

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU**



**FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**

Mémoire de fin d'études

**En vue de l'obtention Du Diplôme de Master en Électronique
Option: Télécommunications et Réseaux**

Filière : Génie Electrique.

Thème

EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DU RESEAU 3G VERS 4G

mobilis

Encadré par:

M^{me} : LAHDIR .L

M^r : LAHDIRI.T

Présenté par :

M^r : MERRAD Menad

M^r: GACEM Rachid

Promotion: 2013/2014

Remerciements

Nous remercions le bon dieu qui nous a aidée à surmonter toutes les difficultés rencontrées au long de cette période pour mener à terme ce travail.

Nous tenons à remercier et à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice Madame LAHDIR, Monsieur LAHDIRI ainsi qu'à Monsieur AKROUR KAMEL qui nous ont suivis durant cette période.

Nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

C'est l'occasion de remercier tous le corps enseignant depuis les études primaires.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Rachid et Menad

Dédicace

Au nom d'Allah le Miséricordieux, le très miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail :

A ma grande- mère

A mes très chers parents

Mon père et Ma mère

*Qui étaient présents pour moi durant toute ma vie, qu'ils trouvent ici
le témoignage de mon amour profond et de ma gratitude certaine.*

Que Dieu les préserve de toute peine et de tout malheur.

A mes frères et sœurs.

A toute ma grande famille.

A toute les amis.

A Mon binôme Rachid.

A toute personne qui ma aidée de loin ou de près.

Menad

Dédicace

Au nom d'Allah le Miséricordieux, le très miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents

Mon père et Ma mère

*Qui étaient présents pour moi durant toute ma vie, qu'ils trouvent ici
le témoignage de mon amour profond et de ma gratitude certaine.*

Que Dieu les préserve de toute peine et de tout malheur.

A mes frères et sœurs.

A toute ma grande famille.

A toute les amis.

A Mon binôme Menad.

A toute personne qui ma aidée de loin ou de prés.

Rachid

Sommaire

Introduction générale1

Chapitre I : Description du réseau 3G UMTS

I.1 Introduction2

I.2 Caractéristiques d'un Système 3G2

I.2.1 Début de la normalisation.....2

I.2.2 Services.....4

I.2.3 Services proposés par un réseau UMTS..... 5

I.3 Architecteur du réseau.....6

I.3.1 Le réseau cœur (CN : Core Network).....6

I.3.2 Le réseau d'accès UTRAN (UMTS Terres Trial Radio Accès Network).....9

I.4 WCDMA dans L'UMTS.....13

 Pour quoi le WCDM ?.....14

 L'étalement du spectre.....15

I.5 Protocoles et canaux de l'interface radio.....18

I.5.1 Description des différents canaux19

I.5.2 Description et fonction des couches protocolaires.....23

I.6 CONCLUSION.....26

Chapitre II : La technologie du réseau 4G LTE

II.1 Introduction.....27

II.2 Evolution UMTS vers LTE.....27

II.2.1 Principe de W-CDMA.....27

II.2.2 La technologie HSDPA.....28

II.2.3 La technologie HSUPA.....28

II.2.4 La technologie de HSPA+.....29

II.3 Généralités de la technologie LTE (4G).....29

II.3.1 Architecteur Générique LTE.....	29
II.4 Caractéristique de la technologie LTE (4G).....	30
II.4.1 Connexion permanent.....	30
II.4.2 Délai pour la transmission de données.....	31
II.4.3 Mobilité.....	31
II.4.4 Co-existence et Interfonctionnement avec la 3G.....	32
II.4.5 La flexibilité dans l’usage de bande.....	32
II.4.6 Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales.....	32
II.4.7 Débit sur l’interface radio.....	32
II.5 Caractéristiques du réseau Central SAE.....	33
II.5.1 L’EPC est un réseau cœur paquet tout IP.....	33
II.5.2 L’EPC supporte les << Default bearers >> et <<Dédicated bearers>>.....	33
II.5.3 EPC supporte le filtrage de paquet	33
II.6 Principe de la technologie MIMO.....	34
II.7 Caractéristiques et entités du réseau EPS.....	35
II.7.1 Equipement Utilisateur(UE).....	37
II.7.2 Entité eNodeB.....	37
II.7.3Entité MME(Mobility Management Entity).....	38
II.7.4 L’entité <<Serving GW>> (Serving Gateway).....	39
II.7.5 Entité PDN-GW(Paket Data Network Gateway).....	40
II.7.6 Entité HSS(Home Subscriber Server).....	40
II.7.7 L’entité PCRF(Policy & Charging Rules Function).....	41
II.8 Les couches du modèle LTE(4G).....	41
II.8.1 Les couches supérieures du protocole LTE.....	41
II.8.2 Couche NAS (Nom Access Stratum).....	42
II.8.3 Couche RRC (Radio Resource Control).....	43
II.8.4 Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol).....	44

II.8.5 Couche RLC (Radio Link Control).....	44
II.8.6 La couche MAC (Medium Access Control) de LTE.....	44
II.9 Ordonnancement	44
II.9.1 La technique de retransmission HARQ.....	45
II.9.2 La recherche des cellules.....	45
II.9.3 Contrôle de l'énergie.....	45
II.9.4 Le protocole ARP(Allocation and Retention Priority).....	45
II.9.5 Les voies logiques et leurs canaux de transport et d'utilisation.....	45
II.10 La couche Physique de LTE.....	46
II.10.1 la trame physique LTE.....	46
II.10.2 Le codage du canal.....	47
II.11 Principalement les protocoles ARQ et HARQ	47
II.11.1 Définition des protocoles d'acquittement ARQ.....	47
II.11.2 Les protocoles ARQ.....	48
II.11.2.1 Le protocole « Stop and Wait ».....	48
II.11.2.2 Le protocole « Go-Back-N (sliding window) ».....	48
II.11.2.3 Le protocole répétition sélectif (Selective Repeat).....	48
II.11.3 Le protocole d'acquittement HARQ.....	49
II.12 Principales différences entre les normes LTE et UMTS.....	49
II.13 CONCLUSION.....	50
Chapitre III : Planification LTE avec Atoll	
III.1 Introduction.....	51
III.2 Dimensionnement.....	51
III.2.1 Dimensionnement par couverture.....	51
III.2.2 Dimensionnement par capacité.....	51
III.2.3 Choix de la distance inter-sites.....	51
III.3 RND (radio network dimensioning).....	52
III.4 Présentation générale du logiciel.....	53
III.5 Préparation des données.....	53
III.6 Ajout des sites.....	59

III.7 Conclusion.....61

Conclusion Générale.....62

Glossaire

Bibliographie

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Allocation du spectre dans la 3G.....4

Figure I. 1 : Réseau cœur7

Figure I.3 : Réseau d'accès UTRAN10

Figure I.4 : Node B avec antennes Sectorielle et omnidirectionnelle11

Figure I.5 : Représentation des roles du RNC.....12

Figure I.6 : Etalement du spectre dans le WCDMA.....15

Figure I.7 : Etalement du spectre avec DS-CDMA.....16

Figure 1. 2 : Arbre des codes OVSF.....17

Figure I.9 : Structure protocolaire.....19

Figure I.10 : Correspondance des différents types de canaux.....22

Figure I.11 : Couches protocolaires de l'interface air.....23

Chapitre II :

Figure II.1: Evolution vers LTE.....27

Figure II.2: Architecture Générique LTE.....30

Figure II.3: le hard handover.....31

Figure II.4: Le soft handover.....32

Figure II.5: Schéma représentatifs le système MIMO.....34

Figure II.6: L'architecture d'EPS.....35

Figure II.7: L'évolution des réseaux mobiles.....36

Figure II.8: Le graphe d'états fini d'UE.....37

Figure II.9: L'architecture E-UTRAN.....38

Figure II.10: Architecture L TE : Plan de contrôle.....42

Figure II.11 : Architecteur LTE au plan de données utilisateur.....	42
Figure II.12: Fonctionnement de la couche RRC.....	43
Figure II. 13: La trame physique L TE.....	47
Chapitre III :	
Figure III.1 : Chevauchement entre sites.....	52
Figure III.2 : Les différentes fonction de logiciel RND.....	52
Figure III.3 : Calcule de nombre de site.....	53
Figure III.4 : Interface de démarrage.....	53
Figure III.5 : Création d'un nouveau projet LTE.....	54
Figure III.6 : Carte topographique de Tizi-Ouzou.....	55
Figure III.7 : Définition des propriétés d'un site.....	56
Figure III.8 : Définition des propriétés d'un émetteur.....	57
Figure III.9 : Répartition des environnements urbain dense, urbain.....	58
Figure III.10 : Composition de la Zone sélectionnée	59
Figure III.11 : Distribution des sites.....	59
Figure III.12 : Activation des secteurs.....	60
Figure III.13 :Prédiction de couverture.....	61

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1: Les variantes de la 3G.....	3
Tableau I.2 : Classe de service UMTS.....	6
Tableau I.3 : Interfaces et protocoles du CN.....	9
Tableau I .4 : Interfaces et protocoles de l'UTRAN.....	12
Tableau I.5 : Principale caractéristiques des techniques d'accès radio de l'UTRAN.....	14
Tableau I.6 : Fonction de la couche RLC suivant le mode utilisé.....	24

Chapitre II :

Tableau II.1 : La Cartographie des voies logiques aux canaux de transport.....	46
--	----

Introduction générale

Introduction générale

Le réseau radio mobile est aujourd'hui un domaine en pleine effervescence. Pendant la dernière décennie, l'évolution de la télécommunication a donné vie à une nouvelle gamme de service qui a écarté les services classiques afin de satisfaire l'augmentation du nombre des utilisateurs et les exigences de la quantité de données élevées.

Cette motivation, a poussé la génération mobiles à se développer de la technologie UMTS vers un système LTE (Long Terme Evolution).

Le système 4G permet la mise à niveau des réseaux de communication. Il devrait fournir une solution IP complète et sécuriser pour les installations multimédias, telles que la voix et les données multimédias qui seront fournies aux utilisateurs; dans un esprit de « Anytime, Anywhere », avec une qualité de service beaucoup plus élevée par rapport aux générations précédentes.

L'initiative, nommée LTE/SAE (System Architecture Evolution), résulte de la version 8 des spécifications 3GPP (Third Generation Partnership Project). En plus d'un débit de 100 Mb/s, le nouveau standard devrait permettre aux opérateurs de réduire leurs coûts.

Ce dernier critère est crucial pour le développement d'une technologie, et ainsi il permettrait aux utilisateurs de bénéficier de meilleures performances et d'un temps de latence.

Dans le premier chapitre on a présenté d'une façon générale le réseau 3G (l'architecture et les sous systèmes, les caractéristiques les interfaces, les différents canaux), ensuite on a donné les différents changements qu'a apporté cette technologie par rapport aux technologies précédente.

Le deuxième chapitre comprend la technologie du réseau 4G LTE. des réseaux de communication cellulaires sans fil. Nous allons présenter une étude introductive portant sur les spécifications techniques de ce standard par une description globale des successeurs de la 3G vers LTE, puis on a donné les différents changements apportés par la LTE.

Dans le troisième chapitre on a fait une étude sur la planification de réseau de 4^{ème} génération pour la ville de Tizi-Ouzou avec l'outil de planification radio nommé Atoll ainsi qu'avec l'outil de dimensionnement RND. Enfin une conclusion générale récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

Chapitre I

Description du réseau 3G UMTS

I.1. Introduction

Les réseaux cellulaires analogiques ont été communément appelés « systèmes de première génération ». Quant aux réseaux numériques utilisés à l'heure actuelle, comme le GSM, ils sont regroupés sous l'appellation de « systèmes de deuxième génération ». Ces systèmes ont permis aux communications vocales de s'affranchir de la traditionnelle paire de cuivre et de gérer efficacement la mobilité de leurs utilisateurs.

Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la seconde : la 2.5 et la 2.75, les systèmes dits de « troisième génération » ont été conçus pour les communications multimédia. Avec ces nouveaux systèmes, le UMTS en particulier, est aujourd'hui à la tête des systèmes cellulaires numériques, très répandus dans le monde, il offre un très grand nombre de services, et permet l'échange d'information entre deux ou plusieurs usagers. Ce qui suit, correspond aux caractéristiques de la technologie UMTS :

I.2 Caractéristiques d'un système 3G**I.2.1 Début de la normalisation**

La seconde génération de la téléphonie mobile était une normalisation internationale mais par région (GSM en Europe, IS-95 aux États-Unis et PHS au Japon). Les instances de normalisation se sont ensuite tournées vers un système unique de 3^{ème} génération :

L'International Mobile Telecommunications IMT2000 dont l'idée fondatrice était d'intégrer tous les systèmes 2G en un seul réseau et de lui adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données).

IMT2000 ne correspond pas à une interface de communication unique mais à un ensemble de systèmes comprenant plusieurs interfaces plus ou moins compatibles entre elles (UMTS, CDMA2000 et UWC-136).

Les organismes régionaux de normalisation ont commencé leurs travaux sur l'IMT2000 séparément, mais comme c'est les mêmes constructeurs qui interviennent au sein de l'ETSI en Europe et de l'ARIB au Japon, une coopération a été créée entre ces deux organismes, le T1 américain, la TTA Coréenne et le CWTS Chinois donnant naissance au 3GPP (3rd Generation Partnership Group) pour travailler à une solution unique qui sera proposée à l'UIT.

Variante 3G	Accès radio	Commutation	Base en 2G
3G (US)	WCDMA, EDGE, CDMA2000	IS-41	IS-95, GSM1900,TDMA
3G (Europe)	WCDMA, EDGE	NSS du GSM avancé + Coeur paquet	GSM900/1800
3G (Japan)	WCDMA	NSS du GSM avancé + Coeur paquet	PDC

Tableau I.1: Les variantes de la 3G

La nomination 3G vient de la décision du 3GPP, sous le nom officiel ‘‘3GPP System’’. Ce nom doit être suivi par un numéro de version ou Release décrivant différentes spécifications. Avec cette logique la première version européenne de l’UMTS était appelée ‘‘3GPP System Release 99’’ introduite en 1999 et satisfaisant toutes les exigences technologiques de l’IMT 2000 couche physique flexible pour l’introduction de nouveaux services, débit jusqu’à 2Mbps, et la prise en charge du mode paquets. Après la R99, vient la R4 (mars 2001) caractérisée essentiellement par la séparation des plans contrôle et usager dans le MSC (mode circuit).

La R5 fut créée en mars 2002 avec la HSDPA qui a fait augmenter le débit au-delà de 10Mbps (avec WCDMA de 5 Mhz). Mais malgré cela, la nomination IMT 2000 reste toujours utilisée.

Le choix du système 3G comprend plusieurs facteurs :

- Facteurs techniques : fourniture des débits demandés et performance du réseau.
- Facteurs politiques : les organismes de normalisation doivent parvenir à un accord et prendre en compte les spécifications régionales.
- Facteurs commerciaux : les investissements des opérateurs dans les systèmes existants imposent que les systèmes 3G soient compatibles avec les systèmes 2G.

Les principales recommandations et caractéristiques à respecter sont :

- Un débit (en mobilité) de 144kbts/s au minimum pouvant atteindre 2Mbps/s dans certaines zones (de mobilité limitée).
- Haute efficacité spectrale et grande capacité par rapport aux systèmes 2G.
- Haute flexibilité pour permettre aisément l’introduction de nouveaux services.
- Apport d’amélioration sur tous les plans par rapports aux systèmes 2G, cependant le système doit assurer dans son début une interopérabilité avec les réseaux d’accès radio de 2^{ème} génération.

- Services utilisant la technique à commutation de circuits et à commutation de paquets.
- Les services offerts aux usagers doivent être indépendants de la technologie d'accès radio et de l'infrastructure du réseau.

- Allocation du spectre

Pour implémenter les réseaux de la 3G, il faut leur allouer un spectre, cela était réalisé en 1992, par le WARC (*World Administrative Radio Conference*) de l'UIT, et ce suivant la figure I.1.

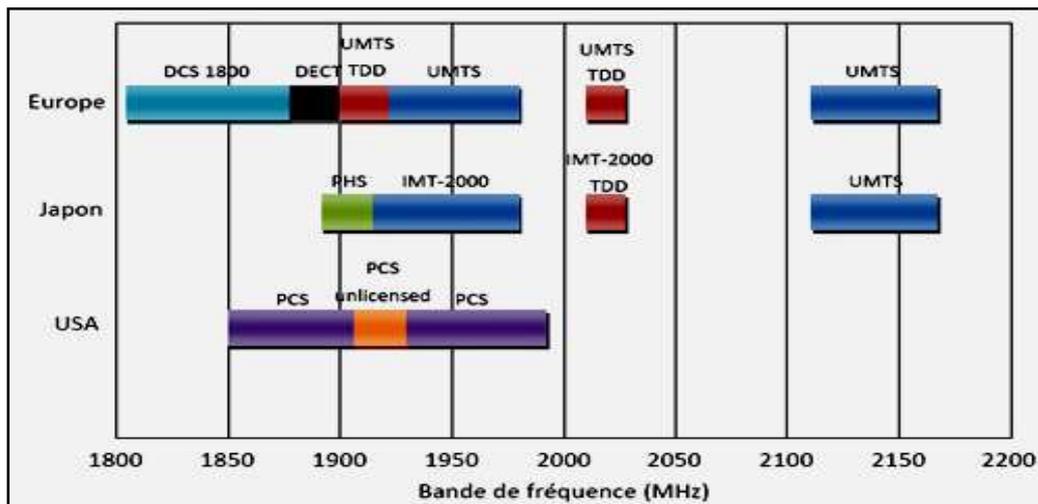


Figure I.1 : Allocation du spectre dans la 3G

I.2.2 Services

L'utilisateur final est moins sensible aux améliorations techniques que peut représenter la mise en place du réseau qu'aux services que celui-ci peut lui procurer.

Du point de vue services, la différence remarquable est que le débit est plus élevé en UMTS mais aussi la possibilité d'établir et de maintenir plusieurs connexions simultanément.

L'offre de services ne sera plus limitée aux opérateurs, mais des tiers (fournisseurs de services) peuvent aussi le faire, ainsi l'éventail de services sera théoriquement illimité.

L'équipement usager (UE pour User Equipment) est le vecteur qui permet à l'abonné d'accéder au service. Les UEs sont classés en fonction de leurs puissances d'émission en 4 classes pour des puissances allant de 21dBm à 33dBm, en fonction de leurs capacités radio (technologie radio, débit maximum que l'UE peut offrir dans la voie montante et dans la voie descendante support ou non du mode compressé...) et en fonction de la manière avec laquelle ils basculent entre les modes GSM/UMTS s'ils ont la fonctionnalité 'Bimodes'.

Ces Caractéristiques sont signalées au réseau lors de l'établissement d'une connexion pour lui permettre de connaître les services supportés par le terminal mobile.

I.2.3 Services Proposés par un réseau UMTS

a. Services standardisés (services de base)

- **Service support (bearer)** : services permettant d'acheminer des signaux entre deux points pour le transport de l'information liée à un service. Ses propriétés (orienté connexion ou non, point-à-point ou point-à-multipoint...) sont choisies suivant la capacité nécessaire et la qualité de l'information à transmettre. Si la communication est à commutation de circuits, le bearer doit être dévoué pendant toute sa durée. En UMTS il est possible de gérer les services support de manière dynamique et cela représente une des principales différences avec le GSM.

- **Téléservices** : portés par les services support, ils proposent une offre complète pour la transmission de l'information.

Ce sont des services hérités des systèmes 2G et 2.5G comme la transmission de la voix, le service de messages courts SMS et multimédia MMS et le service de transmission de fax.

- **Services supplémentaires** : ceux-ci aussi sont déjà connus, par exemple le renvoi d'appel, l'identification du numéro, conférence et restriction d'appel.

b. Services non standardisés

Ce sont des services ou applications développés à partir des 'capacités de services'.

Pour rendre flexible l'innovation et la diversification des services autres que les services de base, la normalisation touche plutôt les 'capacité de services' : les services support, une architecture générique pour le développement, et trois outils normalisés déjà connus pour la création de services qui sont :

-MExE (Mobile Station Application Execution Environment) : un environnement d'exécution sur l'UE permettant d'exécuter certains services avec une certaine qualité en fonction de ses caractéristiques (écran, mémoire...).

-USAT/SAT (USIM/SIM Application Toolkit) permet l'interaction entre l'USIM et l'UE avec des applications résidant dans l'USIM/SIM.

-CAMEL (Costomised Application for Mobile network Enhanced Logic) : mécanismes permettant de supporter des services indépendants du réseau, et repose sur le concept des réseaux intelligents.

Classification des services en fonction de la QoS :

Classe QoS	Délai	Exemples d'application	Débit
Conversational	<< 1s	Téléphonie (en mode circuit ou paquet), visiophonie. jeux interactifs.	32-384 Kbit/S 1 Kbit/s
Streaming	< 10s	Audio haute qualité Télésurveillance image fixe.	32-128Kbit/s Non garanti
Interactif	1s	Navigation sur internet, e-commerce, services de géolocalisation	Non garanti
Background	> 10s	E-mail, SMS	Non garanti

Tableau I.2 : Classe de service UMTS

Dans les services streaming, le contenu est visualisé avant sa réception complète.

Un service interactif peut mettre en scène une personne et une machine ou deux machines. Des services voix et données peuvent être utilisés simultanément.

I.3 Architecture du réseau

Un réseau de téléphonie mobile de 3^{ème} génération comprend deux parties principales : le réseau cœur et le réseau d'accès radio.

I.3.1 Le réseau cœur (CN : Core Network)

Le réseau cœur a pour rôle la commutation des appels et le routage des paquets à l'intérieur du réseau et l'interconnexion avec les autres réseaux en vue de gérer les services souscrits par un abonné.

Son architecture de base est très semblable à celle du GSM phase 2+ permettant de réduire le coût d'investissement initial (figure. I.2) Il est composé de :

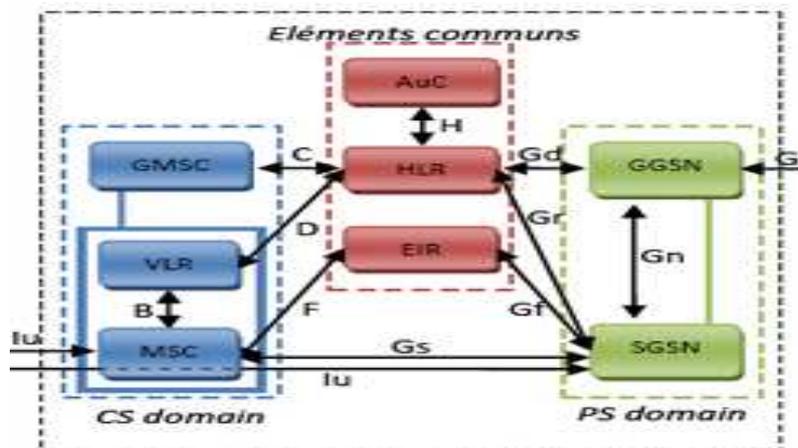


Figure I. 1 : Réseau cœur

a. Domaine à commutation de circuit (CS domain) :

Il comprend les mêmes éléments que le sous système NSS du GSM. Il dessert les services temps réel (téléphonie et visiophonie) et de messages SMS et fax.

MSC (Mobile Switching Center) : il assure l'interface à un mobile pour l'accès aux services à commutation de circuit. Il gère l'inscription des abonnés, l'authentification et la mise à jour de localisation.

GMSC (Gateway MSC) : il est l'un des MSC du réseau et assure l'interface vers les réseaux extérieurs.

VLR (Visitor Location Register) : c'est une base de données contenant les informations sur la position de l'abonné et ses identificateurs temporaires.

b. Domain de commutation de paquet (PS domain) :

Il assure la connexion aux réseaux supportant le protocole IP et supporte des services de type interactif, streaming, background et même conversationnel. Son architecture est similaire à celle de GPRS :

SGSN (Serving GPRS Support Node) : son rôle est comparable au MSC/VLR dans le domaine CS. Il achemine les paquets de données, exécute les procédures de routage, la gestion de la mobilité et l'authentification.

GGSN (Gateway GPRS Support Node) : joue le rôle d'interface entre le réseau GPRS (GGSN et les SGSN) et les réseaux à commutation de paquets externes (Internet, X.25, ...).

C. Eléments communs aux domaines (CS et PS) :

HLR (Home Location Register) : c'est une base de données contenant les éléments définissant l'abonnement de l'utilisateur et permettant l'identification et l'authentification de l'abonné.

AuC (Authentication Center) : contient les paramètres de gestion de la sécurité de l'accès au système.

EIR (Equipment Identity Register) : contient une liste des équipements, dite liste noire, dont l'accès doit être refusé (équipements volés ou non homologués).

Interfaces et protocoles utilisé au sein du réseau cœur :

Interfaces	Extrémités	Fonctions	Protocole
Iu	CN- UTRAN	Communication avec les UE via l'UTRAN	
Iu-CS	CN(CS)- UTRAN	Pour les services à commutation de circuit	MM, CM, RANAP
Iu-PS	CN(PS)- UTRAN	Pour les services à commutation de paquet	SM, GMM, RANAP
RTC	MSC-GMSC ou GMSC- autre réseau	Communication avec les réseaux à commutation de circuit externes	SS7-ISUP, SS7-MAP
C	GMSC- HLR	Informations sur les abonnés lors d'une communication entrante	SS7-MAP
D	VLR-HLR	Authentification et mise à jour de localisation	SS7-MAP
F	MSC-EIR	Vérifier que l'UE n'est pas dans la liste noire.	SS7-MAP
Gf	SGSN-EIR	Vérifier que l'UE n'est pas dans la liste noire.	
Gr	SGSN-HLR	Authentification et mise à jour de localisation	
Gd	GGSN-HLR	Informations sur les abonnés lors d'une	

		communication entrante	
Gi	GGSN-autre réseaux	Communication avec les réseaux à commutation de paquets externes	IP
Gn	GGSN-SGSN	Routage des paquets vers les réseaux externes	GTP
B	MSC-VLR	Recherche des identificateurs et localisation des abonnés	SS7-MAP
Gs	MSC-SGSN	Interaction des domaines PS et CS	BSSAP+

Tableau I.3 : Interfaces et protocoles du CN

-MM (Mobility Management) et CM (Connection Management) ainsi que SM (Session Management) et GMM (GPRS MM) sont des sous couches protocolaires du plan contrôle entre CN et les UE.

-RANAP (Radio Access Network Application Part) régie l'échange entre le CN et l'UTRAN (RNC), il est le support des sous couches MM, CM, GMM et SM.

-GTP (GPRS Tunnel Protocol) permet des connexions logiques (tunnel) entre SGSN et GGSN.

Remarque : l'architecture du CN présentée correspond à l'architecture de base, le 3GPP inclut de nouvelles fonctionnalités dans les versions (release) ultérieures comme IMS (IP multimedia subsystem). Le réseau cœur verra une migration progressive vers le tout-IP.

I.3.2 Le réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

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 :

-Accès au réseau (gestion de l'admission, allocation des ressources radio, contrôle de congestion, diffusion des informations système).

-Sécurité et confidentialité des informations de l'utilisateur.

-Synchronisation (maintien de la base temps de référence) entre le réseau d'accès et l'UE, et entre les différents éléments qu'il contient.

-Gestion de la mobilité (estimation de la position géographique).

-Gestion des ressources radio (allocation et maintien).

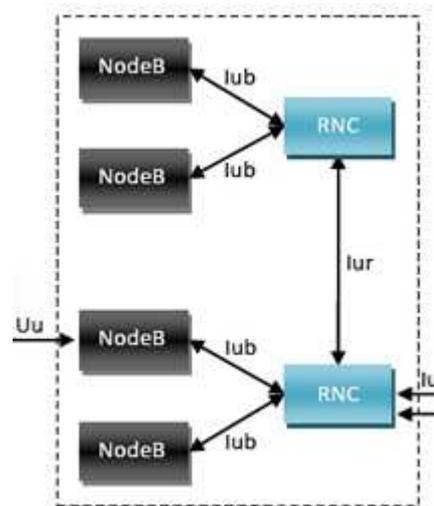


Figure I.3 : Réseau d'accès UTRAN

Nouveautés par rapport au BSS :

- Quatre nouvelles interfaces ouvertes (normalisées).
- Utilisation du CDMA comme méthode d'accès.
- Gestion des données des services PS et CS par la même pile de protocoles de l'interface radio.
- Utilisation d'ATM comme protocole de transport, permettant des débits variables et des délais de transmission respectés. A partir de la release 5 c'est IP qui remplacera ATM.
- Support du soft-handover (dans la macrodiversité), ceci est l'impact majeur du design de l'UTRAN.
- Gestion de la mobilité indépendamment du réseau cœur.

Lorsque ceci est possible, une interopérabilité avec le réseau d'accès GSM peut exister.

Le Node B

C'est le nœud d'accès à l'UTRAN. Il assure la transmission/réception radio. La zone qu'il gère est appelée cellule.

Le node B, avec une pile de protocoles spécifiques l'interface radio, opère principalement dans la couche physique : allocation des canaux physiques, adaptation des messages à transmettre à l'interface radio, codage canal, étalement du spectre, modulation/démodulation (QPSK ou QAM pour les débits élevés), filtrage et amplification, nous pouvons trouver deux type de node b :

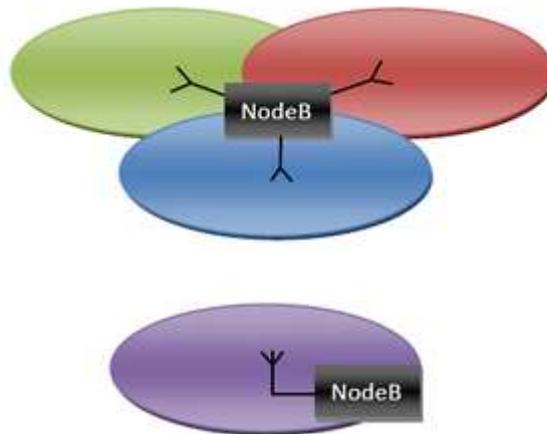


Figure I.4 : Node B avec antennes sectorielles et omnidirectionnelle

Contrôleur du réseau radio RNC (Radio Network Controller) :

Route les connexions entre les nodes B et le CN (un MSC et un SGSN). Il Contrôle plusieurs nodes B et opère au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI. On cite parmi ses fonctions :

- Contrôle de puissance en boucle externe.
- Contrôle de l'admission des mobiles et du handover.
- Allocation des codes CDMA.
- Combinaison/distribution des signaux des nodes B impliqués dans une situation de macrodiversité.

Un RNC peut avoir trois rôles fonctionnels :

- RNC de contrôle (CRNC) : gère, d'une façon statique indépendamment des communications, les ressources radio des nodes B qu'il contrôle. Il est responsable du contrôle de l'admission des UE, de la charge et de la congestion de ses propres cellules.

-RNC serveur (SRNC) : gère individuellement les ressources utilisées par chaque UE en Connexion, il termine d'un coté la liaison avec CN sur l'interface Iu et de l'autre la liaison RRC avec l'UE. Chaque connexion d'un UE est servie par un et seulement un SRNC en termes d'allocation de supports (Radio Access Bearer RAB), d'interfaçage avec le CN et des différents contrôles (puissance, handover et mobilité).

-RNC en dérivation (DRNC pour drift RNC) : désigne tout RNC impliqué dans une connexion d'un UE (càd qui contrôle une cellule utilisée), autre que son SRNC. Il communique avec le SRNC via l'interface Iur. Le DRNC ne fait qu'un routage transparent des données entre les interfaces Iub et Iur un RNC avec les nodes B qu'il contrôle forment un sous-système du réseau radio (RNS).

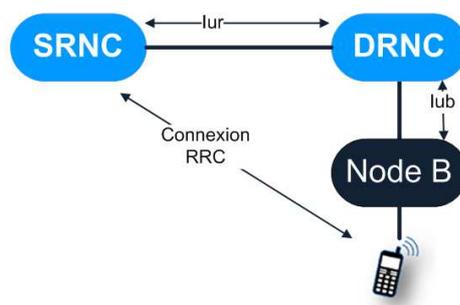


Figure I.5 : Représentation des rôles du RNC

Interfaces et protocoles dans l'UTRAN :

Interfaces	Extrémités	Fonction	Protocole
Uu	UE-Node B	Interface radio, permet l'accès et la communication avec le réseau	RRC
Iu-CS	RNC-MSC	Services en mode circuit	RANAP
Iu-PS	RNC-SGSN	Services en mode paquet	RANAP
Iur	RNC-RNC	Macrodiversité et soft handover	RNSAP
Iub	Node B-RNC	Allocation de support à l'UE vers le RNC	NBAP

Tableau I .4 : Interfaces et protocoles de l'UTRAN

-RANAP (Radio Access Network Application Part), RNSAP (RNS Application Part) et NBAP (Node B Application Part) sont les protocoles d'application des interfaces correspondantes et permettent chacun sur son interface d'allouer et de gérer les services support radio (Radio Access Bearers ou RAB).

-RRC (Radio Resources Control) est le protocole responsable de l'établissement d'une liaison radio entre l'UE et l'UTRAN, appelée liaison RRC.

I.4 WCDMA dans l'UMTS

Les systèmes cellulaires reposent sur l'accès multiple : TDMA, FDMA, CDMA ou sur une combinaison de deux de ces techniques, le facteur le plus important dans toutes ces techniques est le nombre d'utilisateurs et le service supporté pour des conditions de propagation données. Le CDMA est la technique la plus proche pour réaliser ces deux points. Dans l'UMTS, vu la diversité des services on a préféré utiliser le WCDMA avec ses deux variantes UTRA/FDD et UTRA/TDD. Ces dernières ont les caractéristiques illustrées dans le tableau suivant :

	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Techniques d'accès multiple	FDMA/CDMA	TDMA/CDMA
Mode de duplexage	FDD	TDD
Séparation entre porteuses (MHz)	5	5
Spectre de fréquence (KHz)	1920-1980 Uplink 2110-2170 Downlink	1900-1920 Uplink Downlink 2010-2025 Uplink Downlink
Type de modulation	BPSK en Uplink QPSK en Downlink	QPSK
Périodicité de contrôle de puissance	1500Hz	100 à 750 Hz
Durée d'une trame	10ms	10ms
Durée d'un slot (ms)	10/15=0.667	10/15=0.667

Débit chip	3.84 Mcps	3.84 Mcps
Synchronisation entre BS	Optionnelle (synchrone et Asynchrone)	Synchrone

Tableau I.5 : Principales caractéristiques des techniques d'accès radio de l'UTRAN

Notons que la technique la plus utilisée est la FDD.

Pourquoi le WCDMA ?

Le WCDMA est un système d'accès multiple par répartition de codes utilisant une modulation par séquence directe (DS-WCDMA) large bande garantissant un débit élevé et un grand nombre de UEs (du fait qu'il utilise la méthode CDMA comme technique d'accès), en plus de ces deux avantages, on cite :

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

La question qui peut venir à l'esprit est : pourquoi on gaspille la fréquence, alors que c'est une ressource rare ? La réponse vient de la célèbre formule de Shannon :

$$C = B \log_2 (1+S/N) \dots \dots \dots (1)$$

En faisant un développement limité, on a

$$C = (S/N) * B / \ln 2 \dots \dots \dots (2)$$

D'où $(S/N) = C \ln 2 / B$

De première vue on remarque que : en augmentant la bande de fréquence B, on a un (S/N) requis moins important à la réception avec la même capacité, donc comme conséquence un débit élevé.

L'autre point important est le nombre d'utilisateurs, celui-ci est assuré par la technique CDMA qu'on va expliquer dans le paragraphe suivant.

L'étalement du spectre

L'étalement de spectre est la technique qui permet de transmettre un signal sur une largeur de bande plus grande que celle qui est strictement nécessaire. Le facteur le plus important dans l'étalement est *le gain de traitement* noté G_p , et donné par la relation : $G_p = D_{\text{chip}}/D_{\text{info}}$ (D pour débit). Dans le système CDMA le signal de données sera élargi en spectre pour être transmis, deux techniques différentes sont utilisées pour élargir ou moduler le signal :

- La séquence directe DS-SS-CDMA : qui est utilisé en UMTS et consiste à multiplier les symboles d'information par une séquence pseudo-aléatoire de bits de durée plus petite, appelés *chips*, de telle sorte qu'un symbole informationnel soit représenté par M chips (M étant la longueur de la séquence).
- Le saut de fréquence FH-SS-CDMA : dans ce cas la fréquence est changée M fois pendant la durée d'un symbole.

Le signal étalé peut se trouver noyé dans l'interférence au point qu'il donne illusion d'en faire partie, d'où l'impossibilité de le détecter sans connaître le code d'étalement dans le cas du DS-SS-CDMA.

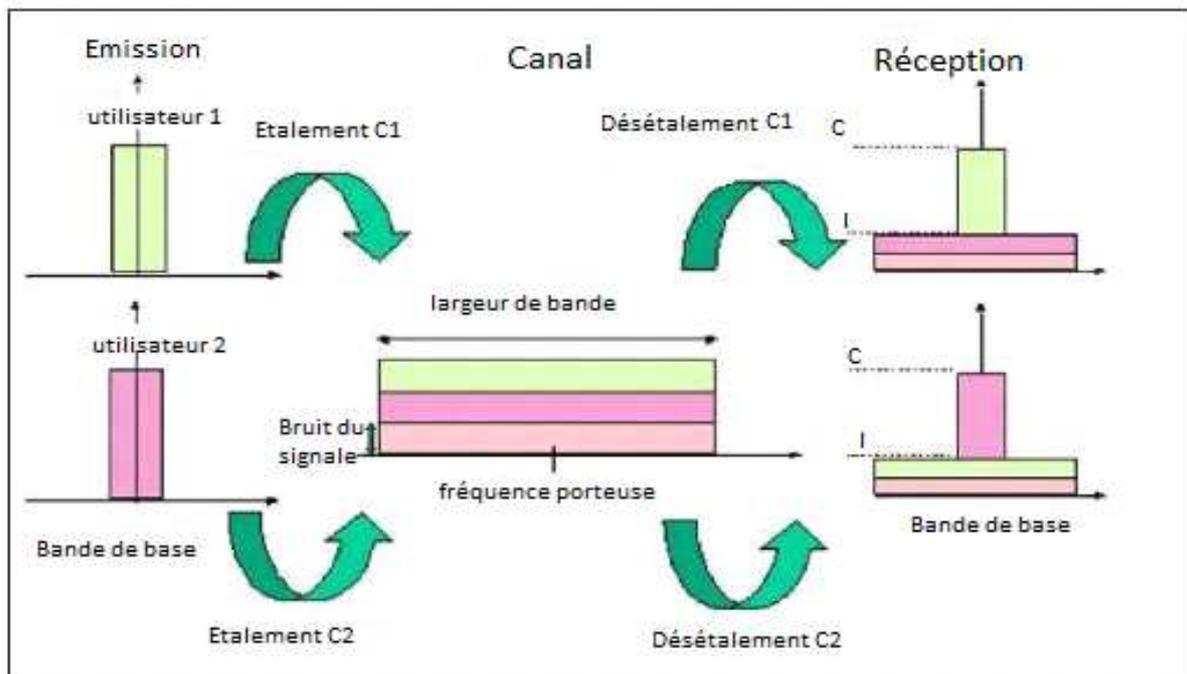


Figure I.6 : Etalement du spectre dans le WCDMA

Utilisation du DS-CDMA dans l'étalement du spectre

Le CDMA à séquence directe est la technique la plus répandue dans les systèmes de radiocommunication mobile, dans laquelle le signal est directement modulé par une séquence appelée *séquence d'étalement* ou *code de canalisation*, les composants de cette séquence sont les *chips* et ont un débit fixe égale à 3.84 Mcps (dans l'UMTS). L'amplitude des chips prend les valeurs (+1) et (-1). Ainsi un service à haut débit nécessitera moins de chips pour coder un symbole d'information qu'un service à faible débit.

La réception, le signal est transformé en bande de base, puis multiplié par le même code utilisé en émission ce qui a pour effet d'enlever la contribution du code et de ne garder que le message d'information

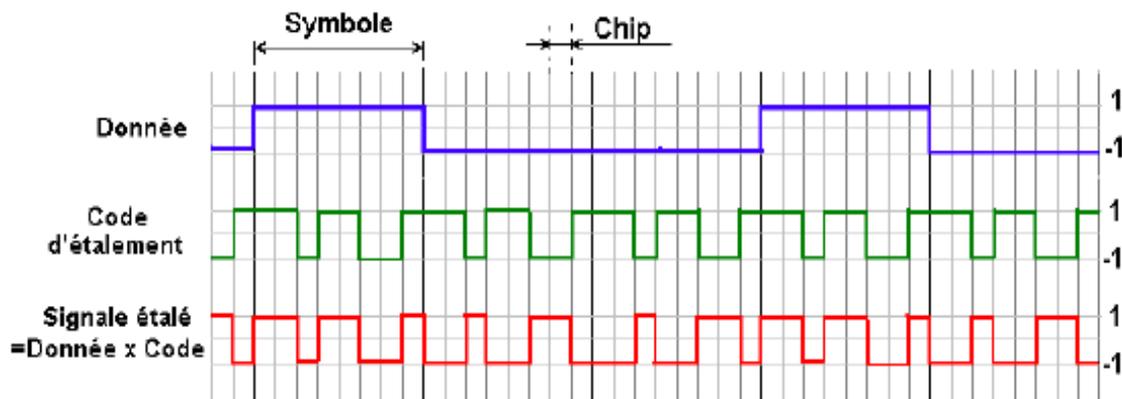


Figure I.7 : Etalement du spectre avec DS-CDMA

La longueur du code utilisé est appelée facteur d'étalement SF (Spreading Factor) et dépend du débit symbole représenté par la fonction suivante :

$$SF = D_{chip} / D_{symbole} \text{ (puisque } D_{chip} = \text{constant} = 3.84 \text{ Mcps)} \dots \dots \dots (3)$$

Ces codes doivent être orthogonaux en Downlink et pas nécessairement en Uplink. L'orthogonalité veut dire que leur fonction d'intercorrélation satisfait la relation $R_{c_i c_j}(0) = 0$.

La génération des codes fait appel à plusieurs techniques parmi lesquelles, on peut citer :

Codes de Walsh-Hadamard

Ils vérifient la condition d'orthogonalité, ils sont choisis d'après l'ensemble des fonctions proposées par Walsh, leur génération par matrice de Hadamard est la plus courante ; elle est sous la forme :

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & H_N \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

Avec N=puissance de 2, et H1= [1]

Ces codes sont également appelés facteurs d'étalement orthogonaux à longueur variable OVSF.

On peut aussi les obtenir en utilisant l'arbre de Walsh à condition de ne pas utiliser les codes issus d'une même branche mère en même temps (voir la figure I.8).

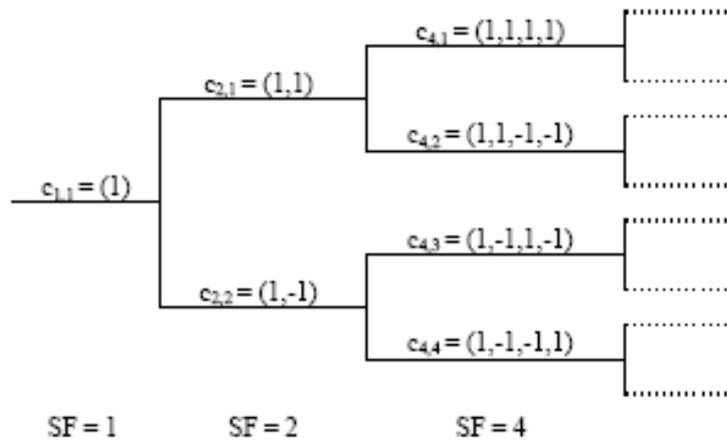


Figure I.8 : Arbre des codes OVSF

Codes pseudo-aléatoires

Appelés également les M-séquences. Ce sont des codes qui ont des propriétés assez intéressantes, vu leurs ressemblances aux séquences aléatoires ce qui les rend difficiles à détecter. Ils sont générés par des registres à décalage avec contre réaction, ils ne sont pas orthogonaux et leur utilisation en CDMA découle des bonnes propriétés d'autocorrelation.

Codes de Gold

Un code Gold est une combinaison de deux m-séquences, il est caractérisé par ses bonnes propriétés d'intercorrelation et le grand nombre des de codes générés. Ces codes ne sont pas orthogonaux.

Code d'embrouillage

Il est appliqué après l'étalement son rôle est de distinguer les UE dans le Uplink, et de différencier les cellules dans le Downlink, cela est très efficace car il permet d'utiliser les codes de canalisation une autre fois dans les autres cellules. Les couches supérieures assignent en Uplink 2²⁴ codes longs ayant une longueur de 38400 chips et 2²⁴ codes courts de longueur 256 chips.

En Downlink, ces codes sont divisés en 64 groupes de 16 codes chacun de taille 256 chips, connus lors de la deuxième étape de synchronisation au niveau slot.

Utilisation des codes

En Uplink : le code de canalisation en Up est utilisé pour différencier les canaux physiques et c'est un Walsh Hadamard, tandis que celui d'embrouillage est un Gold.

En Downlink : le code de canalisation utilisé pour identifier les différents UE est un code Walsh Hadamard, et le code d'embrouillage est un code pseudo-aléatoire de Gold.

I.5. Protocoles et canaux de l'interface radio

C'est les protocoles de l'interface d'accès qui font les plus nettes différences entre UMTS et les systèmes 2G. Ces protocoles sont référencés par le terme « access stratum ».

Ces protocoles agissent au niveau de trois couches : la couche physique (L1), la couche liaison de données (L2) et la sous couche basse de la couche 3 RRC (Radio Resources Control).

La couche 2 est composée des quatre sous couches suivantes :

- MAC (Medium Access Control)
- RLC (Radio Link Control)
- PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
- BMC (Broadcast/Multicast Control)

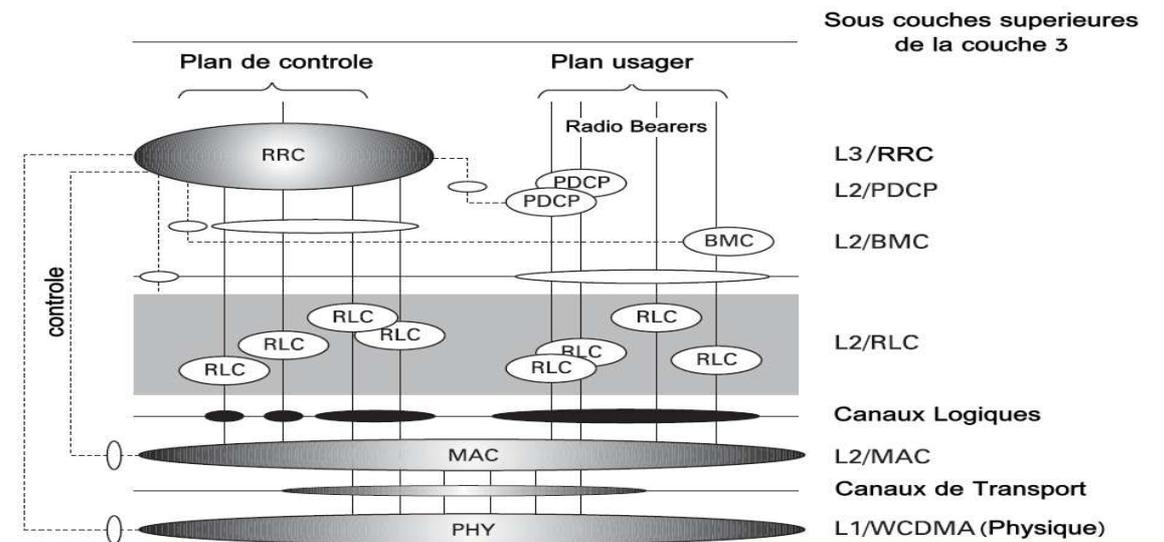


Figure I.9 : Structure protocolaire

Sur la figure I.9 est illustré le découpage vertical en plan usager pour le transfert des données utilisateurs et plan de contrôle pour le transfert des messages de signalisation.

I.5.1. Description des différents canaux

Canaux logiques

Un canal logique est défini par le type d'information transportée.

Canaux logiques de contrôle (plan de contrôle)

- BCCH (Broadcast Control Channel) : Sur la liaison descendante, transporte les informations système diffusées dans une cellule concernant les paramètres nécessaires à un mobile pour l'accès au réseau, l'identité et le type du PLMN, les informations de contrôle des mesures à effectuer par l'UE, etc.
- CCCH (Common Control Channel) : Canal bidirectionnel transportant les informations de signalisation utilisées par exemple pour l'établissement d'une liaison RRC et pour la mise à jour de la zone de localisation.
- PCCH (Paging Control Channel) : Uniquement sur la voie descendante, il transporte les informations de 'paging' diffusées dans la cellule pour localiser un UE.
- DCCH (Dedicated Control Channel) : Canal bidirectionnel transportant les informations de signalisation dédiées à un UE en particulier après l'établissement d'une liaison RRC.

Cette signalisation peut être générée au niveau de la sous-couche RRC ou issue des couches supérieures.

Canaux logiques de trafic (plan usager)

- DTCH (Dedicated Traffic Channel) : Canal bidirectionnel transportant l'échange de données usager avec un mobile connecté au réseau.
- CTCH (Common Traffic Channel) : Canal unidirectionnel pour l'envoi de données usager en mode diffusion (groupe de mobiles).

Canaux de transport

Les canaux de transport représentent un service offert par la couche physique à la couche MAC. Ils supportent les canaux logiques et représentent la QoS sur la partie radio (radio bearers) i.e. le format et les caractéristiques de transfert. La plus petite entité de transport est appelée bloc de transport TB. La transmission est organisée sur des intervalles de temps TTI (10, 20, 40 ou 80ms). Un ensemble de blocs de transport TBS (TB Set) peut être groupé pendant chaque TTI selon le besoin.

Un format de transport TF indique pour chaque TTI un ensemble d'attributs décrivant le transport : la valeur du TTI, la taille des blocs TB, le nombre de TB dans un TBS, le type de codage canal et la taille du CRC (Cyclic Redundancy Check).

Une combinaison de formats TFC est nécessaire lorsque plusieurs canaux de transport sont actifs pour un utilisateur. Cette combinaison peut changer chaque TTI pour permettre une adaptation de la transmission aux contraintes de QoS, de priorités et de puissance d'émission.

Canaux de transport dédiés

- DCH (Dedicated Channel) : canal point à point existant dans les deux sens et transportant indifféremment les données de contrôle et de trafic en supportant le DCCH et le DTCH qui sont multiplexés sur un même DCH si leur QoS le permet, sinon il sont transportés par deux DCH distincts .

Canaux de transport communs

Ce sont des canaux unidirectionnels (voie descendante)

- BCH (Broadcast Channel) : transporte le canal logique BCCH ;
- PCH (Paging Channel) : transporte le canal logique PCCH.

- RACH (Random Access Channel) : utilisé par l'UE pour la demande d'accès aléatoire au réseau et peut aussi être utilisé pour le transport de paquets de trafic ou de signalisation sans contrainte d'acheminement en temps réel.

- FACH (Forward Access Channel) : transporte des messages de signalisation et des paquets usager de petite taille sur la voie descendante et doit comporter un indicateur de l'UE concerné.

Canaux de transport partagés

- DSCH (Downlink Shared Channel) : utilisé en association avec un ou plusieurs canaux dédiés. Il est partagé dynamiquement par plusieurs utilisateurs.

Canaux physiques

Un canal physique est défini par une fréquence porteuse, un code de canalisation, un code d'embrouillage, et une phase relative pour la voie montante.

Canaux physiques de la voie montante

- PRACH (Physical Random Access Channel) : supporte le canal de transport RACH.

- DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) : supporte les données usager des canaux de transport de type DCH. Si le débit d'un utilisateur est important, il peut être réparti sur plusieurs canaux DPDCH utilisés simultanément sur une seule liaison physique.

- DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) : un seul canal DPCCH associé à un ou plusieurs canaux DPDCH transporte les informations de contrôle générées aux niveaux de la couche physique.

Canaux physiques de la voie descendante

Les quatre premiers canaux supportent les canaux de transport décrits précédemment, les autres ne transportent que des informations de signalisation internes à la couche physique.

- DPCH (Dedicated Physical Channel) : supporte les canaux de transport de type DCH. Les informations de contrôle et les données usager sont multiplexées en temps au lieu d'être transportées sur deux canaux différents comme c'est le cas sur la voie montante.

- P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel) : supporte le canal de transport BCH.

- S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel) : supporte le canal de transport PCH et/ou un ou plusieurs canaux FACH.

- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) : il supporte les canaux DSCH. Il est toujours associé à un canal DPCH qui transporte dans son DPCCH les informations de contrôle du PDSCH.
- SCH (Synchronisation Channel) : il transmet en parallèle deux codes de synchronisation primaire et secondaire (PSC et SSC) pour permettre aux terminaux de se synchroniser en temps et de connaître le groupe des codes d’embrouillage afin de pouvoir décoder les informations des autres canaux physiques.
- CPICH (Common Pilot Channel) : transporte un train binaire prédéfini et joue le rôle de balise de référence pour l’estimation des conditions de propagation et pour le prélèvement des mesures nécessaires.
- PICH (Paging Indicator Channel) : associé à un canal S-CCPCH, il transporte les bits PI (paging indicator) relatifs au PCH porté par le S-CCPCH associé.
- AICH (Acquisition Indicator Channel) : associé au PRACH, il transporte les indicateurs d’acquisition AI pour acquiescer positivement ou négativement la réception d’un préambule d’accès sur le canal PRACH.

La structure de quelques canaux physiques peut être consultée sur l’Annexe A.

La correspondance entre les canaux logiques et les canaux de transport qui les supportent, ainsi qu’entre ces derniers et les canaux physiques qui les véhiculent est illustrée par la figure I.10.

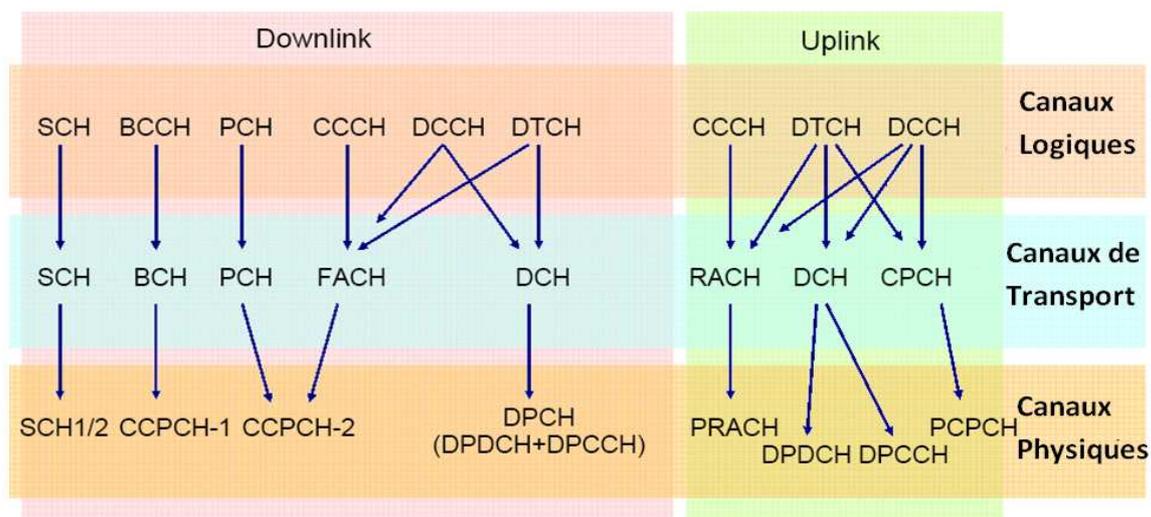


Figure I.10 : Correspondance des différents types de canaux

I.5.2. Description et fonctions des couches protocolaires

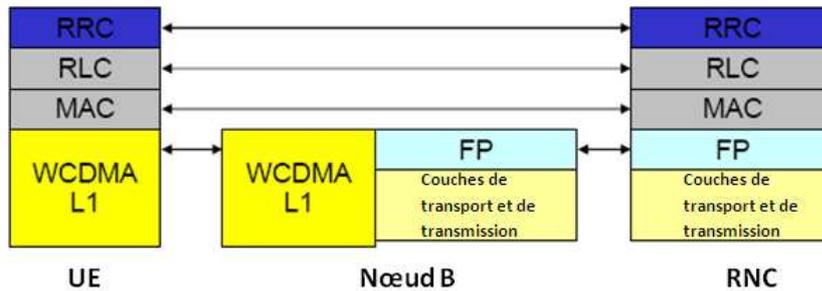


Figure I.11 : Couches protocolaires de l'interface air

Couche physique

La couche physique fournit le service de transport à la couche MAC.

Parmi ses fonctions on trouve :

- Codage/décodage canal sur les canaux de transport pour la protection contre les erreurs ;
- Le multiplexage de plusieurs canaux de transport en un bloc composite CCTrCH (Code Composite Transport Channel), et le répartir sur un ou plusieurs canaux physiques.
- Adaptation du débit (rajouter ou retirer des bits de protection).
- Modulation, étalement du spectre et synchronisation en fréquence et en temps.
- Contrôle de puissance en boucle fermée, et l'exécution de certaines mesures.

Fonction de la couche MAC

- Association des canaux logiques avec les canaux de transport (voir fig) et éventuellement multiplexage de plusieurs canaux logiques sur un canal de transport.
- Commutation –sous ordre de RRC- du type de canal de transport utilisé pour un canal logique pour adapter avec flexibilité les ressources utilisées à l'activité de la source.
- La sélection de la TFC à chaque TTI en fonction des propriétés des canaux logiques et du débit instantané sur chaque canal logique.
- La gestion des priorités lors de la transmission.
- Identification des mobiles avec un UE-Id lors de l'utilisation d'un canal de transport commun.

Couche RLC (Radio Link Control)

Cette couche fournit le service de transfert des unités de données des couches supérieures selon trois modes de transfert :

- mode transparent : transfert de données sans ajout d’informations de contrôle ni de contrôle d’erreurs. Utilisé pour des services conversationnels.
- mode non acquitté : transfert avec ajout d’un en-tête et avec contrôle d’erreur en réception mais sans garantie de livraison. Utilisé pour les services paquets avec contrainte d’acheminement en temps réel comme les services de type streaming.
- mode acquitté : transfert de données avec garantie de livraison à l’entité réceptrice.

Le tableau I.6 résume les différentes fonctions de la couche RLC suivant le mode utilisé.

	Transparent	Non acquitté	Acquitté
Segmentation / réassemblage	X	X	X
Concaténation	X	X	X
Bourrage (padding)	X	X	X
Correction d’erreur par retransmission			X
Livraison en séquence des PDU			X
Contrôle des N° de séquence et rejet des SDU incomplètes		X	
Détection des PDU reçus en double			X
Contrôle de flux		X	X
Chiffrement / déchiffrement		X	X
Suspension et reprise du transfert des données sur demande de la couche RRC		X	X

Tableau I.6 : Fonction de la couche RLC suivant le mode utilisé

Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

Elle fournit le service de transfert PDU des couches réseau du domaine PS. Ses principales fonctions sont :

- Compression/décompression d'en-tête des trames de couche réseau.
- Transfert sans perte des SDU (service data unit : PDU de la couche réseau) même en cas de relocalisation du SRNC (passage d'un SRNC à un autre) en s'appuyant sur une entité RLC en mode acquitté.

Couche BML (Broadcast / Multicast Control)

Assure le service de diffusion de messages utilisateur sur l'interface radio pour le compte d'un centre de diffusion externe à l'UTRAN et relié au RNC.

La couche BMC s'appuie sur une entité RLC en mode non acquitté, supporté par un canal CTCH.

Couche RRC (Radio Resources Control)

La couche RRC gère la signalisation entre l'UTRAN et les mobiles, et la configuration des ressources pour les couches 1 et 2 de protocoles de l'interface radio.

Les fonctions principales de cette couche sont :

- La gestion de la connexion RRC : pour la signalisation entre l'UE et l'UTRAN et vers le CN. Elle est établie à la demande de l'UE lors, par exemple, d'un appel entrant ou sortant ou d'une transmission de signalisation. La libération de la connexion RRC est ordonnée par le SRNC.
- La gestion des états de service de RRC : qui sont fonction du niveau d'activité du mobile pour rendre flexible la gestion des ressources radio. Ces états sont CELL_DCH et CELL_FACH pour un mobile en activité, CELL_PCH et URA_PCH pour une absence d'activité tout en étant connecté et le mode veille (aucune connexion RRC).
- La diffusion des informations système : permettant à l'UE d'identifier les cellules, de prendre connaissance de l'environnement cellulaire et de recevoir les paramètres définissant l'utilisation des ressources communes d'une cellule.
- La gestion du paging : des messages RRC de paging sont envoyés pour alerter le mobile de l'arrivée d'un appel entrant ou d'une modification des informations système ou pour lui ordonner de passer d'un état de service à un autre.

- La sélection et la resélection de cellule : effectuée par la couche RRC dès la mise sous tension et lors d'un passage en mode veille. La resélection a lieu lorsqu'une cellule plus adéquate est détectée.
- La gestion de la mobilité dans l'UTRAN : en localisant le mobile à la cellule près ou à l'URA (UTRAN registration Area) près et en lui permettant d'exécuter la sélection et la mise à jour de la cellule. Des identificateurs temporaires de localisation sont utilisés.
- La gestion des bearers radio : établissement d'un bearer radio suivant la QoS requise par un service, mise en place d'un bearer radio de signalisation, reconfiguration dynamique et libération des bearers.
- Le contrôle des mesures : mesures de puissance de réception sur plusieurs cellules, mesures de trafic sortant sur les canaux de transport du mobile, mesures de qualité (taux d'erreurs) etc.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la technologie UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) dans sa totalité et présente les nouvelles terminologies utilisées : le réseau coeur qui gère les services offerts aux utilisateurs, le réseau d'accès radio UTRAN qui fait office de passerelle entre les deux et enfin les nouveaux services qui pourront être offerts.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter une étude introductive portant sur les spécifications techniques de ce standard par une description globale des successeurs de la 3G vers LTE, puis nous allons détailler la technologie LTE.

Chapitre II

La technologie du réseau 4G LTE

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré pour la présentation des éléments clés abordés au cours de notre travail tel que la stratégie mise en place par le réseau radio mobile LTE (long terme évolution). Ce dernier est l'objectif de ce chapitre, dans lequel nous allons présenter une étude introductive portant sur les spécifications techniques de ce standard par une description globale des successeurs de la 3G vers LTE, puis nous allons détailler la technologie LTE.

II.2 Evolution UMTS vers LTE :

Le 3G facilite le processus de standardisation, occuper de deux cotés : opérateur et consommateur, en se basant sur les règles tracées par l'union internationale des télécommunication.

La figure suivante illustre la succession des technologies vers LTE.

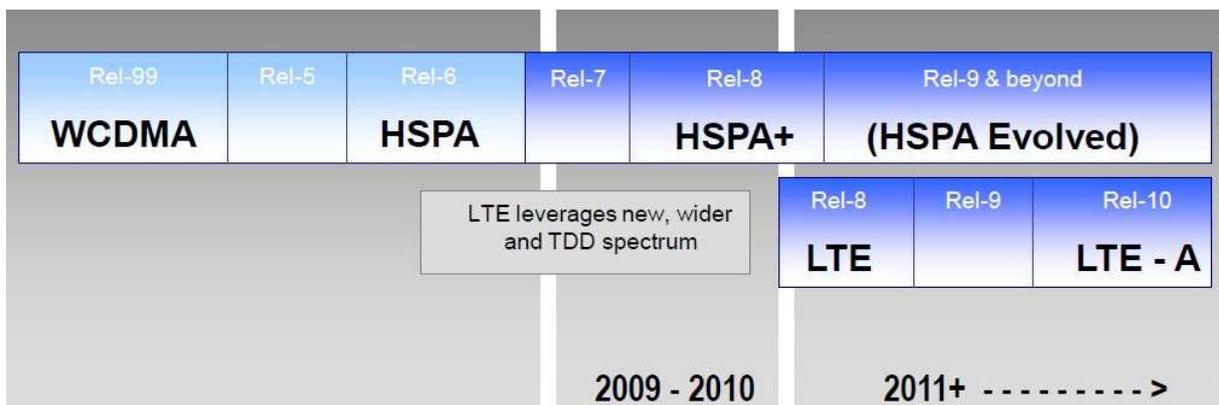


Figure II.1: Evolution vers LTE

L'opérateur mobilis lance la technologie 3G dont son ampleur atteint celle de la 2G et apporte plusieurs améliorations citant : accès haut débit à l'internet sans fil.

II.2.1 Principe de W-CDMA

Une nouvelle gamme de service multimédia a été lancée avec l'apparition de 3G. commençant par UMTS qui exploite le protocole de communication W-CDMA et les nouvelles bande de fréquences situées entre 1900 - 2200 MHz. il permet d'envoyer simultanément toutes les données et les paquets en désordre, et le téléphone les réceptionner et les rassembler.

Le W-CDMA utilise d'étalement tel que l'étalement de spectre par séquence directe.pour cela, chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (ou exclusif) par un code pseudo

aléatoire PN propre à cet utilisateur. La séquence du code (de N chips) est unique pour cet utilisateur, et présente ainsi la clé de codage.

Cette méthode permet une bande de fréquences N fois plus étendue et améliorée.

La norme UMTS offre des avantages qui s'appliquent aux communications vocales ainsi qu'aux transferts de données. Cette technologie exploite une bande de fréquences plus large, augmente le nombre d'appels et enfin permet le développement du domaine de la multimédia.

II.2.2 La technologie HSDPA .

Le HSDPA a été proposé dans la version 5, appelées 3.5G OU encore 3G+ (dénomination commerciale).

Elle annonce des débits pouvant atteindre de 10Mbps pour le Downlink qui permet d'accroître les taux de transfert de données et augmente la capacité des réseaux 3G. Il offre des performances dix fois supérieures à celui de l'UMTS.

En revanche, l'inconvénient de l'évolution HSDPA est le débit montant uplink qui reste inchangé 384kbit/s.

L'évolution de cette nouvelle norme se présente comme suit :

- Raccourcissement de TTI(Transmission Time Interval) de 10 ms à 2ms.
- Utilisation d'un type de modulation 16QAM.
- Répétition de message (retransmission) avec codage modifié.

Avec l'apparition du HSUPA le problème de la liaison montant est résolu.

II.2.3 La technologie HSUPA

La technologie HSUPA suit HSDPA, elle permet de transférer des contenus multimédias volumineux, il porte le débit montant à 5,8 Mbit/s et offre une voie montante qui assure un transfert plus rapide et plus efficace. Il est caractérisé par :

- La technique de retransmission HARQ.
- Allocation des ressources par le NodeB.

Au niveau des interfaces radio, HSUPA n'utilise pas le canal partagé les ressources de codes et de puissance sont gérées de manière ce qui autorise une transmission haut-débit.

II.2.4 La technologie de HSPA+

L'évolution se succède jusqu'à la combinaison de la technologie HSDPA ET HSUPA pour permettre l'apparition HSPA (High Speed Packet Access+), cependant , l'évolution de l'UMTS n'as pas atteint sa fin pour enfin arriver a un débit de 21Mbit/s avec le HSPA+ connu par 3GPP version 7 et 8.

Elle permet de :

- Diminuer le temps d'échange des messages entre le RNC et le NodeB.
- Réduire les couts de déploiement en réduisant le nombre d'élément.
- Maximiser le taux de transmission de données en ajustant la modulation et le codage.
- Intégrer des femtocells facilement.

II.3 Généralités de la technologie L TE (4G)

L'idée et le projet pour développer la technologie LTE sont menés par l'organisme de standardisation 3GPP visant à rédiger les normes techniques de la future quatrième génération en téléphonie mobile.

Cette technologie a comme but de permettre le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur (zone dans laquelle un émetteur mobile peut entrer en relation avec des terminaux) et un temps de latence plus faible. En théorie, elle permet d'atteindre des débits de l'ordre de **50 Mb/s** en lien ascendant et **de 100 Mb/s** en lien descendant, de partager entre les utilisateurs mobiles à l'intérieure d'une même cellule. Pour les opérateurs (qui ont la partie la plus importante pour supporter cette technologie), LTE implique de modifier le coeur du réseau et les émetteurs radio. Il faut également développer des terminaux mobiles adaptés. En termes de vocabulaire informatique, le futur réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System). Il est combiné du nouveau réseau appelé LTE (Long Term Evolution) et du nouveau réseau central appelé SAE (System Architecture Evolution).

II.3.1 Architecture Générique LTE

Un exemple de l'architecture générique LTE est fourni dans la figure II.2. C'est à partir de la Spécification technique (TS) 36.300. Le E-UTRAN se compose de l'ENB

fournir de l'E-UTRA avion et contrôle de l'utilisateur terminaisons de protocole d'avion vers l'UE. Les ENB sont interconnectés les uns avec les autres au moyen de l'interface X2. La ENB est également connectés au moyen de l'interface S1 de l'EPC (Evolved Packet Core), et plus spécifiquement à la MME ((Mobility Management Entity) au moyen de la S1-MME et à la passerelle de service (S-GW) par le biais de l'U-S1.

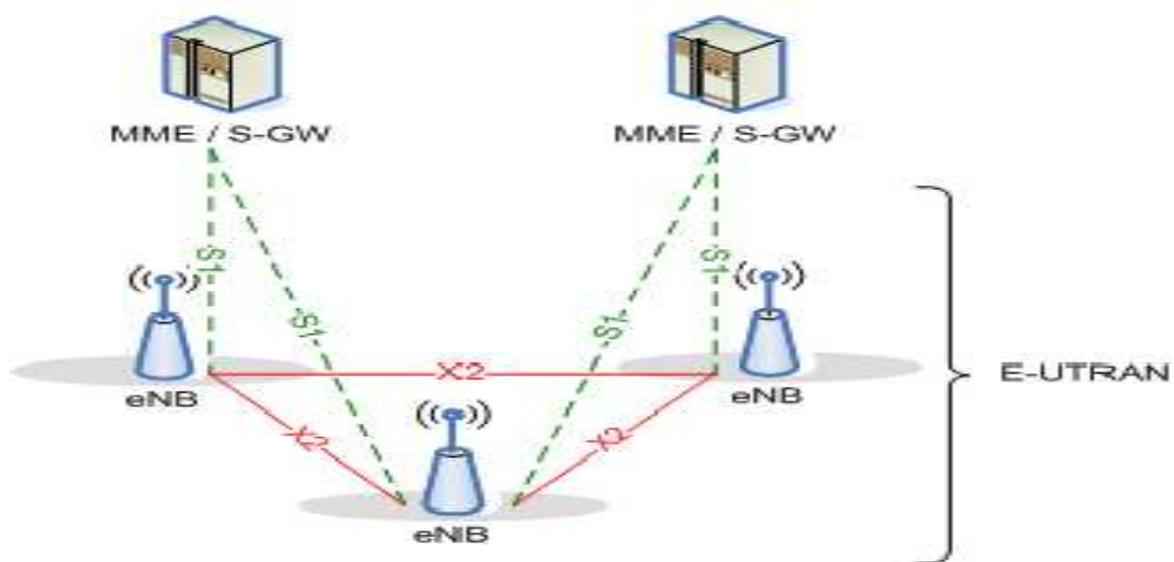


Figure II.2 : Architecture Générique LTE

La station de base (c'est à dire eNodeB) est l'interface entre l'interface hertzienne et le réseau d'amenée. Il est constitué d'une fréquence radio (RF) de la tête et une commande de base Unité (BCU). La tête RF offre un accès sans fil à large bande. La LTE physique et Fonctions MAC de couche sont effectuées par la carte modem BCU.

II.4 Caractéristique de la technologie L TE (4G)

II.4.1 Connexion permanente

Parmi les objectifs les plus importants de l'accès à haut débit, on retrouve la connexion permanente à l'Internet. Même si la connexion est permanente au niveau du réseau, il est toujours nécessaire pour le terminal de passer de l'état IDLE à l'état ACTIF lorsqu'il veut échanger du trafic avec d'autres terminaux. Ce changement d'état se réalise en moins de 100 ms.

Le principe de ce réseau, est qu'il peut recevoir le trafic de tout terminal rattaché, puisque ce dernier dispose d'une adresse IP. La procédure sert à mettre en mémoire les données, ensuite

de réaliser l'opération de « paging » afin de localiser le terminal et lui demander de réserver et de préparer des ressources pour lui acheminer le trafic.

II.4.2 Délai pour la transmission de données

Le délai pour la transmission de données est de moins de 5 ms entre l'équipement utilisateur (UE) et « l'Access Gateway » (passerelle d'accès) dans une situation de non charge où un seul terminal est actif sur l'interface radio. La valeur moyenne du délai devrait avoisiner les 25 ms en situation de charge moyenne. Ainsi, il permet de supporter les services en temps réel IP nativement, comme la voix et le « streaming » sur IP.

II.4.3 Mobilité

Avec le facteur de mobilité, la technologie assure le bon fonctionnement à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h où le « handover » comme est illustré dans la figure II.3 pourra s'effectuer, LTE ne permet que le « hard handover » et non pas le « soft handover » dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse comme démontré dans la figure II.4.

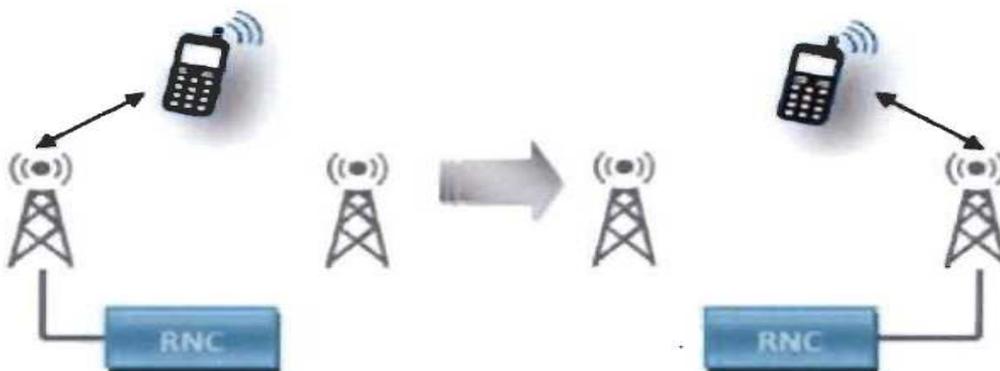


Figure II.3: le hard handover

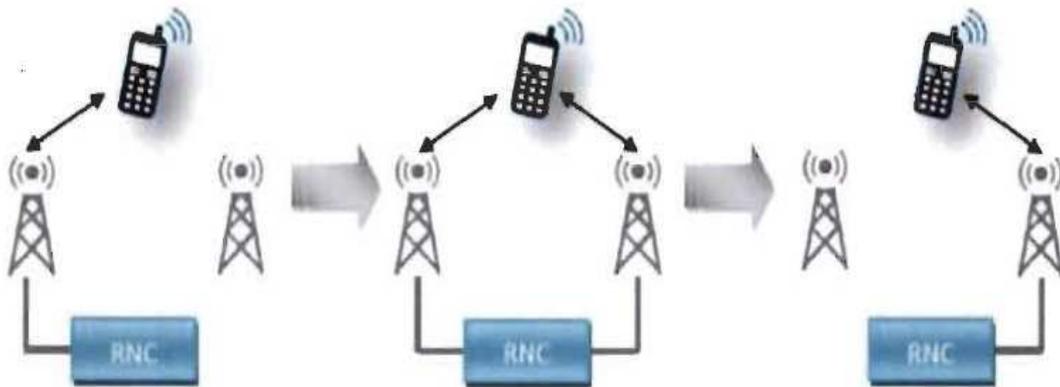


Figure II.4: Le soft handover

II.4.4 Co-existence et Interfonctionnement avec la 3G

La technique du handover entre E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) et celle d'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) doivent être réalisées en moins de 300 ms pour les services temps réels et 500 ms pour les services non-temps réels. Il est clair qu'au début du déploiement et d'exploitation de LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira de garantir et d'assurer que le « handover ». Pourra également s'effectuer entre LTE et les réseaux CDMA-2000. Les opérateurs qui utilisent le CDMA (Code Division Multiple Access) évolueront aussi vers la LTE qui deviendrait prochainement le standard de communication mobile de 4^{ème} génération.

II.4.5 La flexibilité dans l'usage de la bande

La technologie LTE offre la possibilité et la flexibilité d'opérer dans des allocations de bande de fréquences avec différentes tailles incluant 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz.

II.4.6 Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales

Non seulement la technologie LTE pourra opérer sur des bandes de fréquences diverses et particulièrement basses comme celle des 700 MHz (choisies par les opérateurs AT &T et Verizon Wireless), il sera aussi possible de prendre en considération des cellules qui couvriraient un large diamètre.

II.4.7 Débit sur l'interface radio

La technologie LTE offre un débit de 100 Mbit/s pour le flux descendant et de 50 Mbit/s pour le flux ascendant. Pour ce qui est de l'interface radio E-UTRAN, elle doit avoir la possibilité de supporter un débit maximum. L'allocation d'une bande passante 20 MHz supporte un débit

de 100 Mbit/s pour le sens descendant et de 50 Mbit/s pour le sens ascendant. Les technologies utilisées pour atteindre ces objectifs sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens ascendant.

Par exemple, l'efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens descendant et 2,5 bit/s/Hz pour le sens ascendant avec une bande passante de 20 MHz permet d'atteindre des débits de 100 Mbit/s et 50 Mbit/s. On considère la technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) lorsque l'efficacité spectrale est de 2,9 bit/s/Hz dans le sens descendant pour atteindre une vitesse de 14,4 Mbit/s. On est obligé d'allouer une bande passante de 5 MHz. Par contre, la technologie LTE, nous donne la possibilité d'opérer avec une bande de fréquence comprise entre: 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz. L'intention de cette flexibilité est de permettre un déploiement en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.

II.5 Caractéristiques du réseau central SAE

Nous citerons dans ce qui suit, quelques caractéristiques de SAE (System Architecture Evolution).

II.5.1 L'EPC est un réseau coeur paquet tout IP

Comparativement aux différents réseaux qui utilisent les deux domaines de Commutation de circuits CS (Circuit Switched) et de commutation de paquet, PS (Packet Switched), le réseau central (Core Network), opère avec un seul domaine de paquet appelé EPC (Evolved Packet Core), qui offre tous ces services en IP.

II.5.2 L'EPC supporte les « Default bearers » et « Dedicated bearers »

Dès le moment, où l'utilisateur se joint au réseau EPC, il réserve un « default bearer » qui représente une connectivité permanente (établi tant que l'utilisateur est toujours attaché au réseau), mais sans débit garanti.

Ensuite, lorsque l'utilisateur souhaitera établir un appel qui requiert une certaine qualité de service telle que l'appel vocal, instantanément, 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 qui dispose d'un débit garanti.

II.5.3 EPC supporte le filtrage de paquet

Pour ce qui est du système de filtrage et de protection, on a comme exemple le détecteur de virus (deep packet inspection) qui est une taxation basée sur les flux de service.

En effet, la technologie LTE est parmi les technologies qui fournissent des mécanismes de taxation très sophistiqués permettant de taxer le service accédé par le client sur la base du volume, de la session, de la durée, etc

II.6 Principe de la technologie MIMO

Le but de la technologie MIMO étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elle se base sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur.

Lorsqu'un tel système comprend. Seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO même. Lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, nommé MISO, Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO.

La mise en place d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des débits importants. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité et a pour conséquence l'amélioration du rapport signal à bruit (SNR) et donc du taux d'erreurs binaires.

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

Diversité d'espace : diversité d'antenne.

Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.

Diversité temporelle : lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal.



Figure II.5 : Schéma représentatif le système MIMO

II.7 Caractéristiques et entités du réseau EPS

Le réseau EPS est formé par les entités suivantes: (voir figure II.6 ci-dessous)

1. UE (User Equipment).
2. eNodeB (l'antenne de liaison).
3. MME (Mobility Management Entity).
4. Serving Gateway.
5. PDN GW (Packet Data Network Gateway).
6. HSS (Home Subscriber Server).
7. PCRF (Policy and Charging Rules Function).

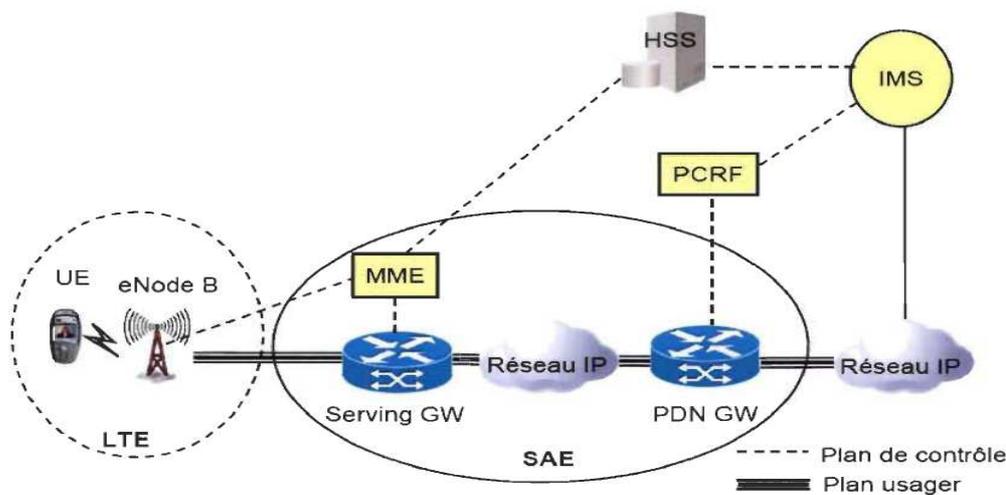


Figure II.6: L'architecture d'EPS

a) L' EPS (Evolved packet System) représente l'ensemble du réseau LTE et SAE, il se caractérise par:

- La seule entité qui est présentée dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilé à un eNodeB+RNC.
- Il s'agit d'une architecture uniquement paquet, comparativement aux architectures qui utilisent les deux techniques soit: circuit et le paquet.
- Il permet une connectivité permanente (IP) comparée à des contextes PDP temporaires ou permanents.
- L'interface radio est totalement partagée entre tous les usagers en mode ACTIFS.
- Il permet des « handover » (hard et soft) vers les réseaux CDMA/CDMA2000, afin d'assurer des communications sans interruption dans un environnement hétérogène.

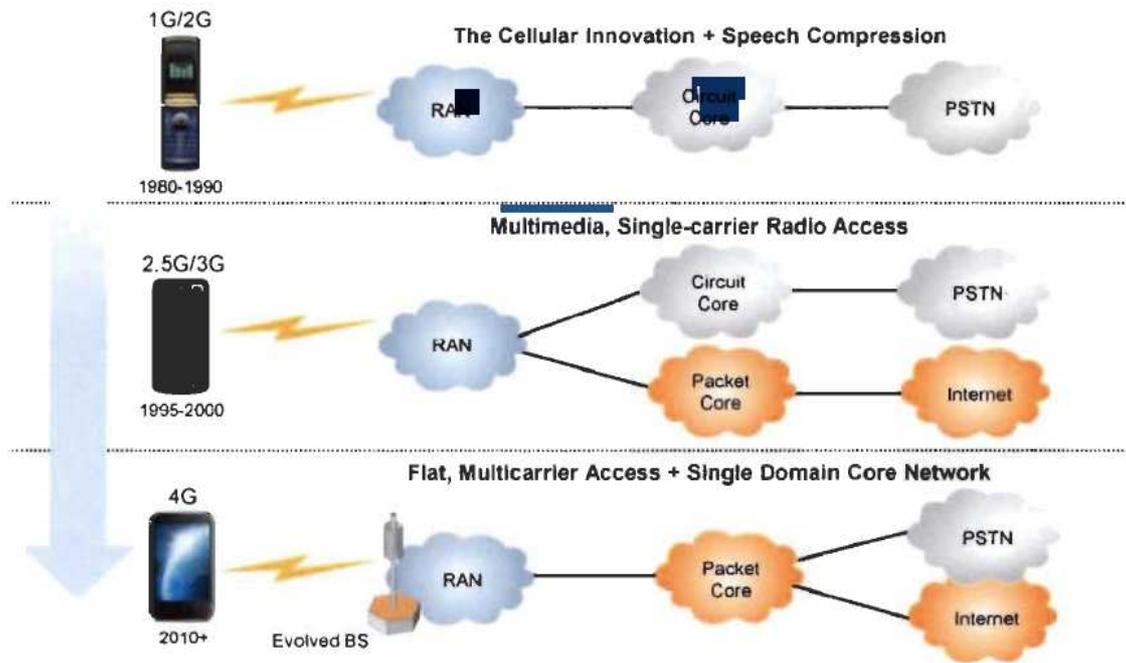


Figure II.7: L'évolution des réseaux mobiles

b) Les grandes fonctions assurées par l'EPS sont:

- La fonction de contrôle d'accès réseau: Elle permet d'identifier l'utilisateur lorsque ce dernier se joint au réseau, elle met à jour la zone de localisation (tracking area), et elle demande ensuite des ressources pour assurer les communications. Elle permet aussi de sécuriser les flux de signalisation des utilisateurs en les cryptant entre l'UE et l'eNodeB.
- La fonction de gestion de la mobilité: C'est une fonctionnalité qui permet à l'UE de s'attacher, de quitter et de mettre à jour la zone de localisation (tracking area).
- La fonction de gestion de session: Elle permet d'établir soit des « defaults bearers » et des « dedicated bearers » afin que l'UE dispose de connectivité IP pour ses communications.
- La fonction de routage de paquet et de transfert: Elle permet d'acheminer les paquets de l'UE au PDN-GW (Packet Data Network Gateway) ainsi que du PDN-GW vers l'UE.
- La fonction de gestion de ressource radio: Elle permet l'établissement et la libération de RAB (Radio Access Bearer) entre l'UE et le « Serving Gateway » à chaque fois que le terminal souhaite devenir actif pour communiquer.

II.7.1 Équipement Utilisateur (UE)

Il est présenté sous deux plans :

- Le plan utilisateur: il contient les couches PHY (physique), MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control) et PDCP (Packet Data Convergence Protocol).
- Le plan de contrôle: il contient le NAS (Non Access Stratum) et le RRC (Radio Resource Control), avec le plan utilisateur.

La figure II.8 représente les états d'équipement utilisateur qui passe de l'état LTE-IDLE à l'état LTE-ACTIVE lorsque il y a du trafic acheminé et vice versa s'il est en mode inactive et il passe à l'état LTE-DETACHED lorsqu 'il est détaché ou bien hors usage:

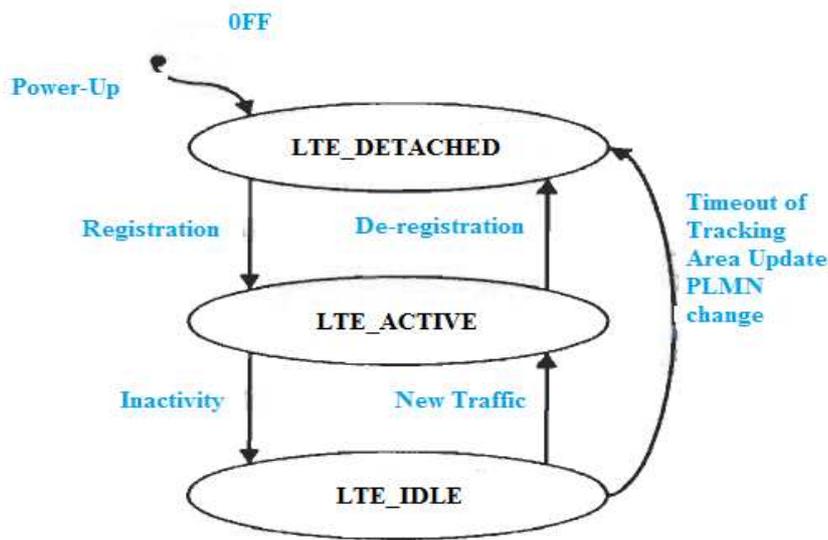


Figure II.8: Le graphe d'états fini d'UE

II.7.2 Entité eNodeB

La figure II.9 illustre l'architecture E-UTRAN qui contient: eNodeB, les interfaces X2 (entre les eNodeB) et SI (entre eNodeB et les entités du réseau central (core network) MME/Serving Gateway) :

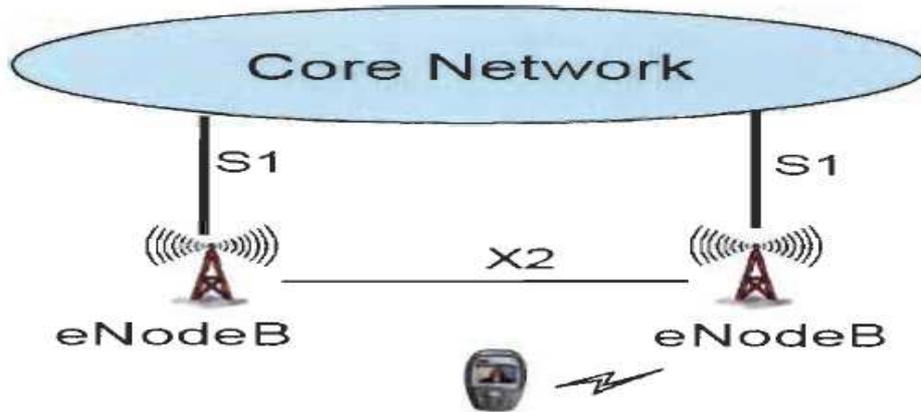


Figure II.9: L'architecture E-UTRAN

L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'équipement utilisateur. À la différence de 3G, où l'on trouve en même temps les entités eNodeB et RNC réunies. Les fonctions qui sont prises en charge par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau central MME (Mobility Management Entity)/Serving GW).

On distingue deux interfaces dont dispose l'eNodeB soit SI et X2 :

- a) L'interface SI, contient SI-C (SI-Contrôle) utilisé entre l'eNodeB et le MME, ainsi que le SI-U (SI-Usager) qui est situé entre l'eNodeB et le Serving GW;
- b) Une nouvelle interface X2 est définie entre les eNodeB adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover).

Cette nouvelle interface permet à l'utilisateur de se déplacer en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre en allouant des nouvelles ressources. Celle-ci donne au réseau la possibilité de continuer à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB, grâce à cette interface l'ancien eNodeB arrive à acheminer les paquets entrants sur l'interface X2 vers la nouvelle eNodeB.

II.7.3 Entité MME (Mobility Management Entity)

Les fonctions de l'entité MME sont:

- La signalisation EMM et ESM avec l'UE : Les terminaux LTE disposent des protocoles comme EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permet de gérer leurs mobilités (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et de gérer leurs sessions (établissement/libération de session de données). Ces protocoles sont utilisés pour l'échange entre l'UE et le MME.
- L'authentification : L'entité MME est responsable de l'identification des équipements utilisateurs grâce aux informations recueillies par l'entité HSS;
- La joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (inclut le « paging »):

L'entité MME prend la responsabilité du « paging », lorsque l'UE est dans l'état IDLE, les paquets à destination de l'équipement utilisateur sont reçus et sauvegardés en mémoire par le Serving Gateway;

- La gestion de la liste de zone de localisation (Tracking Area) : Ce mécanisme consiste à informer l'équipement utilisateur d'être sur les zones de localisation prise en charge par le MME, appelée « Tracking Area ». L'équipement utilisateur met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une « Tracking Area » qui n'est pas encore prise en charge par son MME;
- La sélection du « Serving Gateway » et du « PDN-GW » : C'est le travail de MME de sélectionner le « Serving GW » et le « PDN GW » qui serviront à mettre en œuvre le « Default Bearer » au moment où l'équipement utilisateur se joindra au réseau.

- La sélection de MME lors d'un « handover » avec changement de MME :

Lorsque l'utilisateur est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge et sous le contrôle d'un autre MME, il est nécessaire que l'ancien et le nouveau MME s'engagent pour le « handover ».

- La sélection du SGSN (Serving GPRS Support Node) lors d'un « handover » avec les réseaux d'accès 2G et 3G : Au moment où l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est l'entité MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du « default bearer ».
- Le « roaming » avec interaction avec le HSS (Home Subscriber Server) nominal: Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau, l'entité MME s'interface au HSS nominal. Le but est de mettre à jour la localisation du mobile et d'obtenir le profil de l'utilisateur.
- Le Fonctionnement de gestion du « bearer » incluant l'établissement de « dedicated bearer »: Parmi les fonctions de MME l'une d'elles est d'établir pour le compte de l'utilisateur les « defaults » et « dedicated bearers » nécessaires pour la prise en charge des communications;
- L'interception légale du trafic de signalisation: L'entité MME reçoit toute la signalisation qui a été envoyée par l'équipement utilisateur et peut la sauvegarder à des fins de traçabilité.

II.7.4 L'entité « Serving GW » (Serving Gateway)

Les fonctions de l'entité « Serving Gateway » sont :

- Le point d'ancrage pour le « handover » inter-eNodeB : Dans le cas d'une manœuvre de « handover » inter-eNodeB, le trafic qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le Serving GW doit désormais être acheminé au nouveau eNodeB et au « Serving GW »;
- Le point d'ancrage pour le « handover » LTE et les réseaux 2G/3G: Il achemine les paquets entre les systèmes 2G/3G et le PDN-GW. Lors d'une mobilité entre LTE et les réseaux

2G/3G, le SGSN du réseau 2G/3G s'interface avec le Serving GW pour la continuité du service de données sans coupure;

- L'interception légale: Le « Serving GW » est situé dans le chemin des données et celui de signalisation pour l'établissement/libération de « bearer » (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux de média et de contrôle;
- Le routage des paquets et l'acheminement des paquets: Le « Serving GW » achemine les paquets vers PDN-GW, à son tour, il renvoie les paquets entrants à l'eNodeB subordonnée de l'UE;
- La comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs: Le « Serving GW » comptabilise le nombre d'octets échangés qui permet la permutation de tickets de taxation inter-opérateurs;
- Le marquage des paquets dans les sens ascendant et descendant: La technique de marquage permet d'associer des priorités aux flux de données, en positionnant le DiffServ.

II.7.5 Entité PDN-GW (Packet Data Network Gateway)

Les fonctions de l'entité PDN-GW incluent les points suivants :

- L'interface vers les réseaux externes: Parmi les fonctionnalités les plus importantes, on retrouve, Internet et intranet. Le PDN-GW est l'entité qui se situe entre le réseau mobile et les réseaux externes (Pv4 ou IPv6);
- L'allocation de l'adresse IP de l'UE : Le PDN-GW fournit à l'UE l' adresse IP, par la suite lorsque le réseau est établi, il l'offre un « default bearer » permanent. En plus, PDN-GW peut allouer une adresse IPv4 ou IPv6;
- La taxation des flux de service ascendants et descendants: Les règles de taxation sont fournies soit par le PCRF (Policy and Charging Rules Function) ou sur la base de l' inspection de paquets définie par des politiques locales.

II.7.6 Entité HSS (Home Subscriber Server)

Dans la technologie LTE, le service HLR est réutilisé et renommé « Home Subscriber Server » (HSS). Le HSS est un HLR évolué qui contient toutes les informations pour les réseaux OSM/OPRS/3G/LTE et IMS. À la différence de la 2G et 3G, l'interface vers le HLR est supportée par le protocole MAP (protocole du monde SS7), HSS utilise l'interface dite S6 qui utilise le protocole « Diameter » (protocole du monde IP). Le HSS est une base de données qui peut être utilisée simultanément par les réseaux LTE/SAE et Lms.IMS.

II.7.7 Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function)

L'entité PCRF prend en charge les deux fonctionnalités suivantes:

- Fournir au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un « default » ou un « dedicated bearer » est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et les taxer par la suite de façon appropriée. Par exemple, si l'utilisateur fait circuler sur son « default bearer » des flux WAP et des flux de « streaming », il sera possible au PDN-GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP (WiMax Access Point) sur la base du volume alors que le flux de « streaming » sera taxé sur la base de la durée;
- Elle permet également de demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des « dedicated bearer » sur la base de qualité de service (QoS) souhaitée par l'utilisateur. Par exemple, si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS (IP Multimedia Subsystems), un message SIP (Session Initiation Protocol) sera envoyé au P-CSCF (Proxy- Call Session Control Function) qui dialoguera avec le PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session. Le PCRF communique alors avec le PDN-GW pour créer le « dedicated bearer » correspondant.

II.8 Les couches du modèle LTE**II.8.1 Les couches supérieures du protocole LTE**

Le modèle LTE est formé de deux plans (diagrammes). En effet, LTE possède deux piles protocolaires: la première est pour la signalisation ou le contrôle, et la seconde pour les données utilisateur.

-L'architecture et les couches du réseau LTE peuvent être résumées par les figures II.10 et II.11 suivantes:

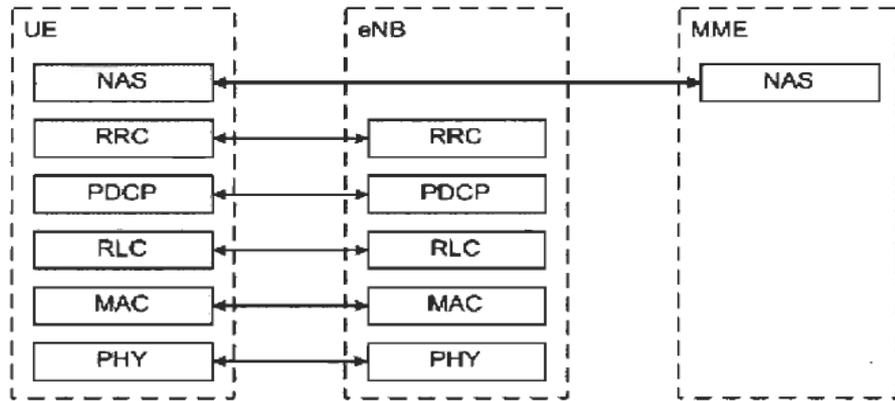


Figure II.10: Architecture LTE : Plan de contrôle

NAS (Non Access Stratum), RRC (Radio Resource Control), PDCP (packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control), PHY (Physique).

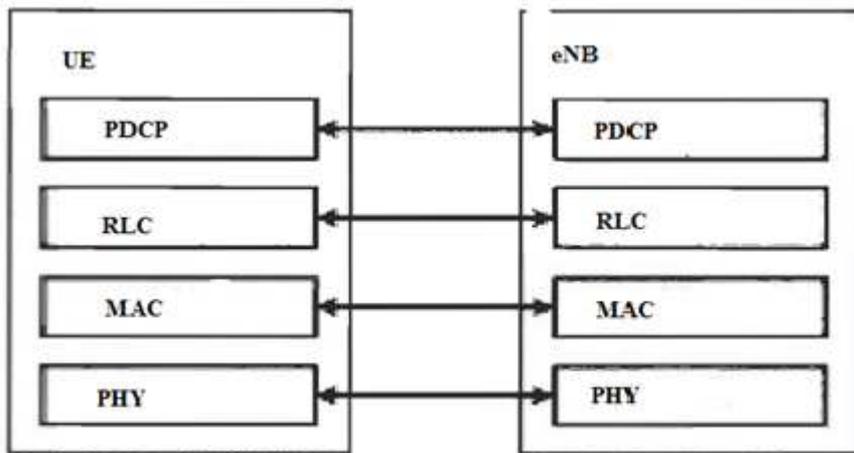


Figure II.11: Architecture LTE au plan de données utilisateur

Dans ce qui suit, nous présenterons un aperçu des couches les plus importantes de cette technologie.

II.8.2 Couche NAS (Non Access Stratum)

Cette couche est responsable de plusieurs tâches de contrôle comme:

- La gestion des entrées au réseau.
- L'authentification.
- La gestion de la mobilité.
- Elle est responsable de la mise en place du porteur de données (*Data bearer*).

La sécurité de la transmission des données de signalisation est assurée par le système de chiffrement et la protection de l'intégrité. Le transfert des messages de NAS depuis et vers les UE est réalisé par la couche RRC (Radio Resource Control)

II.8.3 Couche RRC (Radio Resource Control)

La couche RRC au niveau d'eNodeB est responsable des opérations suivantes :

- La diffusion des informations du système.
- La procédure de la pagination.
- Elle prend les décisions de « handover » en se basant sur les informations d'UE sur les cellules voisines.
- L'allocation des identificateurs temporaires aux UE.
- Elle assure le transfert de la situation de « handover » entre deux eNodeB à l'UE.
- La configuration de la signalisation des porteurs radio pour la connexion RRC.
- Elle facilite les services MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service).

En comparant cette couche aux technologies prédécesseurs de LTE, les états de RRC sont réduits à deux états seulement (RRC_IDLE et RRC_CONNECTED). Les états et les cas de RRC sont décrits par la figure II.12 et présente les étapes rencontrées par un utilisateur au moment de la connexion et de la demande de la table des voisins jusqu'au test de qualité de canal utilisé :

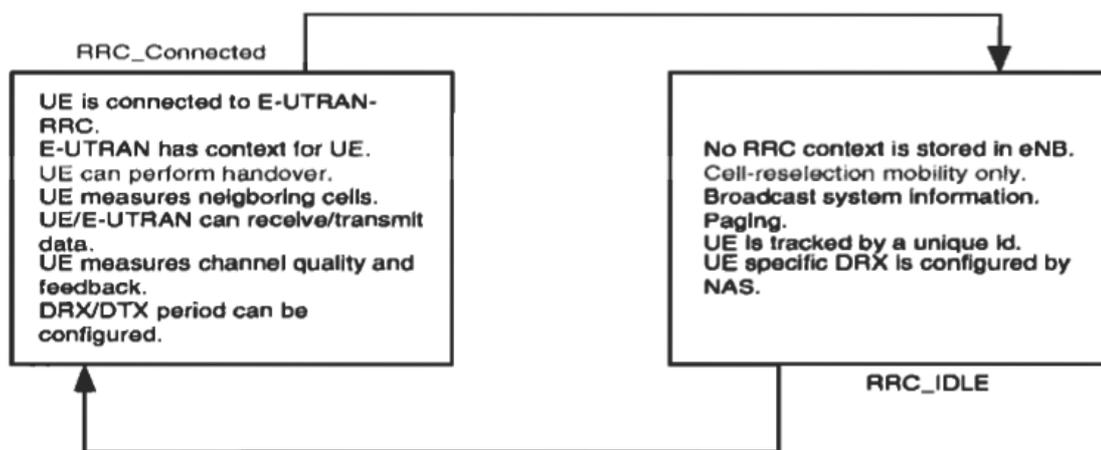


Figure II.12: Fonctionnement de la couche RRC

II.8.4 Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

La couche PDCP au plan utilisateur prend la charge d'assurer: la compression et la décompression des entêtes IP liées aux données utilisateurs. Elle utilise ROHC (Robust Header Compression) pour augmenter l'efficacité de la bande passante.

Elle est aussi responsable du chiffrement des données sur les deux plans (données et signalisation). Les messages de la couche NAS sont chiffrés deux fois, au niveau de MME et d'eNodeB, puisqu'ils passent par la couche RRC. Elle assure le transfert du SDU reçu du NAS vers la couche RLC et vice versa.

II.8.5 Couche RLC (Radio Link Control)

Cette couche est située au dessous de la couche PDCP, son travail est de formater et de transporter les données entre l'eNodeB et l'UE.

Elle offre trois modes de fiabilité :

- AM (Acknowledge Mode), qui nécessite un acquittement. Ce mode est intéressant pour les applications tolérantes aux délais tels que le téléchargement de fichiers.
- UM (Unacknowledged Mode) ne nécessite pas d'acquiescement. Il convient aux applications à temps réel, comme le streaming vidéo.
- TM (Transparent Mode) est utile lorsque la taille de message $PDU = SDU + \text{entête PDCP}$

II.8.6 La couche MAC (Medium Access Control) de LTE

Elle est parmi les couches les plus importantes du modèle. Elle assure le mappage des données entre les canaux logiques et les canaux de transport en utilisant une fonction de multiplexage de RLC.

Au niveau de cette couche, les mesures de l'état du trafic et de la correction des erreurs sont assurées par la méthode de retransmission HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). De plus, la couche MAC offre le service d'ordonnement.

Dans ce qui suit, nous résumerons les différentes fonctions de la couche MAC.

II.9 Ordonnement

L'eNodeB possède un ordonnanceur pour contrôler les ressources comme le temps et la fréquence pour un temps donné. Dépendamment de l'état des canaux, l'ordonnanceur choisit le meilleur multiplexage pour l'UE en prenant toujours en considération:

- Les paramètres de qualité de service (QoS).
- Les données utiles dans la mémoire tampon.
- La capacité de l'UE.
- Les cycles de mise en veille de l'UE.
- Les informations du système telles que la bande passante et le niveau d'interférence.

Pour le lien descendant, la couche MAC utilise trois ordonnanceurs : FSS (Frequency Selective Scheduling), FDS (Frequency Devise Scheduling) et PFS (Proportional Fair Scheduling).

II.9.1 La technique de retransmission HARQ

Le protocole HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) est le noyau de notre étude. C'est un mécanisme de retransmission de la couche MAC, il peut être synchrone ou asynchrone. Le protocole HARQ synchrone nécessite une retransmission à des instants connus, et par conséquent il n'a pas besoin de signalisation explicite. Par contre, pour le HARQ asynchrone une signalisation explicite est obligatoire.

Le mécanisme HARQ peut être aussi adaptatif et peut donc changer la modulation, l'allocation des blocs de ressource et la durée de la transmission. Le mode synchrone nécessite moins de signalisation et il est avantageux lorsqu'il est non adaptatif. Ce mode est choisi pour le lien ascendant, tandis que pour le lien descendant le mode asynchrone non adaptatif est retenu.

II.9.2 La recherche des cellules

L'équipement utilisateur (UE) recherche la cellule, afin d'avoir les informations nécessaires pour sa connexion et sa synchronisation, à savoir: l'identificateur de la cellule, le temps et la fréquence. Durant la recherche de cellule, deux canaux sont détectés soit:

- Synchronisation CHannel (SCH), c'est pour avoir de l'information sur l'horloge ou la fréquence du lien descendant;
- Broadcast CHannel (BCH), le canal de diffusion indique certaines informations sur la cellule comme: la bande passante de la cellule, la configuration de l'antenne, etc

II.9.3 Contrôle de l'énergie

Le contrôle de l'énergie a comme but de mitiger les problèmes d'affaiblissement de propagation, ce qu'on appelle « path-loss » et l'effet d'ombre (shadowing).

II.9.4 Le protocole ARP (Allocation and Retention Priority)

Ce mécanisme d'allocation et de priorité de rétention gère les porteurs (bearer) pour les autoriser ou non dépendamment des disponibilités des ressources.

II.9.5 Les voies logiques et leurs canaux de transport et d'utilisation

Le tableau II.1 montre les voies logiques qui sont modélisées avec leurs canaux de transport et d'utilisation:

- La cartographie des porteurs EPS/radio vers les circuits logiques est réalisée.
- La cartographie des canaux logiques dans les circuits de transport est effectuée.

Direction	Logical Channel	Transport Channel	Usage
Downlink	Common Control Channel (CCCH)	Downlink Shared Channel (DL-SCH)	Control messages sent before UE's RRC connection
	Dedicated Traffic Channel (DTCH)		Downlink user data
	Dedicated Control Channel (DCCH)		Downlink control information
Uplink	Common Control Channel (CCCH)	Uplink Shared Channel (UL-SCH)	Control message sent before RRC connection
	Dedicated Traffic Channel (DTCH)		Uplink user data
	Dedicated Control Channel (DCCH)		Uplink control information

Tableau II.1 : La Cartographie des voies logiques aux canaux de transport

II.10 La couche physique de L TE

Dans cette partie, nous allons illustrer les différentes fonctionnalités de base de la couche physique de L TE ainsi que ses différents aspects: format de la trame, le codage, lien descendant et ascendant, etc ... Cette couche a comme tâche de :

- Assurer la détection des erreurs de transmission et la notification vers la couche supérieure;
- Utiliser FEC (Forward Error Correction) du canal de transmission pour les fonctions de codage et de décodage;
- Offrir le mappage des symboles codés avec les canaux physiques;
- Assurer la modulation/démodulation;
- Fournir la synchronisation des fréquences et de l'horloge;
- Mesurer les caractéristiques radios et envoie les indications aux couches supérieures;
- Être le support de MIMO (Multiple Input Multiple Output).

La couche physique utilise la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le flux descendant (d'eNodeB vers UE) et la technique SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) pour le flux ascendant. Elle offre aussi la possibilité d' utiliser trois modes de transmission: Full Duplex FDD (Frequency Division Duplex), HalfDuplex FDD et TDD (Time Division Duplex).

II.10.1 La trame physique LTE

Pour chaque mode, une trame physique est définie. La trame L TE de type-l est utilisée pour les deux modes de FDD, elle possède la structure suivante (voir figure II. 13) :

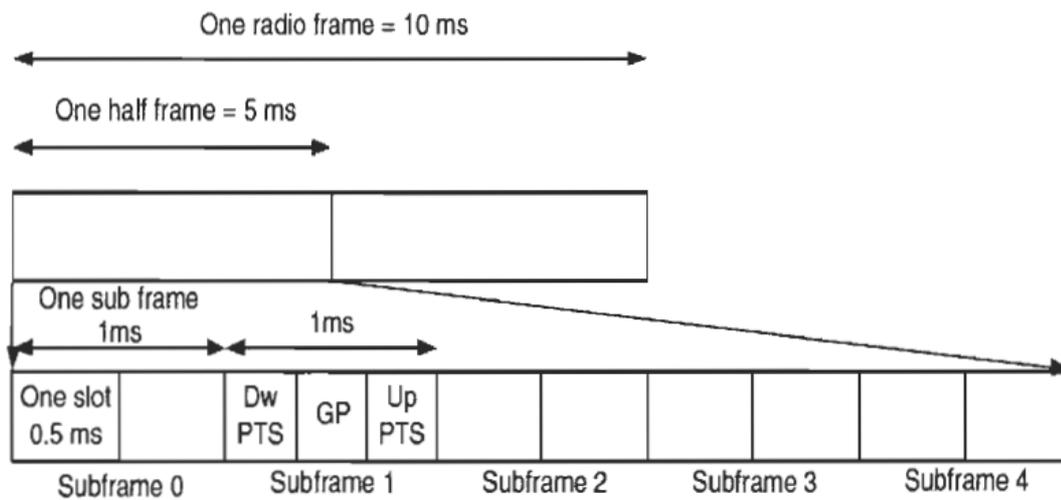


Figure II. 13: La trame physique L TE

Parmi ses caractéristiques:

- La trame L TE de type-1 possède 20 intervalles de temps (Slot) chacun de 0.5 ms.
- Chaque deux intervalles de temps adjacents constituent une sous-trame (subframe).
- Les modulations possibles sont: QPSK, 16QAM et 64QAM.
- Le canal de diffusion utilise QPSK seulement.
- Le CRC-24 est utilisé pour la détection des erreurs.
- La taille maximale d'un bloc d'information est de 6144 bits.
- Les techniques de brouillage et d'entrelacement sont possibles.
- Le mappage des couches et le pré-codage sont utilisés dans MIMO.

II.10.2 Le codage du canal

Le codage du canal est utilisé après la vérification du CRC en tenant compte de la taille du bloc à transmettre, la modulation et l'allocation des ressources. La technique de retransmission HARQ est utilisée pour contrôler le codage.

L'ordonnanceur de la couche MAC intervient aussi dans le codage, il est responsable du mappage des blocs de ressources alloués avec les ports des antennes.

II.11 Protocoles ARQ et HARQ

II.11.1 Définition des protocoles d'acquiescement ARQ

Les protocoles ARQ (Automatic Repeat reQuest) sont indispensables dans les systèmes de communication entre l'émetteur et le récepteur, il assure et garantit une transmission fiable via des liens physiques imparfaits.

Le principe de leur utilisation consiste à faire:

- La vérification des paquets reçus ou transmis pour s'assurer qu'ils ne contiennent pas d'erreurs;
- Il est nécessaire de faire la retransmission des paquets contenant des erreurs.

II.11.2 Les protocoles ARQ

II.11.2.1 Le protocole « Stop and Wait »

Ces protocoles sont les plus simples à utiliser lors d'une transmission. Il utilise au moment de la transmission une fenêtre d'anticipation, d'une taille égale à 1, donc un seul paquet est transmis à la fois.

Son rôle primordial est d'empêcher l'émetteur d'envoyer des données plus rapidement que le récepteur peut les traiter.

II.11.2.2 Le protocole « Go-Back-N (sliding window) »

C'est un protocole qui est simple à implémenter et qui permet de réaliser une transmission des paquets sans erreur dans des réseaux imparfaits. Tant qu'une demande de retransmission de la part de récepteur n'a pas été demandée, l'idée est de supposer que la transmission des données est acceptée et bien reçue.

Ce protocole n'utilise pas les accusés de réception pour confirmer à l'émetteur l'arrivée des données. Un acquittement négatif est généré lorsque le paquet reçu par le récepteur est incomplet ou bien il ne suit pas l'ordre des paquets.

On dit que le protocole « Go-Back-N » est inefficace lorsque le délai de propagation (diffusion) est plus grand que le temps de transmission par paquet puisque:

- Il ne peut pas envoyer plus qu'un paquet dans le temps d'aller-retour;
- Il autorise la transmission de nouveaux paquets même avant que les précédentes ne soient reconnues (accepter).

II.11.2.3 Le protocole répétition sélectif (Selective Repeat)

Le protocole « Selective repeat » est parmi les protocoles d'acquittements les plus puissants. Il exige à la fois que l'expéditeur et le récepteur disposent d'une mémoire temporaire (buffer) d'au moins égale à la taille de la fenêtre actuelle.

De plus, le récepteur peut conserver les paquets hors séquence, plutôt que de les détruire comme dans le protocole « Go-Back-N » et le protocole « Stop and Wait ».

Toutefois, ce protocole est très exigeant en termes de coût de mise en oeuvre.

Il oblige que le récepteur et l'émetteur aient, non seulement des « buffers », aussi grands que la taille de la fenêtre de transmission, mais aussi beaucoup de puissance de calcul pour les gérer.

Le fonctionnement de protocole « Selective Repeat » consiste à retransmettre uniquement les paquets qui ont été effectivement perdus. Le récepteur doit respecter les conditions suivantes:

- il doit être en mesure d'accepter les paquets dans le bon ordre (séquence);
- il doit envoyer les paquets à la couche supérieure dans l'ordre;
- il doit être capable de mémoriser temporairement quelques paquets (selon la taille du Buffer).

II.11.3 Le protocole d'acquittement HARQ

Le protocole HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) est une évolution de la méthode ARQ. Ce mécanisme est obtenu en fusionnant le mécanisme ARQ avec le correcteur d'erreurs FEC (forward error correction), afin d'éviter le gaspillage des ressources lors des retransmissions. En fait, la protection des données des utilisateurs par un code FEC permet de minimiser le nombre des retransmissions, tandis qu'une stratégie ARQ permet de limiter la redondance.

Dans la norme standard ARQ, les bits ED (Error-Detection) sont ajoutés aux données à transmettre (par exemple, le code de contrôle de redondance cyclique CRC). Dans « L'Hybrid ARQ », des bits de « forward error correction » (FEC) sont également ajoutés aux bits de la détection d'erreur existants (ED) (comme les « Reed-Solomon », code ou « Turbo code »).

II.12 Principales différences entre les normes LTE et UMTS

Les normes LTE, définies par le consortium 3GPP sont dérivées des normes UMTS, mais apportent de nombreuses modifications et améliorations, notamment :

- Un débit descendant théorique allant jusqu'à 326,4 Mbit/s que celui de l'UMTS 300 Mbit/s.
- Un débit montant théorique allant jusqu'à 86,4 Mbit/s que celui de l'UMTS 75 Mbit/s.
- Un débit maximum théorique jusqu'à 150Mbit/s 10 fois plus vite qu'en UMTS.
- Téléchargement plus avec un débit cinq fois supérieur que celui de l'UMTS.
- Un débit de données trois à quatre fois plus important que celui de l'UMTS/HSPA.
- Une efficacité spectrale (nombre de bits transmis par seconde par Hertz) trois fois plus élevée que la version de l'UMTS appelée HSPA.
- Un temps de latence RRT (*Round Trip Time*) proche de 10 ms (contre 70 à 200 ms en HSPA et UMTS).

- L'utilisation du Codage OFDMA pour la liaison descendante et du SC-FDMA pour la liaison montante (au lieu du W-CDMA en UMTS).
- Des performances et des débits radios améliorés par l'utilisation de la technologie multi-antennes MIMO du côté équipement terrestre (eNodeB) et du côté terminal (en réception uniquement).
- La possibilité d'utiliser une bande de fréquence allouée à un opérateur variant de 1,4 MHz à 20 MHz, permet une plus grande souplesse (par rapport à la largeur spectrale fixe de 5 MHz de l'UMTS / W-CDMA).
- La contrepartie du grand nombre de bandes de fréquences prévues par la norme est la quasi impossibilité pour un terminal de prendre en charge simultanément toutes les fréquences normalisées ; il y a donc des risques importants d'incompatibilité entre terminaux mobiles et réseaux nationaux.
- La prise en charge de plus de 200 terminaux actifs simultanément dans chaque cellule.
- Un bon support des terminaux en mouvement rapide. De bonnes performances ont été enregistrées jusqu'à 350 km/h, voire jusqu'à 500 km/h, en fonction des bandes de fréquence utilisées.
- Qualité de service beaucoup plus élevée par rapport à l'UMTS.

II.13.Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons décrit d'une façon générale la technologie LTE ainsi que les différentes modifications apportées par cette technologie pour remédier le manque que se trouve en UMTS. En effet l'amélioration de cette technologie due aux besoins de l'utilisateur. Une étude de planification et de dimensionnement dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Planification LTE avec Atoll

III.1 Introduction

La planification du réseau LTE 4G, comme pour un réseau 3G, est une étape d'importance capitale pour le succès d'un opérateur, puisque elle permet de gagner ou perdre l'enjeu de satisfaire le client. Pour avoir une idée sur la planification LTE avec Atoll, on a abordé dans ce chapitre, les points suivants :

III.2 Dimensionnement

Dans la LTE, les interférences deviennent importantes ce qui influe négativement sur la sensibilité. On doit transmettre avec une puissance plus grande, mais si la puissance maximale est atteinte on a du mal à les couvrir tous ; résultat : une capacité dégradée et une couverture restreinte. Le dimensionnement du réseau se fait de telle façon à garantir la couverture de la zone cible et répondre aux besoins du trafic. Généralement le trafic n'est pas pris en compte dans les premières étapes de la planification puisqu'il n'est pas évident d'avoir des statistiques précises sur le trafic dans une région donnée.

III.2.1 Dimensionnement par couverture :

La couverture d'une station de base possède des limites comme les perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de couverture apparaît lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeB n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile.

III .2.2 Dimensionnement par capacité

La vérification de la taille des cellules et le nombre des sites obtenue par l'analyse de couverture, sera effectué par la capacité. On va vérifier si le système peut supporter la charge demandé sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés.

III.2.3 Choix de la distance inter-sites

Le choix de la distance intersites est un compromis entre une grande probabilité de couverture et un large recouvrement pour le soft handover d'un côté, et la minimisation des interférences entre cellules de l'autre.

La forme hexagonale théorique classique des cellules simplifie la représentation et la planification du réseau cellulaire en permettant une juxtaposition des cellules.

Pour profiter des vertus du soft handover, une zone de chevauchement de 20 à 25% est prévue entre les surfaces de couvertures des sites voisins. Nous choisissons dans notre application une distance intersites de $1,5 R$ qui assure 23% de recouvrement.

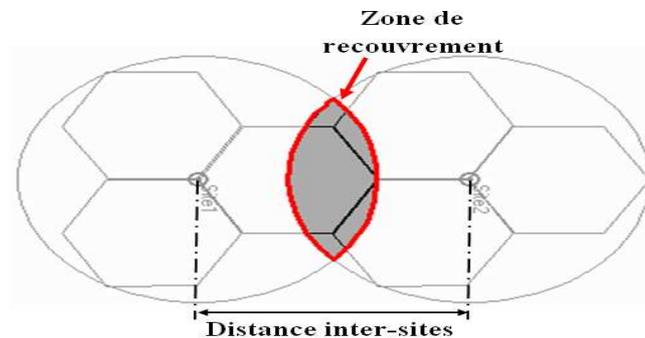


Figure III.1 : Chevauchement entre sites

III.3 RND (Radio Network Dimensioning)

Cet outil permet de calculer et de donner l'information telle que le rayon de la cellule, le taux de bord, le débit moyen cellulaire et le nombre de site dans une région du dimensionnement, comme le montre cette figure ci-dessus.

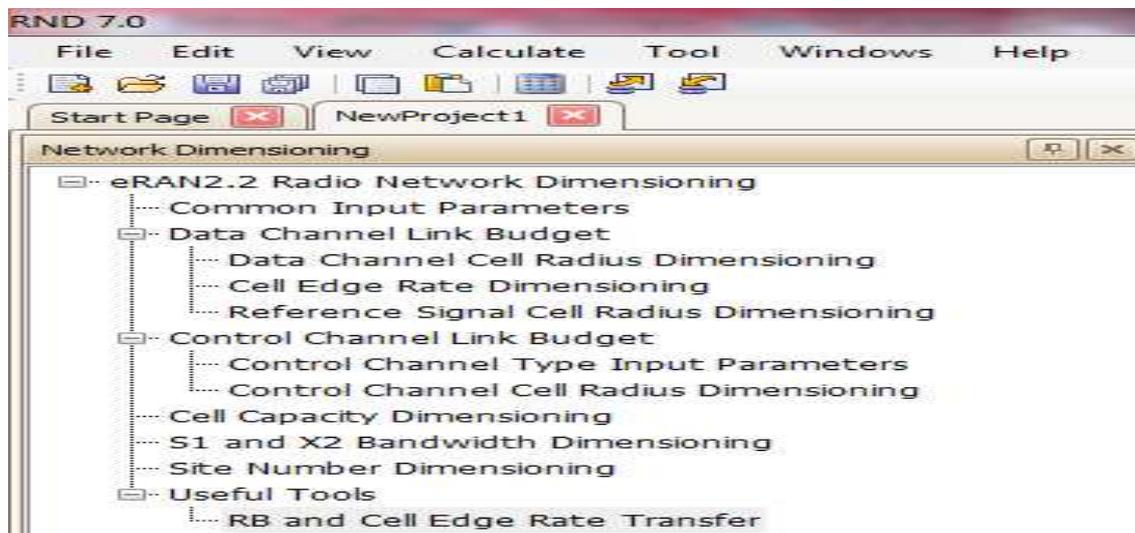


Figure III.2: Les différentes fonctions de logiciel RND

L'un de ses calculs et celui qui nous intéresse est le nombre de sites à positionner sur la zone à planifier. Ce tableau montre le calcul du nombre de sites avec l'outil RND (radio network dimensioning).

City	Morphology	Cell Radius (km)	Sector Type	Coverage Area (km ²)	Dimensioning Margin	Number of Sites
tizi	Dense U... ▾	0.63	3 Sector ▾	26.47	0.00 %	35

Figure III.3 : Calcul du nombre de site

III.4 Présentation générale du logiciel

Atoll est un logiciel multi-technologies de planification radio fait pour supporter les travaux d'un opérateur de radiocommunication mobile durant tout le cycle de vie du réseau.

Parmi ses caractéristiques :

- Options avancées de conception de réseau : performance de calcul, support de réseaux en couches, planification automatique de codes/fréquences, support de différentes technologies d'accès et support de réseau multi-technologies (UMTS/LTE par ex.).
- Architecture flexible et ouverte : support des formats standards de fichiers et de bases de données d'autres logiciels.
- Atoll est constitué d'un noyau principal et de modules optionnels comme le module LTE le module de calibration de modèles de propagation.

La figure suivante montre l'interface de démarrage de l'outil atoll



Figure III.4 : Interface de démarrage

III.5 Préparation des données

-Création d'un nouveau projet

Pour commencer, l'utilisateur doit créer un nouveau projet. Pour notre cas, la technologie à choisir est 'LTE' (figure III.5).



Figure III.5 : Création d'un nouveau projet LTE

-Le système de coordonnées choisi est WGS 84.

le système de coordonnées utiliser et le wgs84 (system géodésique mondiale) employé par default, pour déterminer les coordonnées géographiques (altitude et longitude).

-Importation des données géographiques

Pour pouvoir travailler sur une carte réelle, l'utilisateur doit importer les données géographiques du terrain à planifier (hauteur du sol, type du sursol, etc.). Les opérateurs de téléphonie mobile, dont Mobilis, utilisent une carte de modèle numérique du terrain DTM obtenue auprès de l'INCT (institut national de cartographie et de télédétection). Une fois le modèle numérique du terrain chargé, des informations supplémentaires utiles appelées vecteurs peuvent être chargées, comme les routes, les rues, les autoroutes, les aéroports, les rivières, les lacs, etc.

Les informations géographiques permettent au logiciel d'effectuer les calculs de propagation et à l'utilisateur de mieux choisir l'emplacement des sites.

Après avoir importé la maps en 3D, on importe la carte topographique de la ville de Tizi-Ouzou avec quelques vecteurs fait l'objet de la figure III. 6.

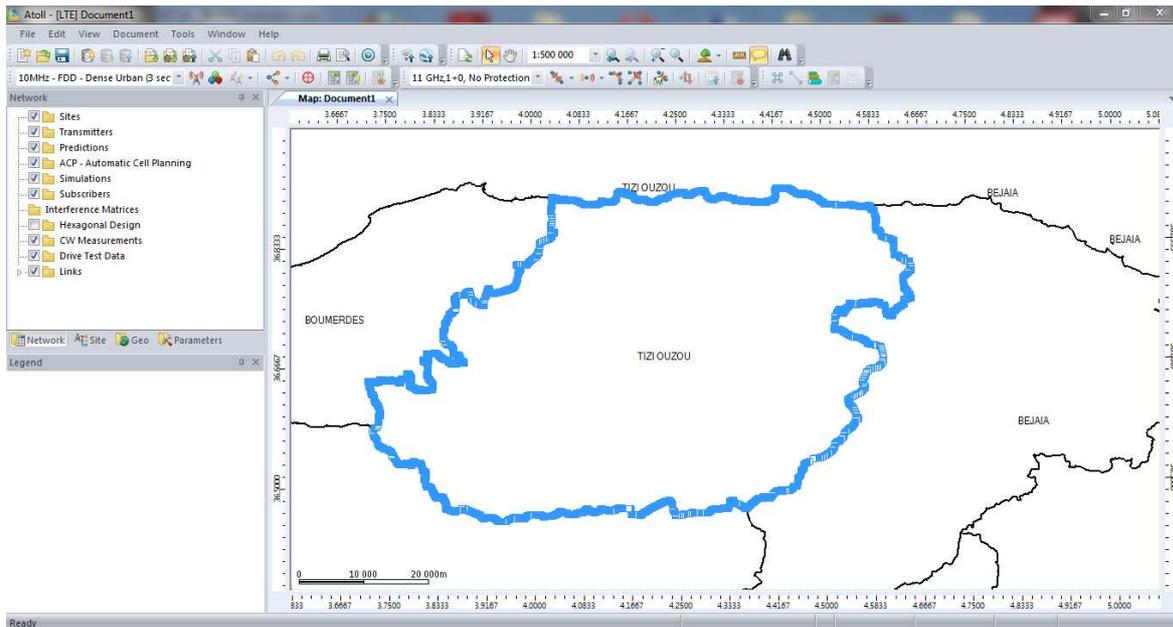


Figure III.6: Carte topographique de Tizi-Ouzou

Cellule :

Après avoir introduire le rayon de cellule dans le transmetteur, la répartition de la zone a planifier ce fait d'une façon automatique et par cellule aussi que sur chaque 3 cellule on met un site.

Définition d'un site

Lors de l'ajout d'un nouveau site, plusieurs paramètres sont à définir : sa position géographique (longitude et latitude), sa hauteur et le type d'équipement utilisé. Les propriétés sont introduites dans la définition des émetteurs puisque les secteurs d'un site n'ont pas nécessairement la même configuration.

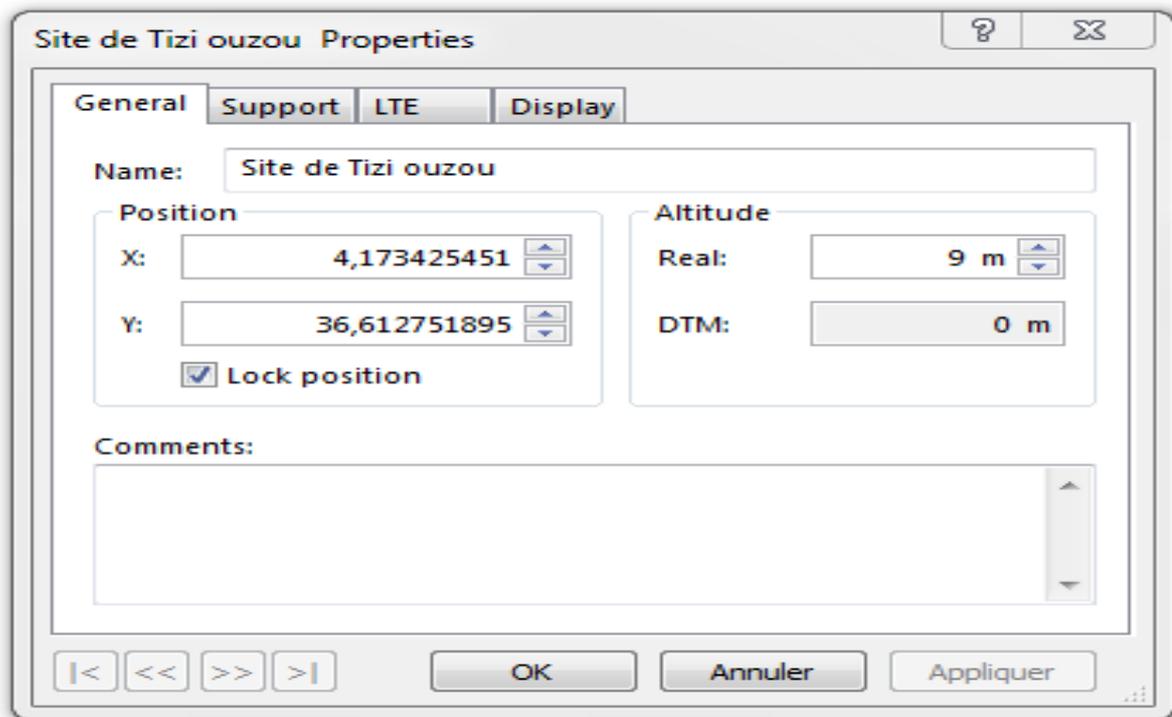


Figure III.7 : Définition des propriétés d'un site

Définition d'un émetteur

Un émetteur caractérise chacun des secteurs d'un site. On peut définir son nom, le site auquel il appartient, la distance qui le sépare de son site (en général nulle), ses pertes en émission et en réception, son facteur de bruit, sa hauteur, le modèle de l'antenne utilisée (choisi parmi les modèles préalablement définis), son azimut, son downtilt (inclinaison), la porteuse qu'il utilise, la taille maximale de l'active set, la puissance maximale et les puissances des canaux CPICH, SCH et CCHs, ses voisins, son état d'activité et le modèle de propagation utilisé lors des calculs.

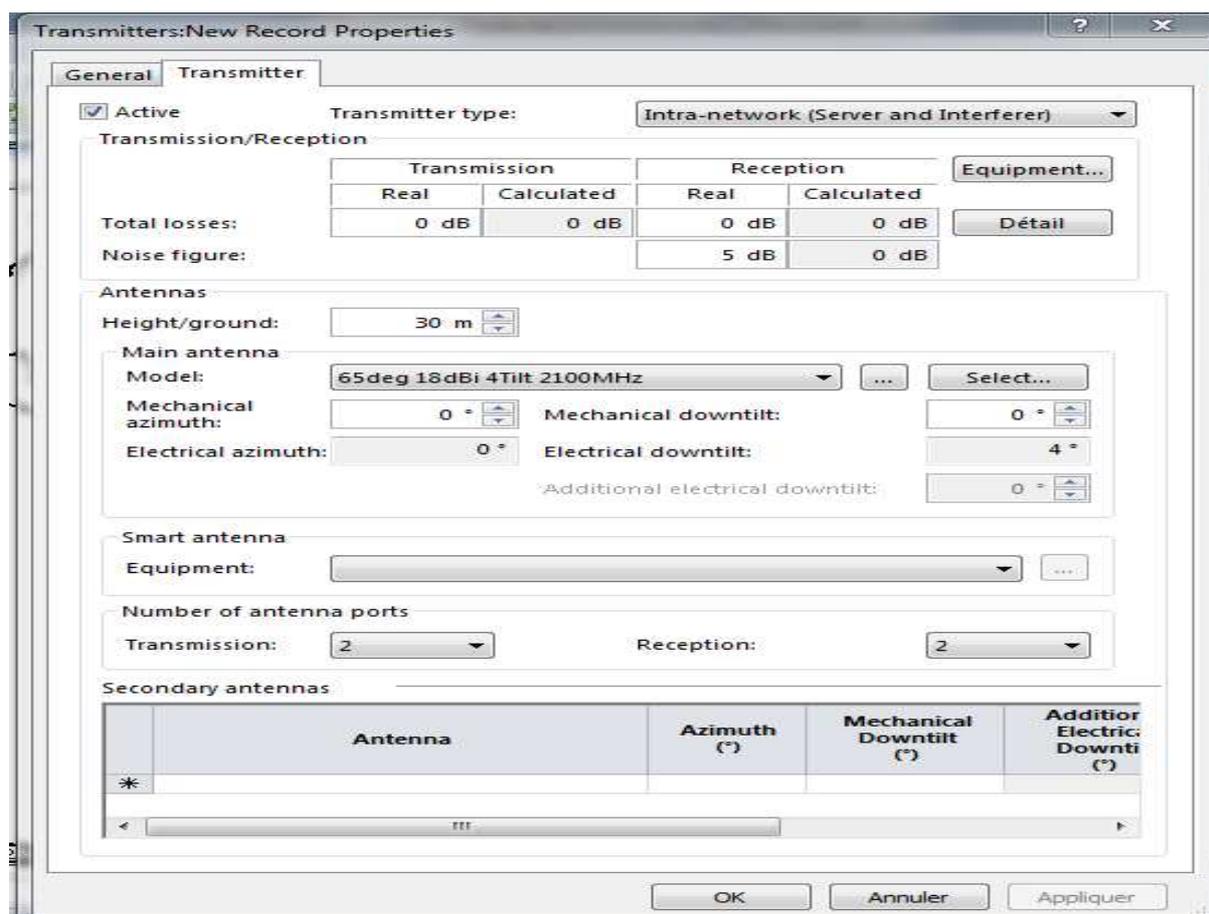


Figure III.8 : Définition des propriétés d'un émetteur

Modèle de propagation

Le modèle de propagation doit être calibré pour correspondre au mieux à l'environnement réel. Il faut mettre sur le terrain quelques sites dont les emplacements représentent tous les milieux de la zone de planification (urbain, suburbain, urbain dense, et rural) et les différentes conditions de propagation, et procéder, par la suite, au calibrage du modèle de propagation pour chaque type de milieu de propagation en réalisant des mesures sur des trajectoires appartenant aux zones de couvertures des lobes principaux des antennes. Ensuite les résultats des mesures sont comparés aux résultats des calculs du modèle de propagation à calibrer et les valeurs des différents facteurs ainsi que celles des affaiblissements pour chaque type de sursol sont fixées.

Dans le logiciel Atoll, un modèle de propagation standard basé sur le modèle Cost-Hata propose une formule générale avec plusieurs facteurs à définir. Le choix des facteurs peut se faire manuellement mais il est d'une grande complexité.

Les outils logiciels de planification compris Atoll incluent une fonction de calibrage automatique : en entrant un fichier de résultats de mesures effectuées sur un chemin et en indiquant l'émetteur radio utilisé et le modèle à calibrer, le logiciel calcule automatiquement les coefficients de la formule générale.

Répartition des environnements

Le facteur principal qui distingue les environnements est la densité en bâtiments. Le type de carte 'classe de sursol' est celui qui donne le plus d'informations sur la densité urbaine.

Ainsi, sur la carte des types de sursol, la ville de Tizi-Ouzou est scindée indiquées sur la figure III .9.

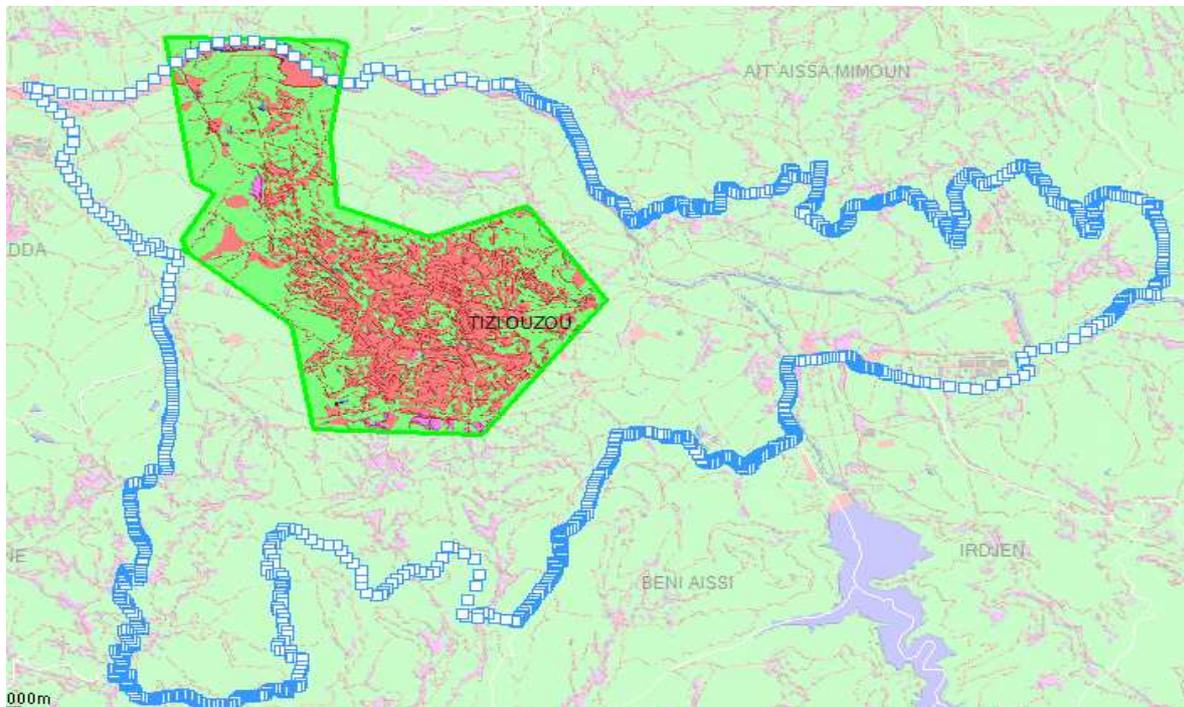


Figure III.9 : Répartition des environnements Urbain dense, Urbain

La figure suivant présente la composition de cette zone :

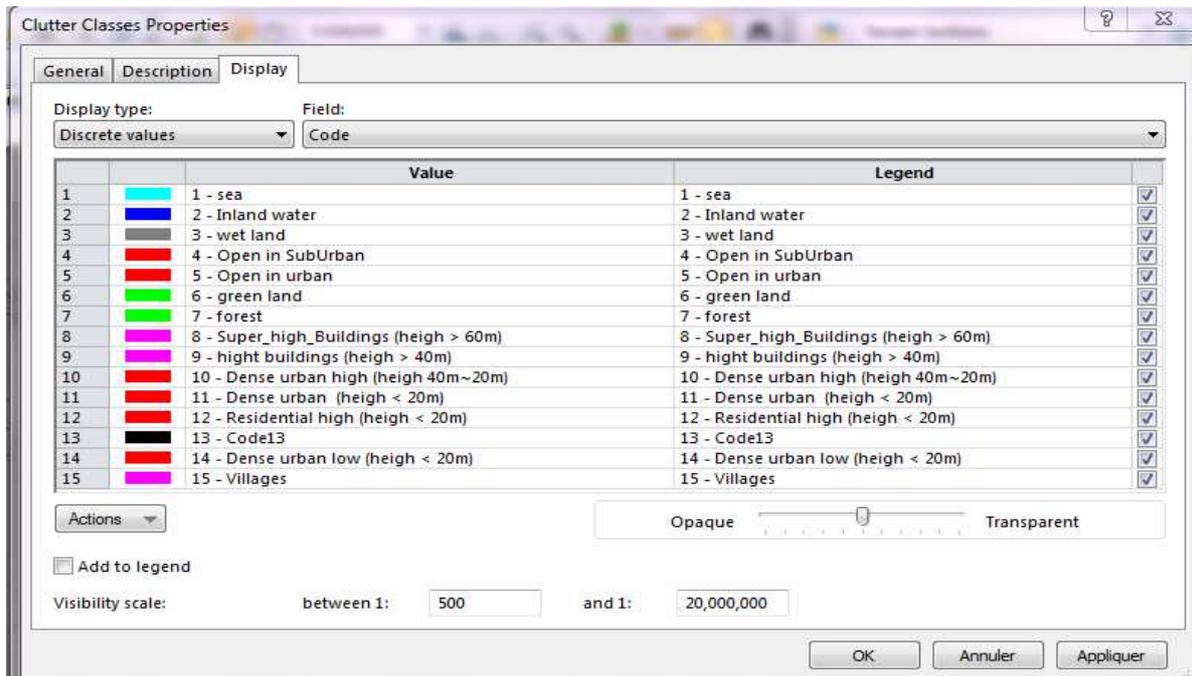


Figure III.10 : Composition de la zone sélectionnée

III.6 Ajout des sites

Pour introduire les sites, nous avons choisi la méthode du motif hexagonal. Nous ajoutons les sites nécessaires pour couvrir cette zone.

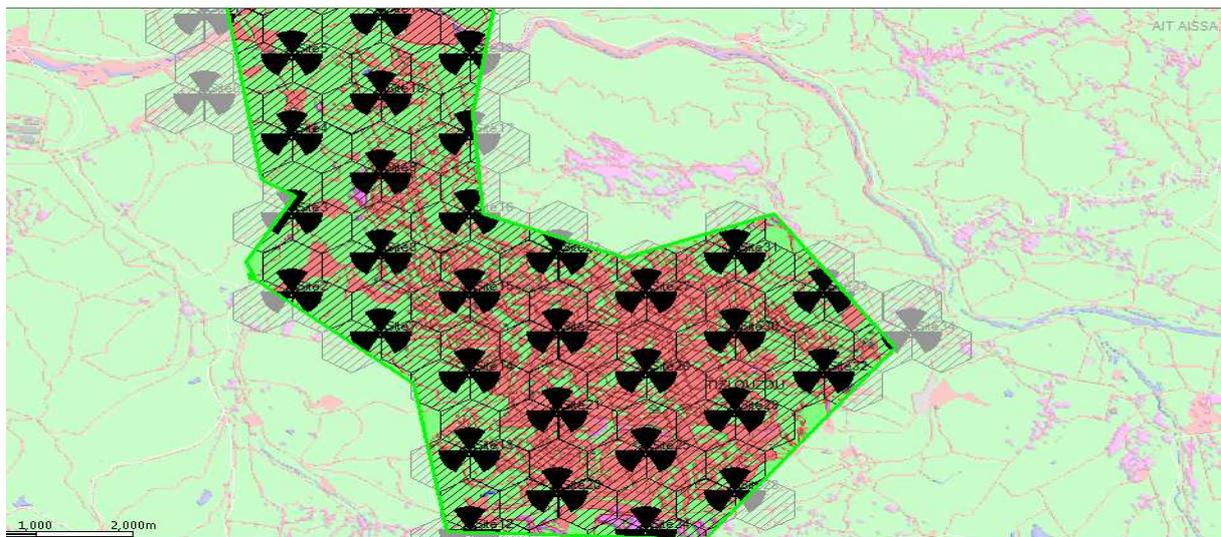


Figure III.11 : Distribution des sites

Nous activons les secteurs du site, on a des contraintes à respecter :

-L'angle formé par deux secteurs de deux sites voisins ne doit pas être égal à 180° ou 0° .

Le choix idéal est un angle égal à 60° [180°].

Nous testons la couverture en activant les sites.

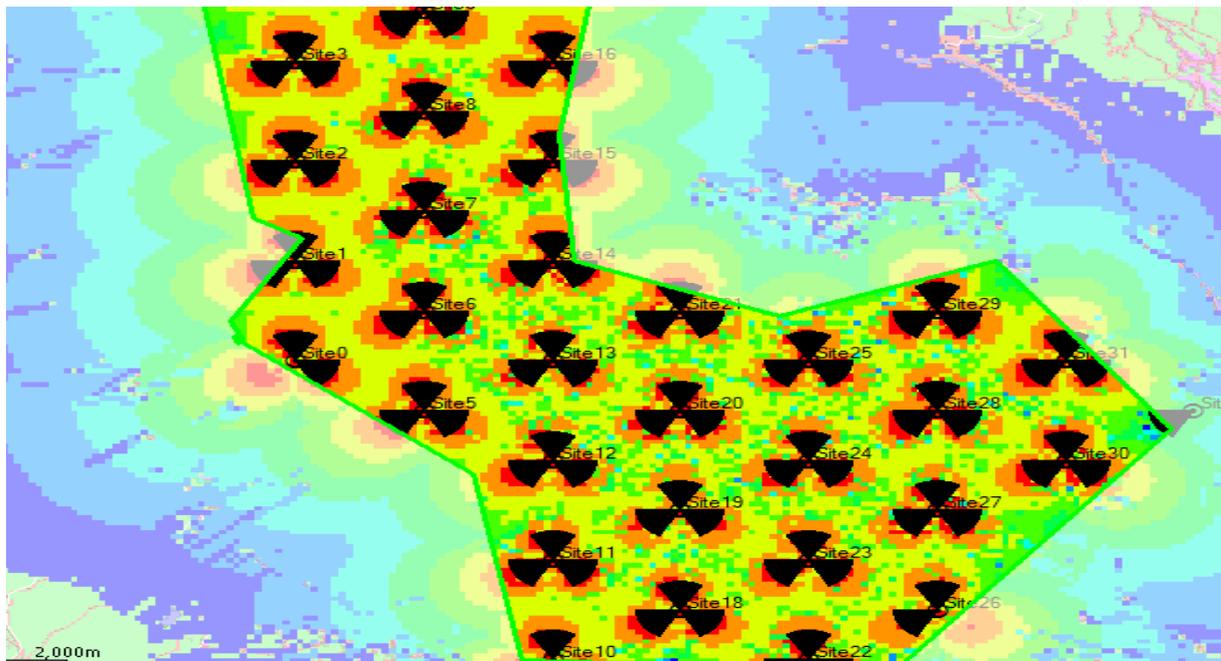


Figure III. 12 : Activation des secteurs

Après l'introduction des sites par la méthode qui repose sur la forme hexagonale, on procède à l'optimisation du réseau en déplaçant les sites dont la morphologie de terrain présente un obstacle pour le champ de rayonnement de ses antennes, en modifiant les tilts et les azimuts des antennes.

L'optimisation a été effectuée sur des prédictions de la couverture, puis des modifications et jusqu'à aboutir à un résultat convainquant. la valeur seuil est de -105dbm .

La figure suivante décrit la prédiction de couverture, chaque couleur indique le niveau de la puissance de couverture.

		Min	Max	Legend
1		-70		Best Signal Level (dBm) ≥ -70
2		-75		Best Signal Level (dBm) ≥ -75
3		-80		Best Signal Level (dBm) ≥ -80
4		-85		Best Signal Level (dBm) ≥ -85
5		-90		Best Signal Level (dBm) ≥ -90
6		-95		Best Signal Level (dBm) ≥ -95
7		-100		Best Signal Level (dBm) ≥ -100
8		-105		Best Signal Level (dBm) ≥ -105

Figure III.13 : Prédiction de couverture

Une fois la zone est bien couverte, on peut prendre les résultats finaux de la planification :

- ✓ Surface=26.47 km²
- ✓ Le rayon de cellule=0.63 km²
- ✓ La distance intersites= $3/2 \cdot R = 0.95$ km²
- ✓ Le nombre de site =35 sites

III.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons évoqué le principe de dimensionnement ainsi les étapes en relation avec la réalisation de l'application. Nous avons exposé des aperçus d'écran qui témoignent les différentes étapes de la planification.

Conclusion générale

Conclusion générale

Depuis leur création, les téléphones mobiles sont devenus indispensables à notre quotidien. Actuellement, c'est la 3G qui domine le marché, même si les forfaits mobiles 4G commencent à se développer. Le téléphone portable est devenu un objet de consommation courante dont on ne saurait plus se passer.

Dans ce mémoire, nous avons exposé, l'évolution technologique du réseau 3 G vers la 4 G ainsi que la planification cellulaire du réseau LTE de la ville de Tizi-Ouzou pour l'opérateur Mobilis.

Nous avons commencé par donner des informations générales sur la technologie UMTS et LTE pour donner les liens de comparaison et les innovations apportées pour le réseau LTE par rapport aux technologies précédentes. Ensuite, nous avons fait une étude sur le dimensionnement orienté capacité et couverture. Ce processus, qui est caractérisé par sa complexité, est suivi pour enfin déterminer le nombre des sites optimisés ; ainsi nous avons introduit les deux outils logiciels RND et ATOLL, ces derniers sont les outils de planification. Les résultats obtenus doivent être vérifiés sur le terrain car des facteurs imprévisibles peuvent intervenir (nouveaux immeubles, obstacles saisonniers, etc.).

Notre projet servira de base d'étude à une continuation future pour d'autres projets visant la validation des résultats de la planification en environnement réel et l'optimisation du réseau basée sur les tests appropriés. Ceci sera peut-être plus simple dans les années à venir lorsque les opérateurs de téléphonie mobile s'engagent dans l'exploitation réelle des réseaux LTE.

Glossaire

3G	third generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	fourth generation
A	
ARIB	Association for Radio Industry and Business
AS	Active Set
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ARQ	Automatic Repeat request
ARP	Allocation and Retention Priority
B	
BCCH	Broadcast Control Channel
BER	Bit Error Rate, Taux d'erreurs binaires
BLER	Bloc Error Rate
BS	Base Station
BSS	Base Station Subsystem
BSSAP	Base Station Subsystem Application Part
C	
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network, Réseau cœur
COST	Coopération européenne dans le domaine Scientifique et Technique
CPICH	Common Pilot Channel
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRNC	Control Radio Network Controller
CS	Circuit Switched domain, Domaine à commutation de circuits
CWTS	China Wireless Telecommunication Standard Group
D	
DCH	Dedicated Channel
DL	DownLink, Liaison descendante
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPCH	Dedicated Physical Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel

DRNC	Drift Radio Network Controller
DS	Direct Sequence
E	
Ec/Io	Rapport Energie du chip au niveau d'interférence
EDGE	Enhanced Data rate for the GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European telecommunication Standards Institute
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved Umts Terrestrial Radio Access Network
EMM	Eps Mobility Management
F	
FACH	Fast Access Channel
FBI	FeedBack Information
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FP	Frame Protocol
G	
GPRS	Global Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
GGSN	Gateway Gprs Support Node
H	
HO	Handover
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HARQ	Hybrid Automatic Repeat request
HSPA+	High Speed Packet access+
I	
IMT2000	International Mobile Telecommunication 2000
IS-95	Interim Standard 95
ISUP	ISDN User Part
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IMS	IP Multimedia Subsystems
INCT	Institut National de Cartographie et de Télédétection

L

LTE Long Term Evolution

M

MAP Mobile Application Part

MMS Multimedia Message Service

MSC Mobile Switching Center

MME Mobility Management Entity

MEXE Mobile Station Application Exécution Environnement

MIMO Multiple Input Multiple Output

N

NSS Network SubSystem

O

OVSF Orthogonal Variable Spreading Factor

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access

P

PCH Paging Channel

PDC Personal Digital Cellular

PDU Protocol Data Unit

PRACH Physical Random Access Channel

PS Packet Switched domain, Domaine à commutation de parquets

PDP Packet Data Protoco

Q

QAM Quadratic Amplitude Modulation

QoS Quality of Service

QPSK Quadratic Phase Shift Keying

R

R99/4/5 Release 99/4/5

RAB Radio Access Bearer

RNC Radio Network Controller

RNS Radio Network Subsystem

RRC Radio Resource Managment, Gestion des ressources radio

RN Request Number

S

SF Spreading Factor, facteur d'étalement

SHO	Soft Handover
SIM	Subscriber Identity Module
SIR	Signal to Interference Ratio, Rapport signal à interférence
SMS	Short Message Service
SRNC	Serving Radio Network Controller
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
SN	Sequence Number
SISO	Signal Input Signal Output
T	
T1	Standardisation Committee T1- Telecommunication
TB	Transport Bloc
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TF	Transport Format
TFC	Transport Format Combination
TFCI	Transport Format Combination Indicator
TPC	Transmission Power Control
TTA	Telecommunications Technology Association
TTI	Transmission Time Interval
TDD	Time Division Duplex
U	
UE	User Equipment, Equipement usager
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UL	UpLink, Liaison montante
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UWC	Universal Wireless Communications
UE	User Equipement
W	
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access, CDMA large bande
WAP	Wimax Access Point
WARC	World Administrative Radio Conference

Bibliographie

- [1] Chevallier, C., Brunner, C., Garavaglia, A., Murray, K.P. et Baker, K.R., WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning and Optimization Aspects, John Wiley & Sons, 2006, Chichester, Angleterre.
- [2] Sanchez, J. et Thioune, M., UMTS, Hermes Sciences, 2004, Paris, France.
- [3] Holma, H., et Toskala, A., WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, 2007, Chichester Angleterre.
- [4] Ericsson Radio Systems, WCDMA Radio Network Design, Ericsson, 2000, Suède
- [5] Mobile Communication Division, UMTS Radio Network Planning Guidelines, ALCATEL 2001, France.
- [6] A. Ghosh, R. Ratasuk and ail, "LTE-Advanced: Next-Generation Wireless Broadband Technology", IEEE Wireless Communications, page 4-22, Juin 2010.
- [7] M. Salhani, "Modélisation et Simulation des Réseaux mobiles de 4ème Génération" Institut National Polytechnique de Toulouse, page 1-23, France, octobre 2008.
- [8] Roke Manor Research Limited, "LTE eNodeB MAC Scheduler Introduction", Roke Manor, Romsey, Hampshire, S051 OZN, page 1-4, Angleterre, 2009.
- [9] Qualcomm Incorporated, "LTE Mobility Enhancements", RFC 12/20079, février 2010.
- [10] 3GPP TS 29.274, Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control plane (GTPv2-C).
- [11] www.efort.com. 2009, site d'études et formations en Télécommunications Service et Réseaux de Télécommunication).
- [12] Frook Khan " LTE for 4G broadband. Cambridge" University Press 2009.
- [13] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, and Johan SKold " 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband.
- [14] Roke Manor Research Limited, "LTE eNodeB MAC Scheduler Introduction", Roke Manor, Romsey, Hampshire, S051 OZN, page 1-4, Angleterre, 2009.
- [15] J. Wiqard and T. Kolding., "On the User Performance of LTE UE Power Savings.

Sites Internet

-www.efort.com. 2009, site d'études et formations en Télécommunications Service et Réseaux de Télécommunication).

-http://www-igm.univ-mlv.fr/~drIXPOSE2006/eric_meurisse/umts.php.

-www.ixiacom.com. Site de fabricants d'équipements réseau.

Mémoires de fin d'étude

L'interface air dans l'UMTS, 2005.

Planification radio d'un réseau 3G ,2008.

Impact des interférences de la couche physique sur la couche MAC dans la Technologie LTE.
Juin 2011.

Résumé

Le réseau radio mobile est aujourd'hui un domaine en pleine effervescence. Pendant la dernière décennie, l'évolution de la télécommunication a donné vie à une nouvelle gamme de service qui a écarté les services classiques afin de satisfaire l'augmentation du nombre des utilisateurs et les exigences de la quantité de données élevées.

Cette motivation, a poussé la génération mobiles à se développer de la technologie UMTS vers un système LTE (Long Terme Evolution).

Le système 4G permet la mise à niveau des réseaux de communication. Il devrait fournir une solution IP complète et sécuriser pour les installations multimédias, telles que la voix et les données multimédias qui seront fournies aux utilisateurs; dans un esprit de « Anytime, Anywhere », avec une qualité de service beaucoup plus élevée par rapport aux générations précédentes.

L'initiative, nommée LTE/SAE (System Architecture Evolution), résulte de la version 8 des spécifications 3GPP (Third Generation Partnership Project). En plus d'un débit de 100 Mb/s, le nouveau standard devrait permettre aux opérateurs de réduire leurs coûts.

Ce dernier critère est crucial pour le développement d'une technologie, et ainsi il permettrait aux utilisateurs de bénéficier de meilleures performances et d'un temps de latence.

Dans le premier chapitre on a présenté d'une façon générale le réseau 3G (l'architecture et les sous systèmes, les caractéristiques les interfaces, les différents canaux), ensuite on a donné les différents changements qu'a apporté cette technologie par rapport aux technologies précédente.

Le deuxième chapitre comprend la technologie du réseau 4G LTE. des réseaux de communication cellulaires sans fil. Nous allons présenter une étude introductive portant sur les spécifications techniques de ce standard par une description globale des successeurs de la 3G vers LTE, puis on a donné les différents changements apportés par la LTE.

Dans le troisième chapitre on a fait une étude sur la planification de réseau de 4^{ème} génération pour la ville de Tizi-Ouzou avec l'outil de planification radio nommé Atoll ainsi qu'avec l'outil de dimensionnement RND. Enfin une conclusion générale récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

ARIB	Association for Radio Industry and Business
AS	Active Set
ATM	Asynchronous Transfer Mode
GSM	Global System for Mobile communication
LTE	Long Term Evolution
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System