mobility Management)

- Mobilité Inter-ASN (entre BSs de différentes ASN / Handover de couche 3 du modèle OSI) Macro mobilité.
- Mise à jour de l'adresse IP.
- Fondée sur MIP : Proxy MIP (PMIP) ou Client MIP (CMIP).

La figure III.9 nous donne Inter-ASN Handover

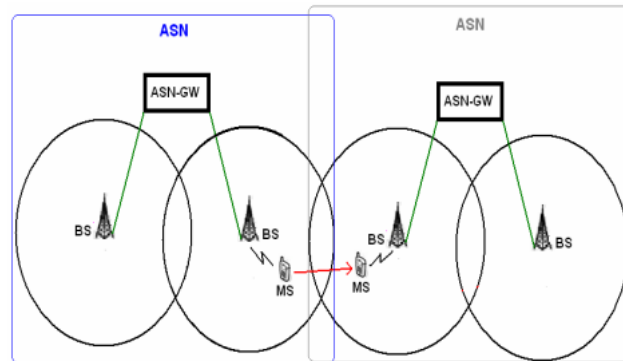


Figure III.9: Inter-ASN Handover

III.7.4) IEEE 802.16m

IEEE 802.16m est une amélioration du WiMAX (802.16-2004) et du WiMAX mobile (802.16e) assurant la compatibilité avec les deux systèmes. Les débits théoriques proposés par cette version atteignent 100 Mb/s en situation de mobilité, et à 1 Gb/s quand la station abonnée est fixe. Le système 802.16m peut opérer dans des fréquences radio inférieures à 6 GHz. IEEE 802.16m utilisera la technologie MIMO (Multiple Input / Multiple Output) comme le Mobile WiMAX en proposant d'améliorer la technologie d'antenne pour obtenir une bande passante plus grande. On peut voir le 802.16m comme une technologie qui profite des avantages de la 3G et du 802.16 pour offrir un ensemble de services à très haut débit (Streaming vidéo, IPTV, VoIP).

L'IEEE 802.16m gardera la même architecture et la même pile protocolaire que le 802.16e

III.8) LTE AVANCÉ (LTE-ADVANCED) (3GPP, RELEASE 10) [4]

En 2008, le 3GPP a anticipé la conformité de l'interface radio E-UTRA au cahier des charges de l'ITU-R et l'a adaptée dans la Release 10 sous le nom de « LTE avancé » (LTE-Advanced) ou LTE-A qui possède la caractéristique d'être rétro compatible avec le réseau d'accès E-UTRAN et l'interface radio E-UTRA définis en Release 8.

Les exigences du 3GPP pour l'interface radio « LTE avancé » ont été publiées en juin 2008 (avant parution du rapport M.2134) dans le rapport [TR 36.913-R8] :

- Support de la bande passante étendue jusqu'à 100 MHz en agrégeant les porteuses de 20 MHz de l'interface radio E-UTRA, notamment dans la « bande VII » du mode FDD qui offre des bandes passantes de 70 MHz dans les deux sens de transmission et qui permet d'agréger typiquement deux porteuses de 20 MHz (en fonction des attributions de fréquences au niveau national) soit 40 MHz .
- L'efficacité spectrale de 30 bit/s/Hz dans le sens descendant et de 15 bit/s/Hz dans le sens montant.
- Utilisation de la technique antennaire MIMO 4x4 dans le sens descendant et MIMO 2x4 dans le sens montant.
- Le temps de latence d'au plus 50 ms pour le plan de signalisation.
- Le débit maximal théorique de 1 Gbit/s dans le sens descendant et 500 Mbit/s dans le sens montant.

En septembre 2009, le 3GPP a soumis sa proposition « LTE-avancé » (Release 10) à l'Union Internationale des Télécommunications comme candidate au système « IMT avancé » [3GPP-LTEA].

III.8.1) L'architecture [14]

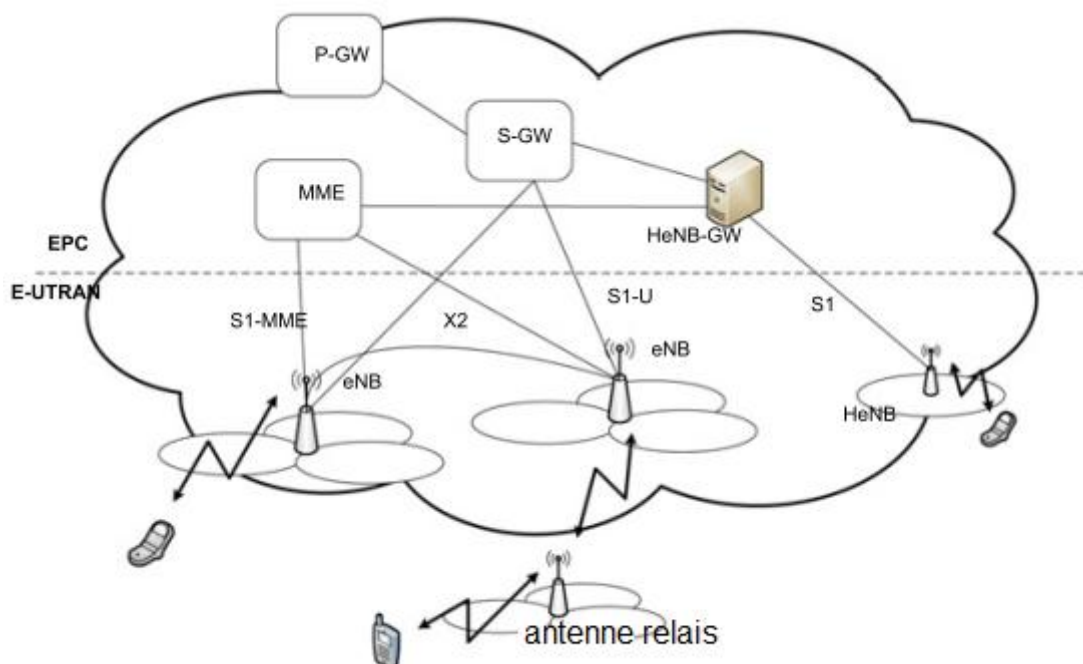


Figure III.10 : L'architecture de LTE-A

En plus de ce que on a vu en LTE on trouve que LTE-A à dans son réseau les HeNB et les antennes relais qui se détaillé en ce qui suit.

III.8.2) HeNB [14]

Femto (HeNB) : c'est une petite station de base cellulaire, généralement conçue pour une utilisation dans une maison ou une petite entreprise. La Femto est reliée au réseau cœur de l'opérateur et lui permet d'étendre la couverture des services à l'intérieur, en particulier là où l'accès serait par ailleurs limité ou indisponible. Contrairement au Pico, la mise en place d'une Femtocell est à la charge du client, puissance d'émission inférieure à 13 dBm (20 mW).

III.8.3) SON [12, 14]

Dans les réseaux cellulaires 2G et 3G actuels, de nombreux paramètres de réseau sont configurés manuellement. La planification, la mise en service, la configuration, l'intégration et la gestion de ces paramètres sont efficaces et fiables pour l'exploitation du réseau mais leur coût est très élevé pour les opérateurs. En plus, ces interventions manuelles sont souvent sources d'erreurs et relativement lentes.

C'est pour remédier à ces problèmes que le groupe 3GPP (3rd Generation Partnership Project) a élaboré la technologie SON (Self optimizing/organizing Network) dans les normes LTE et LTE-Advanced. Le but recherché est de permettre une auto-configuration des équipements, améliorant ainsi la flexibilité et les performances du réseau tout en réduisant les coûts et les délais.

Le Self Organizing Networks (S.O.N.) est une technologie conçue pour permettre l'auto-configuration, l'auto-exploitation et l'auto-optimisation des équipements des réseaux cellulaires de téléphonie mobile. Il permettra un déploiement rapide de nouvelles BTS (Base Transceiver Station) ou d'eNode B sans nécessiter l'intervention de spécialistes pour modifier les équipements préexistants.

Auto-configuration

La mise en place de nouveaux équipements dans le réseau cellulaire présente un coût élevé pour les opérateurs. En plus du prix du matériel, il faut tenir compte des coûts dus à la configuration et à la reconfiguration des stations de base adjacentes qui nécessitent la présence d'un ou de plusieurs experts sur le terrain.

L'auto-configuration a pour but de réduire les coûts de l'intervention humaine en introduisant des fonctionnalités "plug & play" dans les eNode B. Elle comprend toutes les tâches nécessaires pour automatiser le déploiement et la mise en service de réseaux ainsi que la configuration des paramètres.

Auto-optimisation

L'auto-optimisation se déroule en mode opérationnel et permet aux opérateurs de bénéficier d'une optimisation dynamique (équilibre de charges, économie d'énergie...). Un "Self Organizing Network" automatise les tâches en effectuant des mesures sur les équipements de réseau ; il détecte les problèmes de qualité de service, identifie la cause, et prend automatiquement des mesures correctives sur la base de la statistiques de mesures de performance de l'OMC (Operation and Maintenance Center). Cette optimisation autonome permet de traiter plus rapidement les problèmes et d'améliorer les performances du réseau.

III.8.4) Agrégation de porteuses [6]

Afin que LTE-advanced arrive à utiliser des bande passantes plus large allant jusqu'à 100 MHz, tout en conservant sa compatibilité avec LTE, un système d'agrégation de porteuses a été proposé. Agrégation de porteuses consiste à regrouper plusieurs transporteurs LTE (par exemple, jusqu'à 20MHz), de sorte que les dispositifs de LTE-Advanced sont capables d'utiliser une plus grande quantité de bande passante (par exemple jusqu'à 100 MHz), tandis qu'en même temps, ils permettent aux dispositifs de LTE de continuer à voir le spectre en tant que supports de composants séparés. Dans la figure III.11, nous illustrons le concept d'agrégation de porteuses pour la largeur des bandes de fréquences qui sont contigus.

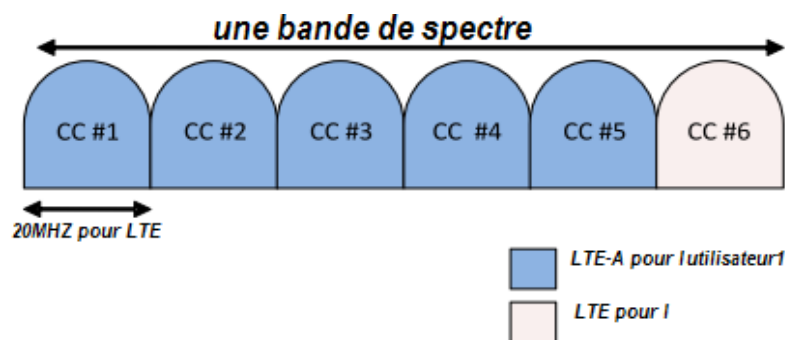


Figure III.11 : Agrégation de porteuses en une bande passante

Il n'est pas toujours possible pour un opérateur d'obtenir 100 MHz de spectre de fréquences contigus. Pour cette raison, l'utilisation de l'agrégation de porteuses non attenantes est également proposée. Dans ce cas, les supports de composants qui vont être agrégées peuvent être non contigus dans la même bande de fréquences ou non contigus dans des bandes de fréquences différentes. Dans les deux cas, plusieurs défis doivent être abordés avant que l'agrégation de porteuses peut être introduite avec succès, comme nous le verrons plus tard.

Figure III.12 illustre le cas d'agrégation de porteuses non attenantes dans la même bande. La figure montre deux bandes passantes allant jusqu'à 20 MHz de LTE, coexistant en une bande passante agrégée qui peut aller jusqu'à 100 MHz.

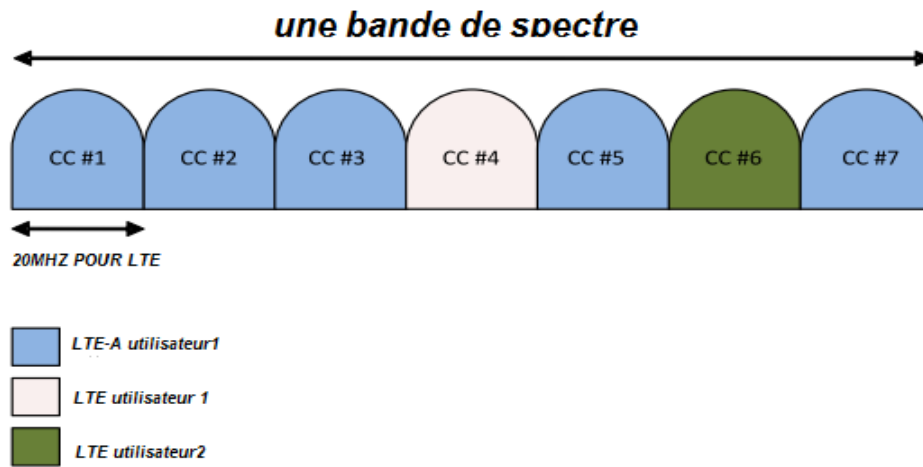


Figure III.12 : Agrégation de porteuses en bande passante non attenante pour une seule bande

Figure III.13 illustre le cas d'agrégation de porteuses non attenantes dans des bandes différentes, ce qui est un scénario qui pourrait résulter de l'utilisation simultanée des bandes de fréquences. La figure montre deux appareils LTE à l'aide de bandes passantes allant jusqu'à 20MHz, chacune dans une bande de fréquences différentes, coexistant avec un appareil LTE-Advanced qu'utilise la bande passante agrégée non attenante de bandes fréquences différentes. Les bandes qui sont utilisés peuvent être dédiés bandes ou des bandes partagées. Dans tous les cas précédents d'agrégation de porteuses, le nombre de supports de composants UL (up Link) et DL (downlink), ainsi que leurs bandes passantes, peut être différente. Même au sein d'une seule eNB, différents UE de LTE-Advanced seront configurés avec différents numéros de la CSC, selon leurs capacités, les conditions de canal, les exigences de débit de données et les exigences de qualité de service.

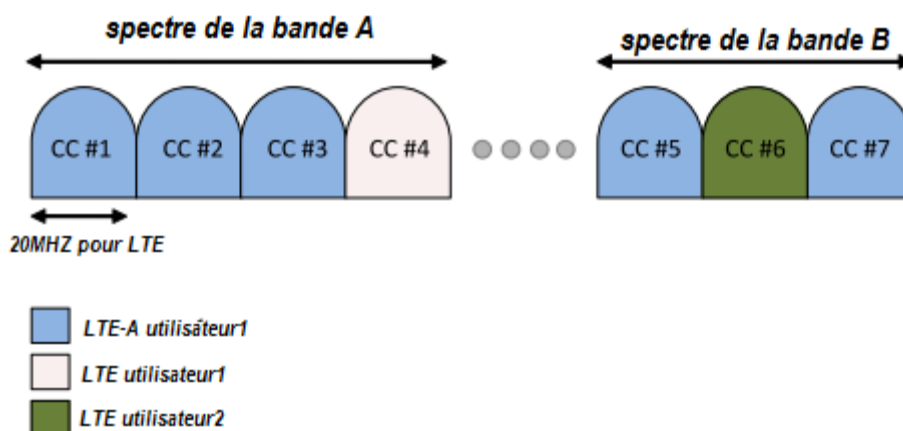


Figure III.13 : Agrégation de porteuses en bande passante non contigu de plusieurs bandes

Agrégation de porteuses permet non seulement d'atteindre des débits de pointe plus élevées, mais pourrait aussi aider à avoir une meilleure couverture pour des débits de données de taille moyenne. Pour des débits moyens, il permet l'utilisation des modulations d'ordres inférieurs

et taux de code inférieurs, ce qui réduirait le budget nécessaire du lien, sa puissance de transmission et les interférences.

III.8.5) Les relais [6]

Relais est un autre élément des éléments qui sont introduits dans LTE-Advanced pour améliorer les performances de la technologie LTE en termes de couverture et de débit. Selon 3GPP, l'utilisation de relais permettra les améliorations suivantes :

- Assurance de la couverture dans de nouvelles régions.
- déploiement d'un réseau temporaire.
- débit cellulaire de pointe.
- Couverture de débit de données élevé.
- La mobilité de groupe.

Ces améliorations peuvent être regroupées comme " extension de la couverture" et " l'amélioration de débit. Outre les améliorations précédentes du l'utilisation de relais apporte les avantages suivants :

Réduction des coûts: Le coût d'un relais est inférieur au coût d'eNB, en supposant que la complexité d'un relais est inférieure à la complexité d'eNB. En raison de l'absence d'une liaison filaire terrestre ainsi que le coût de déploiement est réduites comparer à un eNB.

Réduction de consommation de la puissance: La distance d'émission /réception entre le eNB et l'UE est divisée en deux distances:

- La distance de l'eNB au relais.
- La distance entre le relais et l'UE.

Si le relais utilisé se situe dans son endroit approprié la puissance d'émission requise (par l'eNB, relais et UE) peut être réduite. La réduction de la consommation d'énergie est due tout simplement à la réduction des pertes de trajet, tandis que d'autres réductions peuvent être atteintes grâce à des améliorations des relais et le contrôle des interférences. Cette réduction de la consommation d'énergie se traduit également par des coûts d'exploitation réduits.

Dans la figure.III.14 représenté le régime de base dont les relais sont prévus pour être déployés dans LTE-Advanced. L'UE va se connecter au nœud relais (RN) via l'interface Uu, tandis que le relais se connecte à une cellule donneuse d'un eNB en utilisant une nouvelle interface appelée Un.

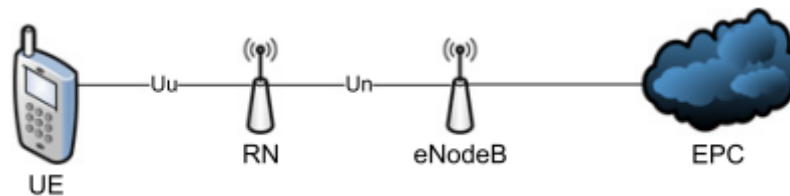


Figure III.14 : Le régime de base des relais

La communication entre le RN et l'eNB peut survenir de deux façons: intra-bande ou extra-bande. Dans intrabande, la liaison de communication utilise la même bande que celle utilisée par l'eNB pour communiquer avec des équipements utilisateurs au sein de la cellule donneuse, tandis que dans l'extra-bande une bande différente est utilisée.

3GPP a précisé que LTE-Advanced aura au moins un soutien "type 1" et "type 1a" de NRs. Chacun est défini comme suit:

Type 1

- Il contrôle les cellules apparaissant comme une nouvelle cellule pour les UE. Chacune de ses cellules ont leur propre identité physique, canaux de synchronisation, symboles de référence, etc
- En fonctionnement une seule cellule, les informations de planification, retour HARQ, et le contrôle des canaux sont échangés directement entre les UE et les infirmières.
- Il apparaît comme une version 8 à la version 8 eNB UES, pour la compatibilité descendante.
- Il peut apparaître différemment à UES LTE-Advanced, pour permettre d'autres améliorations de performance.

Type 1 bis

Il a les mêmes caractéristiques que le type 1, mais fonctionne en out-band.

En termes de répartition des ressources pour le lien RN-eNB de relais intra-bande, 3GPP spécifie le soutien de (au moins) ce qui suit :

- Multiplexage temporel pour la liaison descendante (eNB de RN, RN pour UE) et la liaison montante (UE de RN et RN à ENB).
- Multiplexage de liaison terrestre dans FDD: eNB aux transmissions RN se produisent dans la bande de fréquence DL et RN à eNB les transmissions se produisent dans la bande de fréquences UL.
- Multiplexage de liaison terrestre en TDD: eNB aux transmissions RN se produisent dans des

sous-frames DL de l'eNB et RN, et RN aux transmissions eNB se produisent dans des sous-frames UL de l'eNB et RN.

III.9) CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons abordé les réseaux 4G, LTE et LTE-Advanced, avec une description des constituants du réseau d'accès radio E-UTRAN et réseau cœur EPC. Nous avons dressé certaines de leurs caractéristiques et fonctionnalités optimisées la transmission de données complètement IP avec des débits élevés fixes ou variables (vidéos, télévision, visiophone, internet). Nous avons également présenté la norme WIMAX, intégrée par les réseaux 4G comme une solution de mobilité pour couvrir des zones géographiques importantes sans la contrainte d'infrastructures supplémentaires coûteuses.

**CHAPITRE IV:
CHOIX D'UNE SOLUTION
DE MIGRATION**

DEUXIÈME GÉNÉRATION / TROISIÈME GÉNÉRATION

OU

DEUXIÈME GÉNÉRATION / QUATRIÈME GÉNÉRATION

IV.1) INTRODUCTION

Suite aux larges descriptions des réseaux mobiles 3G et 4G des chapitres précédents, nous allons à présent aborder le dilemme du choix d'une solution de migration 2G/3G ou 2G/4G pour les réseaux GSM déployés en Algérie. En effet, l'engagement irréversible de notre pays dans le projet national e-Algérie, lancé par le Ministère de la Poste et des Technologies de l'Information et de la Communication (MPTIC), présente un ensemble d'opportunités à exploiter, pour promouvoir la société de l'information et aider à stimuler l'économie et la création d'emploi.

L'évolution de la téléphonie mobile vers la 3G ou la 4G est l'une de ces opportunités tant la disponibilité du haut débit dans le marché national stimulera l'utilisation et améliorera l'efficacité des activités touchant tous les secteurs économiques. Cela va créer un écosystème assez riche qui sera renforcé par un grand choix de nouveaux terminaux et l'introduction de nouvelles applications et contenus. Les services à vocation publique (eGOUV, Poste, Santé, Éducation, Enseignement...), entre autres, peuvent se développer d'avantage. En contrepartie, cela va générer plus de flexibilité pour les opérateurs qui pourront réinvestir localement dans l'innovation et le développement.

IV.2) DE LA NECESSITE DE MODERNISATION DES RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS

Le plan e-Algérie, comme de nombreuses initiatives prises au niveau mondial depuis la conférence de l'UIT tenue à Minneapolis (Etats-Unis) du 12 octobre au 6 novembre 1998, vise à participer à la lutte contre l'exclusion sociale. L'objectif fondamental est de réduire la fracture numérique avec des mesures réalisables à l'horizon 2015.

De l'avis de nombreux spécialistes, nos réseaux de télécommunications ont atteint leur limite en matière de services. Aussi, dans le cadre du plan e-Algérie, un effort considérable de modernisation des infrastructures est consenti dans notre pays, notamment un vaste programme d'installation de liaisons en fibre optique sur le réseau de transport (Backbone du réseau fixe). Malgré cela, les offres ADSL (DJAWEB, FAWRI ...), restent encore en deçà des objectifs et l'adhésion des utilisateurs, mitigée jusqu'à présent, est freinée par divers problèmes techniques. Par ailleurs, les réseaux radio-mobiles GSM des trois opérateurs présents sur le marché national (ATMobilis, WTA-Nedjma, OTA-Djezzy), optimisés pour le service voix, sont limités en termes de débits pour la transmission de données ou de connexion au réseau Internet.

Le besoin de mutation vers de nouvelles technologies est pressant à cause d'une demande de plus en plus forte sur le plan des usages en raison de l'émergence de deux tendances :

- d'une part, les volumes de données augmentent, notamment en raison d'éléments multimédia (son, vidéo) de plus en plus nombreux ;

- d'autre part, les applications interactives en temps réel se multiplient et vont se développer au cours des prochaines années, pour le grand public (téléphonie sur IP, sites web interactifs...) et pour les professionnels (e-santé, télétravail...). Les besoins sont donc plus volumineux, mais exigent aussi d'être plus rapides.

L'enjeu de demain semble donc être indéniablement le très haut débit aussi bien sur le réseau fixe que sur les réseaux mobiles. Le passage à une nouvelle génération (3G ou 4G) de nos réseaux GSM est une solution mais l'état doit veiller à un équilibre et une convergence fixe-mobile. Nous reviendrons sur cet aspect dans les sections suivantes.

IV.3) AVANCEES TECHNIQUES DES MIGRATIONS 2G/3G ET 3G/4G [4,9]

Le lancement de la téléphonie mobile de nouvelle génération (3G ou 4G) dans notre pays, permettra l'introduction sur le marché du haut débit mobile, à charge pour les opérateurs de mettre à jour au préalable, leurs infrastructures réseau pour assurer une large couverture sur le territoire national avec une qualité satisfaisante.

Même si les réseaux 4G offrent plus de débit, un meilleur temps de latence (*RTT -Round Trip Time-*) (Cf. *Tableau IV.1*) et une meilleure efficacité spectrale, le réseau UMTS et ses variantes HSPA répond largement aux attentes des utilisateurs à moyen terme. C'est le développement au futur d'applications innovantes comme par exemple, la « télémédecine », les « objets communicants » c'est-à-dire capables d'interagir électroniquement avec leur environnement....) qui pourraient remettre en cause ce constat. A charge à l'utilisateur de choisir le type de terminal 4G qui permettra des fonctionnalités avancées.

<i>Débit maximal</i>	<i>Réseaux 3G</i>		<i>Réseaux 4G</i>		
	<i>UMTS</i>	<i>HSPA+</i>	<i>LTE</i>	<i>LTE-Avanced</i>	<i>WiMax Mobile</i>
<i>UpLink</i>	384 kbit/s	11,5 Mbit/s	75,4 Mbit/s	500 Mbit/s	69 Mbit/s
<i>DownLink</i>	2 Mbit/s	42 Mbit/s	300 Mbit/s	1 Gbit/s	350 Mbit/s
<i>Latence RTT</i>	250 ms	70 ms	Proche de 10 ms		

Tableau IV.1 : Débits théoriques et temps de latence des réseaux mobiles 3G et 4G.

L'option 3G présente quelques avantages techniques indéniables pour la prise de décision sur le type de migration à choisir. En effet, le retour d'expériences né de l'exploitation et de la gestion des réseaux 3G depuis presque une décennie dans divers pays, est fondamental puisque les réseaux 4G n'ont commencé à être déployés que depuis une année et souffrent d'un manque de

normalisation. De plus, ces derniers présentent certaines difficultés techniques qui ne sont pas encore résolues. Le service voix est le maillon faible des réseaux 4G car optimisés pour les services données par son infrastructure tout IP supportant uniquement la commutation par paquets. Ce n'est que dernièrement que le service voix a été lancé par la société Ericsson avec son approche *VoLTE (Voice over LTE)*. D'ailleurs, le développement de la 4G/LTE a longtemps été contraint par les difficultés pour s'accorder sur les caractéristiques de services VoLTE.

En supposant que les contraintes techniques des réseaux 4G soient rapidement résolues et que l'état assurera les conditions suffisantes de lancement de ce type de réseaux, l'option 4G permettra surtout de faire un saut qualitatif d'avenir et de rattraper l'énorme retard accusé par notre pays dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. La technologie 3G lancée depuis les années 2000, est à ce titre, « ancienne » puisque déjà dépassée dans certains de nos partenaires étrangers.

IV.4) ENJEUX ECONOMIQUES

Le choix de la stratégie de modernisation des réseaux de télécommunication dans notre pays, sera à notre sens basé sur des considérations économiques plutôt que techniques puisque dans tous les cas, sur ce dernier plan, les avancées seront multiples. Particulièrement pour la téléphonie mobile, l'accession à la troisième ou quatrième génération implique un investissement colossal en amont et en aval du déploiement du réseau proprement dit. En amont, le coût d'acquisition des licences est énorme pour les opérateurs et en aval, le prix des terminaux mobiles et les souscriptions sont conséquents pour les utilisateurs.

Le choix d'une option 3G ou 4G dépendra de beaucoup de facteurs parmi lesquels nous pouvons citer :

IV.4.1) Le Coût d'acquisition des licences 3G ou 4G [18]

Le coût des systèmes radio-mobiles dépend forcément du cycle d'évolution des générations estimé à environ 20 ans. Si la génération 2G a évolué de 1990 à 2010, la 3G a commencé dans les années 2000 et finira son cycle vers 2020, la 4G/LTE a commencé en 2012 et finira son cycle vers 2030 et la 5G est prédite pour 2020 jusqu'à 2040. Par conséquent, les coûts des équipements sont négociables pour une génération dont le cycle est entamé ou dépassé. Dans ce sens, il semblerait que l'option 3G est plus souhaitée par les opérateurs opérant dans notre pays.

A titre indicatif, nous donnons ci-après (Cf. Tableau IV.2) quelques coûts de licences 3G et 4G acquises respectivement en Afrique et en France. Il est très difficile d'en tirer des conclusions sauf celle évidente, d'un coût exorbitant pour les systèmes 4G.

	<i>Pays</i>	<i>Année d'acquisition</i>	<i>Prix de la licence (en Dollar US)</i>
<i>Licences 3G</i>	Tunisie	2010	80 Millions
	Kenya	2008	25 Millions
	Nigeria	2008	152 Millions
	Égypte	2007	578 Millions
	Maroc	2006	40 Millions
<i>Licences 4G</i>	France	SFR	1, 618 Milliard
		Orange	1,568 Milliard
		Bouygues	1,212 Milliard
		Free	360 Millions

Tableau IV.2 : Exemples de coûts d'acquisition de licences 3G et 4G.

La comparaison des coûts des licences 3G entre les différents pays n'est pas évidente car plusieurs opérateurs peuvent coexister dans un même pays, la nature des services offerts par les nouveaux réseaux peut changer selon la variante installée, le taux de pénétration de la téléphonie mobile et la superficie à couvrir, sont différents selon les pays.

IV.4.2) Le Coût des terminaux mobiles 3G ou 4G [17]

De toute évidence, les coûts d'acquisition de terminaux Smartphones 4G sont nettement supérieurs à ceux pour services 3G (Cf. Tableaux IV.3 et 4).

	<i>Type de Smartphone</i>	<i>Prix de revient</i>
<i>Smartphones 4G</i>	<i>Samsung Galaxy S4 16Go</i>	72 900 DA
	<i>HTC One</i>	80 109 DA
	<i>Sony Xperia Z</i>	67 196 DA
	<i>Nokia Lumia 920</i>	50 866 DA
	<i>BlackBerry Q10</i>	82 431 DA
	<i>Sony Xperia Z</i>	60 999 DA

Tableau IV.3 : Coût d'acquisition de quelques Smartphones 4G.

La quasi-totalité des mobiles 3G n'étant pas compatible avec les services 4G, l'option de migration 2G/4G n'est donc pas fort souhaitée car elle contraindrait les utilisateurs déjà équipés de mobiles 3G, à investir de nouveau dans des Smartphones et des abonnements 4G plus chers. De plus, connaissant la faiblesse du revenu moyen par utilisateur dans notre pays (ARPU:

Average revenu per user), l'option 3G parait plus raisonnable. D'ailleurs trois sondages en ligne effectués par l'opérateur WTA-Nedjma sur son site officiel auprès de 1610 utilisateurs (Cf. Figures IV.1 - IV.3), attestent de l'adhésion, toute proportion gardée, des Algériens à un passage vers un réseau 3G plutôt qu'à un réseau 4G. [17]

	<i>Type de mobile</i>	<i>Type de réseau 3G</i>	<i>Prix de revient</i>
<i>Mobiles 3G</i>	<i>Samsung B2710</i>	<i>3G (UMTS)</i>	<i>12 771 DA</i>
	<i>Samsung Wave Y</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>12 771DA</i>
	<i>LG Optimus L5</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>21 156 DA</i>
	<i>Samsung Galaxy Y</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>13 281,84 DA</i>
	<i>HTC Desire C</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>23 865 DA</i>
	<i>Sony Xperia E</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>21 801 DA</i>
	<i>ACER Liquid Gallant Duo</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>19 221 DA</i>
	<i>Blackberry Curve 9320</i>	<i>3G (UMTS)</i>	<i>19 221 DA</i>
	<i>THOMSON X-Link 4.0</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>21 285 DA</i>
	<i>LG Optimus L3</i>	<i>3G (UMTS)</i>	<i>14 577 DA</i>
	<i>TECMOBILE YOU25</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>11 481DA</i>
	<i>Nokia GSM Nokia ASHA 311</i>	<i>3G+ (HSDPA)</i>	<i>14 061 DA</i>
	<i>ACER Acer Liquid Z2 Duo</i>	<i>3G (UMTS)</i>	<i>15 351 DA</i>

Tableau IV.4 : Coût d'acquisition de quelques mobiles 3G.

Avec l'arrivée annoncée de la 3G en Algérie, vous êtes ?

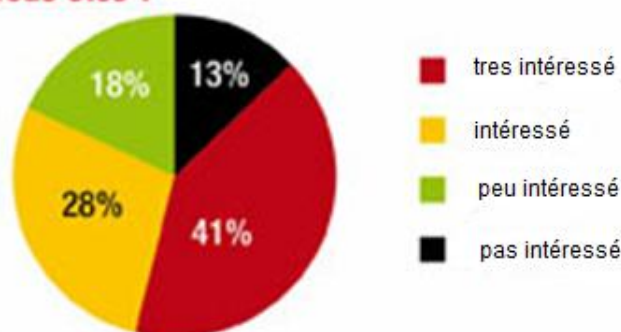


Figure IV.1 : Résultats du sondage WTA-Nedjma sur 'arrivée de la 3G en Algérie. [12]



Figure IV.2 : Résultats du sondage WTA-Nedjma sur les types de mobiles en Algérie. [12]

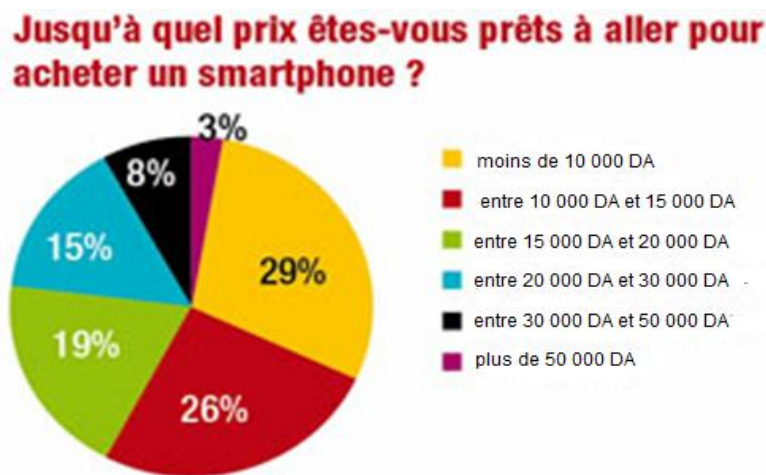


Figure IV.3 : Résultats du sondage WTA-Nedjma sur l'acquisition de Smartphones en Algérie.

[12]

Les statistiques découlant de ces sondages ne sont certes pas représentatives de la population Algérienne, puisque quatre participants sur cinq sont des hommes, près de 60% sont jeunes (entre 20 et 35 ans), et 38% habitent la wilaya d'Alger. Mais les résultats obtenus peuvent nous renseigner sur les tendances des utilisateurs Algériens :

- La quasi-totalité des sondés possèdent un téléphone mobile: 1 494 sur 1 610, soit 93% ;
- plus des deux tiers des personnes interrogées se disent intéressés ou très intéressés par l'arrivée annoncée de la 3G (69%) ;
- Seul un quart des sondés estime ne pas avoir besoin de la 3G ;
- Très peu de sondés envisagent de s'équiper d'un terminal mobile 4G (3%) ;
- Si les mobiles les plus courants sont les mobiles multimédia (45%) qui permettent de prendre des photos ou d'écouter de la musique, les Smartphones sont en passe de supplanter les téléphones de 1^{ière} génération dédiés aux appels et SMS (28% vs 27%) ;

Au regard de ces tendances et des coûts évoqués précédemment, nous pouvons affirmer que du point de vue économique, le marché Algérien est plus favorable au passage à la 3G. [12]

IV.5) ENJEUX STRATEGIQUES

Partout dans le monde, la politique de modernisation des réseaux de télécommunication relève des prérogatives des états. Dans notre pays, il nous paraît évident que le retard de lancement d'une nouvelle génération de réseaux mobiles soit dicté par, et obéit à des options d'une stratégie globale. Notre raisonnement est fondé sur les éléments suivants :

- Pour veiller à un équilibre et une convergence fixe-mobile, l'état a entrepris de moderniser d'abord, le réseau dorsal fixe en fibre optique pour éviter une migration des clients résidentiels ADSL fixe vers le haut débit mobile s'il venait à être lancé avant d'améliorer les services sur le fixe. Ce scénario, vécu chez nos voisins Marocains après le lancement de la 3G en 2006, mettrait en péril un secteur névralgique et engendrerait beaucoup de pertes d'emplois. Le fournisseur historique, Algérie Télécom, vient à juste titre, d'annoncer le lancement de la « 4G fixe pour la fin de l'année 2013 ». En fait de 4G, il s'agirait plutôt de réseaux locaux haut débit, réservés uniquement aux entreprises. L'objectif serait d'équiper 150 000 abonnés à ce nouveau service pour un investissement évalué entre 40 et 50 millions d'euros, avec la perspective de l'élargir au grand public lorsque ce premier investissement sera amorti.
- Pour assurer aux utilisateurs des coûts acceptables pour la souscription aux nouveaux services permis par une nouvelle technologie, l'état Algérien privilégierait le passage à la 3G en permettant une réduction des coûts d'acquisition des licences ; à charge aux opérateurs de négocier au rabais avec les équipementiers, les coûts des installations puisque le cycle de la 3G est très entamé, et de garantir des services à la portée des consommateurs.
- Un autre élément de préférence d'un passage à la 3G est que l'état Algérien voudrait une évolution graduelle des réseaux mobiles, d'abord la 3G puis la 4G. Les opérateurs qui devront assurer une qualité de service suffisante en 3G notamment en zones denses, seraient alors forcés de contribuer au déploiement de liaisons terrestres en fibre optique pour soulager les liaisons FH (faisceaux Hertzien) prédominantes sur le réseau de transport actuel. L'idée est ainsi de renforcer la capacité du réseau fibre optique pour assurer des conditions suffisantes de passage à la 4G.

IV.6) SOLUTION DE MIGRATION

Le taux de pénétration de la téléphonie mobile en Algérie est très élevé. Les statistiques de l'agence de régulation de la poste et des télécommunications (ARPT), attestent d'un taux d'accès de plus de 95% de la population du pays. En chiffres, le nombre d'utilisateurs avoisine les 36 millions d'abonnés à la fin de l'année 2011 (35 228 893 abonnés jusqu'à novembre 2011). En parallèle, le taux de pénétration des services fixes est très faible, environ 8% (quelques 3 millions de lignes fixes). [16]

L'évolution des réseaux GSM vers une nouvelle technologie est inéluctable mais le choix de systèmes 3G ou 4G est très complexe comme nous l'avons exposé dans les sections précédentes. Tenant compte de tous les éléments que nous avons évoqués justement, nous pensons que la vision globale de l'état Algérien autour d'une convergence fixe-mobile, est l'élément le plus déterminant. A notre sens, c'est la technologie 3G qui répond mieux aux attentes du marché Algérien mais le lancement sera déferé à la fin de l'année 2013 pour avancer sur les liaisons terrestres en fibre optique et assurer du haut débit fixe.

IV.7) CONCLUSION

En ce début du 21^{ème} siècle, les nouvelles technologies de communication sont un vecteur essentiel de développement socio-économique et culturel dans le monde. L'évolution des réseaux de télécommunications vers le très haut débit dans notre pays, est urgente mais la stratégie à adopter, est très complexe car elle doit répondre à divers enjeux.

Nous avons ainsi relaté dans ce chapitre, les différents aspects qui doivent guider l'évolution dans notre pays, des réseaux mobiles en particulier. Nous avons tenté de démontrer que la migration des réseaux GSM actuels doit dépendre beaucoup plus d'un équilibre de services haut débit sur les réseaux fixe et mobile, que de choix purement techniques entre les nouvelles générations (3G ou 4G) de téléphonie mobile.

CONCLUSION
GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Les réseaux algériens de télécommunication ont atteint leurs limites en termes de services et de capacité. L'introduction de nouvelle technologie est une nécessité notamment, pour permettre l'accès internet a haut débit et faciliter leurs transmissions de données a vitesse élevée. Cette évolution est importante dans le programme de développement du pays vu que les retombées socio-économique et sociétales sont multiples.

Notre projet de fin d'étude traite la modernisation des réseaux mobiles GSM dans notre pays.se thème d'actualité, vise a étudier sur le plan technique toutes les caractéristique des technologies 2G,3G et 4G afin de situer les spécificités de chacune et d'entrevoir la stratégie de migration 2G/3G ou 2G/4G, qui répond le mieux aux besoins des utilisateurs algériens et qui « colle » le mieux au contexte socio-économique du pays

A travers les diverses investigation que nous avons menées sur ce projet, nous avons pu comprendre et suivre les différentes évolutions techniques entre les générations successives de systèmes téléphonie mobile tant sur l'amélioration des techniques de codage et d'accès radio l'optimisation de l'utilisation de l'élargissement de bandes de fréquences, la meilleure allocation (dynamique) des ressources, l'évolution des technique de commutation vers le tout IP, l'augmentation de plus en plus importantes des débits et d'autres fonctionnalité réseaux innovantes comme une extra-mobilité, l'agrégation de porteuses l'auto configuration...etc.

Nous avons pu suivre aussi les différentes adjonctions des nouveaux modules sur le plan infrastructurelle, nécessaire pour les nouvelles fonctionnalités.

Dans la dernière partie, nous avons évoqué quelques éléments fondamentaux d'une analyse technico-économique devant guider le choix d'une stratégie de migration de système GSM actuel nous avons aussi tenté de démontrer que le passage à des réseaux 3G est plus indiqué.

Au terme de ce travail, on peut confirmer que ce projet nous a été d'un grand apport. Il nous a permis d'approfondir nos connaissances techniques en réseau de télécommunication et en analyse technico-économique. Il nous a également offert l'opportunité de découvrir l'entreprise WTA-Nedjma et les conditions de travail de l'ingénieur. Il a constitué en ce sens une expérience très riche aussi bien au niveau technique qu'au niveau relationnelle.

Abréviations

2G	2ème Génération
3G	3ème Génération
3GPP	3rd Génération Partnership Group
4G	4ème Generation
8PSK	Phase Shift Keying à 8 états
16QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation
AuC	Authentication Center
AMRF	Accès Multiple par Répartition de Fréquences
ASN	Access Service Network
ASN-GW	Access Service Network- Gateway
AMRT	Accès Multiple à Répartition dans le Temps
AMRC	Accès Multiple par Répartition de Code
AGCH	Access Grant CHannel
ATM	Algérie Télécom Mobilis, public
ACK	Acknowledgement
ARQ	Automatic Repeat request
AICH	Acquisition Indicator Channel
ARFCH	Absolute Radio Frequency Channel
AAA	Authentication Authorization Accounting
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ARPT	Autorité de régulation de la poste et des télécommunications
BSS	Base Station Sub-system
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller
BER	Bit Error Rate
BCCH	Broadcast Control Channel
BG	Border Gateway
BCH	Broadcast Channel
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CBCH	Cell Broadcast Channel
CCU	Channel Codec Unit
CN	Core Network
CCCH	Common Control Channel
CTCH	Common Traffic Channel
CPCH	Uplink Common Packet CHannel
CPICH	Common PIote CHannel
CSICH	CPCH Status Indicator Channel
CD/CA-ICH	Collision Detection / Channel Assignement Indicator Channel
CPC	Continuous Packet Connectivity
CS	Circuit Switched
CP	Cyclic Prefix
CN	Core Network
CSN	Connectivity Service Network
CMIP	Client Mobile IP
DL	DownLink
DCCH	Dedicated Control Channel

DTCH	Dedicated Traffic Channel
DCH	Dedicated transport Channel
DSCH	Downlink Shared CHannel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DC-HSDPA	Dual Carrier – HSDPA
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EPS	Evolved Packet System
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplex
FACH	Forward Access CHannel
GSM	Global System for Mobile communication
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GGSN	Gateway GPRS Support Node
HLR	Home Location Register
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access+
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HARQ	Hybrid Automatic Response request
HSS	Home Subscriber Server
ARQ	Automatic Repeat request
HARQ	Hybrid-ARQ
HeNBs	Home eNBs
IMSI	International Mobile Station Identity
IETF	The Internet Engineering Task Force
IMEI	International Mobile station Equipment Identity
IP	Internet protocole
ITU	International Telecommunication Union
IMS	IP Multimedia Subsystem
LA	Location Area
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE-Advanced
MSC	Mobile Switching Centre
MS	Mobile Station
MME	Mobility Management Entity
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	Multi-User – MIMO
MS	Mobile Station
MIP	Mobile IP
NSS	Network Switching Sub-system
NAS	Non-Access Stratum
NAP	Network Access Provider
NSP	Network Service Provider

OSS	Operation Sub-System
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor Code
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC	Operation and Maintenance Center
OTA	Orascom Télécom Algérie, Djezzy
OSI	Open Systems Interconnections
PLMN	Public Land Mobile Network
PCU	Packet Control Unit
PSTN	Public Switched Telephone Network
PN	Pseudo random Noise code
PCH	Paging CHannel
PCCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PCPCH	Physical Common Packet CHannel
PICH	Paging Indicator Channel
PC	Power Control
PS	Packet Switched
PGW	PDN Gateway
PCRF	Policy and Charging Rules Function
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RTT	Round Trip Time
RACH	Random Access Channel
RLC	Radio Link Control
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RACH	Random Access Channel
SCH	Synchronization Channel
SAE	System Architecture Evolution
SACCH	Slow Associated Control Channel
SDCCH	Stand-Alone Dedicated Control Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SRNC	Serving RNC
SF	Spreading Factor
SCCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SCH	Synchronisation CHannel
SGW	Serving Gateway
SMS	Short Message Service
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
SU-MIMO	Single-User – Multiple Input Multiple Output
SON	Self optimizing/organizing Network
SIM	Subscriber Identity Module
SS7	Signalling System CCITT N°7
TMSI	Temporary Mobile Station Identity
TDMA	Time Division Multiple Access
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
TCH	Traffic Channel
TDD	Time Division Duplex
UTRAN	UMTS Terrestrial RAN

UE	User Equipment
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UL	UpLink
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VLR	Visitor Location Register
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WTA	Watanya Télécom Algérie, Nedjma
WAP	wireless application protocol

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] Eric MEURISSE, « L'UMTS et le haut-débit mobile », rapport UMTS, Février 2007.
- [2] IAR.Bawa,CS.Mahamat, « Optimisation des réseaux GSM pour la migration vers l'UMTS », mémoire d'ingénieur d'état, Institut des Télécommunications Abdelhafid BOUSSOUF - ORAN -, Juin 2005.
- [3] Jean Cellmer, « Réseau cellulaires-Système UMTS », article, Éditions Techniques de l'Ingénieur, pp 2-21, 10 / 05 / 2002.
- [4] Jérôme Pons, « Réseaux cellulaires-Evolution du système UMTS vers le système EPS », article, Éditions Techniques de l'Ingénieur, pp 2-23, 10 / 05 / 2011.
- [5] Jean Cellmer, « Réseaux cellulaires-Du système GSM au système GPRS », article, Éditions Techniques de l'Ingénieur, pp 2-18, 10 / 05 / 2004.
- [6] Ian F.Akyildiz, David M.Gutierrez-Estevez, Elias Chavarria Reyes, « The evolution to 4G cellular systems : LTE-Advanced », article, pp 219-242, année 2010.
- [7] Tarek Bchini, « Gestion de la mobilité, de la qualité de service et interconnexion de réseaux mobiles de nouvelle génération », thèse, délivré par L'INPT/ENSEEIH, pp 12-18, 10 / 06 / 2012.
- [8] Latifa Mokdad, « Rapport LTE », thèse, 16 / 03 / 2011.
- [9] Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, « LTE et les réseaux 4G », livre, p-p 8-10, année 2012.
- [10] Xavier Lagrange, Philippe Goldlewski et Sami Tabbane, « Réseaux GSM des principes à la norme », livre, Edition : 5 e édition revue et augmentée 'Hermes Science'.
- [11] André Perez, « Architecture des réseaux de télécommunications », Edition : 'Hermes Science'.
- [12] Document interne WTA-Nedjma.
- [13] F.Hillebrand, GSM and UMTS, Wiley, 28 nov. 2001 - 590 pages
- [14] www.3GPP.org
- [15] www.IEEE.org
- [16] ***Rapport annuel de l'ARPT pour l'exercice 2011***

[17] http://online.carrefour.fr/electromenager-multimedia/telephonie/mobile-sans-abonnement_m25_frfr.html

[18] <http://www.osiris.sn/Prix-des-licences-3G-en-Afrique,6075.htm>