

République de TUNISIE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Carthage

Ecole Polytechnique de TUNISIE



Option:
Signaux et Systèmes SISY

Rapport de Stage Ingénieur

**Etude détaillée de l'architecture d'un réseau 3G
dans le cadre d'une migration depuis un réseau
GSM: Cas de TELECEL Faso**

10 Août – 10 Septembre 2011

Entreprise d'Accueil:
TELECEL FASO



Elaboré par:
Abdoulaye TALL
Elève Ingénieur 3^{ème} année

Encadreur:
OUEDRAOGO S. Michel
Chef du Service Projet/Roll-out

Année Universitaire
2011-2012

Remerciements

Je remercie tout d'abord Monsieur **Dimitri OUEDRAOGO**, DG de TELECEL Faso pour m'avoir accueilli au sein de son entreprise pour mon stage ingénieur.

Je tiens beaucoup à exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude à Monsieur **TINTA Arouna**, Directeur Technique de TELECEL Faso, pour sa sollicitude et sa grande générosité envers moi sans qui ce stage n'aurait pas eu lieu.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur de stage Monsieur **OUEDRAOGO S. Michel**, chef du service **Projet/Roll-out** qui m'a guidé et soutenu durant ce stage et qui n'a pas hésité à m'accorder du temps à chaque fois qu'il le fallait malgré son emploi du temps chargé.

Je remercie enfin l'ensemble du personnel de la direction technique de TELECEL Faso et plus particulièrement Monsieur **Dominique BOUDA**, Monsieur **Sylvain GOUNGOUNGA**, Monsieur **Hassami COMPAORE**, Monsieur **Soumaila ZARE**, Monsieur **Idrissa GUIRA** et l'ensemble des **superviseurs** pour m'avoir supporté dans leur bureau tout au long de mon stage.

Résumé

Ce rapport présente l'étude que j'ai effectuée chez l'opérateur de téléphonie mobile TELECEL Faso en vue de la migration de leur réseau vers la 3G durant mon stage ingénieur. Une licence 3G a en effet été récemment mise sur le marché par le gouvernement burkinabé. Avant l'acquisition de la licence, des études commerciales, économiques ou techniques doivent être menées afin d'évaluer l'opportunité représentée par l'acquisition de cette licence. Ce travail se situe donc dans le volet technique de ces études.

Nous visitons la palette de technologies répondant à la norme 3G et en adoptons une après avoir énoncé nos critères de choix. Ensuite nous approfondissons la description de la solution retenue avant de proposer une planification d'implémentation assortie d'un dimensionnement préliminaire.

Abstract

This report is about a study conducted within the mobile operator TELECEL Faso in preparation for a migration to 3rd generation during my 2nd year internship. In fact, recently the Burkinabe government launched the market for acquisition of 3G license. Before any offer can be made, studies have to be undertaken either on the economical or technical aspects in order to evaluate the opportunity of such acquisition. This work can be placed among those studies.

We begin exploring the various technologies meeting the requirements for being considered a 3rd generation technology. We then make a choice according to defined criteria. The remaining work is a thorough study of the chosen solution and a proposition of implementation.

Sommaire

Remerciements	1
Résumé	2
Abstract.....	3
Sommaire.....	4
Liste des figures.....	6
Introduction Générale.....	7
Chapitre 1. Cadre du stage	8
1. Entreprise d'Accueil : TELECEL Faso	8
1.1. Introduction.....	8
1.2. Structure administrative.....	8
1.3. La direction technique	9
1.4. Offre mobile de TELECEL Faso	10
2. Etude de l'existant	10
2.1. Introduction.....	10
2.2. Réseau Cœur	10
2.3. Interface Radio.....	11
Chapitre 2. Choix de la technologie	12
1. Technologies répondant à la spécification 3G.....	12
1.1. UMTS	12
1.2. CDMA2000	13
1.3. Mobile WiMAX.....	14
1.4. EDGE.....	15
2. Comparaison générale des technologies.....	15
3. Choix de la technologie à adopter	16
Chapitre 3. Etude détaillée de la solution retenue - UMTS.....	17
1. Description Générale	17
1.1. Objectifs de l'UMTS	17
1.2. Les services offerts par l'UMTS.....	18
1.3. L'allocation spectrale en UMTS.....	18
2. Architecture d'un réseau UMTS.....	19
2.1. Node B	20
2.2. Radio Network Controller	20

2.3. Interfaces de l'UTRAN.....	22
2.4. Core Network.....	22
3. Interface Air WCDMA.....	23
3.1. Mode d'accès multiple et multiplexage.....	23
3.2. Contrôle de puissance.....	25
3.3. Diversité et handover.....	25
3.4. Les Protocoles.....	26
3.5. Les canaux.....	27
4. Evolution de l'UMTS (HSDPA, HSUPA, vers LTE).....	29
5. Migration depuis le GSM.....	29
Chapitre 4. Architecture et dimensionnement.....	31
1. Nouvelle architecture du réseau 2G/3G de TELECEL.....	31
2. Dimensionnement préliminaire.....	32
2.1. Introduction.....	32
2.2. Procédure normale de dimensionnement.....	33
2.3. Dimensionnement préliminaire.....	35
2.4. Interface de calcul.....	36
Conclusion.....	38
Annexe 1. GSM : Définitions.....	39
Annexe 2: Calcul de la portée des cellules.....	40
Annexe 3: Organigramme de TELECEL FASO.....	41
Bibliographie.....	42
Sitographie.....	42

Liste des figures

Figure 1. Architecture du réseau de TELECEL FASO	11
Figure 2. Architecture d'un réseau UMTS.....	13
Figure 3. Architecture d'un réseau CDMA2000.....	14
Figure 4. Architecture d'un réseau WIMAX Mobile	15
Figure 5. Allocation fréquentielle en UMTS.....	19
Figure 6. Ericsson Node B RBS 3418.....	20
Figure 7. Mécanisme de handover au niveau RNC.....	21
Figure 8. Eléments du réseau coeur de l'UMTS.....	23
Figure 9. Illustration du processus d'étalement/désétalement.....	24
Figure 10. Etapes du Soft handover an niveau d'un seul RNC	26
Figure 11. Pile de protocoles de l'interface air WCDMA.....	27
Figure 12. Mappage entre types de canaux	28
Figure 13. Réseau GSM/GPRS-UMTS intégré	30
Figure 14. Réseau de TELECEL Faso après ajout d'équipements UMTS.....	31
Figure 15 . Outil de dimensionnement au lancement.....	37
Figure 16. Dimensionnement préliminaire pour 16 km ²	37

Introduction Générale

Les premiers moyens de communication électronique ne permettaient d'échanger que la voix. Peu à peu, l'on se rendit compte de la nécessité d'échanger les données qui devinrent de plus en plus numériques. On constate alors qu'il existe un lien trivial entre le débit d'informations que l'on peut transmettre et recevoir et le type même de ces informations. Cette évolution du type de données à échanger entraîne inévitablement une nécessité de faire évoluer le support de transmission de cette information. C'est ainsi que plusieurs générations de technologies existent. La téléphonie mobile ne fait pas l'exception à ce sujet. Après la voix, l'échange de messages texte fut mis en place avec le SMS. L'énorme vulgarisation de l'internet nécessita qu'il soit aussi accessible pour les usagers du mobile, ce qui demande que les débits d'informations qu'on peut transmettre ou recevoir avec un mobile soient conséquents. Les applications pour l'internet mobile sont diverses et variées avec des débits et QoS variés.

Bien que l'heure soit à la 4^{ème} génération (4G), plusieurs réseaux à travers le monde fonctionnent encore sur la 2G de par sa robustesse à fournir les services téléphoniques de base et son évolution vers la 2.75G. Cependant de plus en plus il devient inévitable de migrer vers la 3G. C'est dans ce contexte que j'ai effectué mon stage ingénieur chez un opérateur de téléphonie mobile au Burkina Faso du nom de TELECEL Faso. Mon intérêt vers les télécommunications et ma volonté de découvrir le monde de l'entreprise au Burkina Faso m'ont conduit à ce choix.

Le travail au cours du stage s'est porté essentiellement sur l'étude détaillée de l'architecture d'un réseau 3G qui viendrait à être greffé au réseau existant de TELECEL Faso. En d'autres termes je devais faire une étude sur le choix de technologie, faire une description élaborée de cette technologie et élaborer un plan de migration.

Ce rapport commence par une présentation de l'entreprise d'accueil après une brève introduction au pays du stage. Une revue des différentes technologies de 3^{ème} génération est ensuite faite pour en choisir une selon des critères bien précis. Nous faisons par la suite une description détaillée de la solution retenue avant de proposer une procédure de migration comprenant le dimensionnement préliminaire.

Chapitre 1. Cadre du stage

1. Entreprise d'Accueil : TELECEL Faso

1.1. Introduction

Etant donné que le stage s'est effectué hors de la Tunisie, un petit paragraphe sur le pays du stage s'impose.

Le Burkina Faso est un pays situé en Afrique de l'Ouest entouré de la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo et le Benin au Sud, le Niger à l'Est et le Mali au Nord et à l'Ouest. Le nom du pays était « Haute-Volta ». Depuis l'accession à l'indépendance (colonialisme français) en 1960, le nouveau nom fut adopté le 4 Août 1984 sous la présidence du capitaine Thomas Sankara et signifie « Pays de Hommes Intègres » et les habitants du Burkina Faso sont appelés Burkinabé. Peuplé de plus de 16 millions d'habitants sur une superficie de 274200Km², le pays compte une multitude d'ethnies (environ 60) et de religions (l'Islam domine avec +60%). L'économie est basée sur l'agriculture avec une montée fulgurante de la culture du coton ces dernières années. Plusieurs sites miniers sont en exploitation ou en prospection présentement avec une prédominance de l'or comme minerai. La capitale est Ouagadougou et la 2^e ville est Bobo-Dioulasso. Côté Télécommunications, le pays compte trois opérateurs de téléphonie mobile avec plus de 4.125.000 abonnés.

L'entreprise où j'ai effectué mon stage est justement l'un des trois opérateurs du nom de TELECEL Faso. C'est une Société Anonyme (SA) avec un capital de 2 500 000 000 FCFA créée en 2000 et maintenant filiale du Groupe Planor Afrique. Elle œuvre exclusivement dans l'offre de services liés à la téléphonie mobile. Elle dispose d'une structure organisationnelle bien établie lui permettant de mener à bien la quête de ses objectifs dont la satisfaction du client.

1.2. Structure administrative

Un conseil d'administration constitué de six membres dispose des prérogatives nécessaires à la gestion, à l'orientation et à l'attribution des tâches au sein de l'entreprise ; c'est ce conseil qui nomme le Directeur Général. La Direction Générale constitue l'organe pilote de décision chargé de mettre en œuvre les politiques définies par le Conseil d'Administration. A cet effet, elle supervise et coordonne les activités des différentes Directions et Divisions sous sa coupe qui sont :

- La Direction Technique
- La Direction Administrative et Financière
- La Direction Commerciale

- La Division Juridique, Règlementation et Interconnexion
- La Division Marketing et Communication
- La Division des Ressources Humaines

Voir Annexe 3 : Organigramme de TELECEL FASO.

La Direction qui m'a accueillie pendant mon stage est la Direction Technique dont nous allons détailler les différents services.

1.3. La direction technique

Cette Direction est en charge de toute la technologie offerte par l'opérateur. Elle s'assure ainsi de la satisfaction du client par la gestion de tous les équipements du réseau GSM/GPRS de TELECEL Faso. Elle s'occupe aussi de la gestion du réseau informatique interne de TELECEL Faso qui comprend non seulement les équipements de gestion des comptes clients mais aussi l'échange d'informations entre les différentes Directions de l'entreprise. Afin de mener à bien ces responsabilités, la Direction Technique s'est dotée de (07) sept services techniques :

- ✚ **Le service BSS (Base Station SubSystem)** en charge de tous les équipements BSS et donc de l'interface radio même.
- ✚ **Le service NSS (Network SubSystem)** en charge du cœur du réseau GSM de TELECEL Faso qui comprend non seulement les activités de routage (interne et vers roaming) mais aussi la gestion technique de comptes clients.
- ✚ **Le service Billing (Management Information System)** en charge de la gestion de modules liés à la facturation, la gestion commerciale des abonnés et des ventes ; le développement de modules de gestion de la clientèle, de comptabilité ou de paie.
- ✚ **Le service PPS et VAS** en charge de la gestion des abonnés prépayés et des services à valeur ajoutée (SMS, Service d'Information, WebtoSMS, etc.).
- ✚ **Le service Analyse Performance du réseau** chargé de l'ingénierie transmission de l'ensemble du réseau qui consiste à la détermination de routes optimales d'acheminement de l'information sur le réseau, le choix des supports utilisés sur ces routes, le dimensionnement de l'énergie électrique pour l'ensemble du réseau et l'installation/entretien d'équipements d'air conditionné sur les sites BTS.
- ✚ **Le service Ingénierie et Optimisation** en charge du dimensionnement et de la planification GSM.
- ✚ **Le service Projet/Roll-out** en charge de la planification des différents projets d'extension, l'élaboration des cahiers de charge pour l'attribution de marché sur ces projets, le suivi de l'exécution des contrats découlant de ces marchés. C'est au sein de ce service que s'est déroulé mon stage.

1.4. Offre mobile de TELECEL Faso

TELECEL Faso exploite un réseau mobile 2G GSM/GPRS mis à niveau avec l'EDGE. Grâce à cela il propose une panoplie de services tant sur des lignes prépayées que post-payées. Les services proposés incluent le Web to SMS (entreprise ou grand public), un service d'information au 802 appelé TAM-TAM, le roaming grâce à un important réseau de partenariat tissé à travers 119 pays de par le monde, et une offre internet mobile (EDGE) en plus des services traditionnels présents chez les opérateurs GSM.

2. Etude de l'existant

2.1. Introduction

TELECEL Faso exploite présentement un réseau 2G GSM qu'il a fait évoluer afin de supporter la commutation de paquets avec l'ajout d'équipements offrant le GPRS ainsi que l'EDGE. C'est donc un réseau 2.75G GSM/EGPRS. Cette infrastructure permet à TELECEL FASO d'offrir à ses abonnés les services de base fournis sur les réseaux mobiles tels que la voix, le sms mais aussi des services plus avancés mettant en œuvre l'acheminement de paquets tels que le wap ou encore l'internet mobile. Grâce toujours à la combinaison EDGE-GPRS, TELECEL FASO permet à ses abonnés de se connecter à internet à partir d'un ordinateur via un modem usb.

Comme tout réseau mobile de ce type, on distingue deux principales parties : le réseau cœur et l'interface radio. Voir Figure 1.

2.2. Réseau Cœur

Le cœur du réseau comprend au départ un MSC (Mobile switching Center) doublé d'une VLR (Visitor Location Register), d'un HLR (Home Location Register) et d'une AuC et relié à deux MGW, l'un vers les serveurs de tarification, de monitoring (OMC), et l'autre vers les autres réseaux (autres opérateurs, satellites, ...). En sus de ceci sont venus s'ajouter les équipements nécessaires à la mise en place du GPRS à savoir un CGSN pour Combined GPRS Support Node qui inclut le SGSN (Serving GPRS Support Node) et le GGSN (Gateway GPRS Support Node) fournissant ainsi l'accès mobile à Internet. Les rôles de ces différents équipements sont détaillés dans l'Annexe 1.

Les liaisons entre les différents éléments du réseau cœur sont assurées soit par des E1 soit par des STM selon la bande passante requise.

Notons que le réseau de TELECEL Faso est en pleine extension et que donc un nouveau MSC sera mis en place en même temps que la séparation du SGSN et du GGSN ainsi que d'autres équipements.

2.3. Interface Radio

Le réseau d'accès radio (Radio Access Network) comprend tous les équipements fournissant l'accès radio aux abonnés (terminaux mobiles). Ce sont en fait des BTS (Base Transceiver Stations ou stations de base) offrant une multitude de fonctions permettant à l'abonné d'accéder aux différents services proposés par TELECEL. Les ressources radio des BTS sont gérées par des BSC (Base Stations Controller ou contrôleurs de stations) qui supervisent les connexions entre les BTS et les MSC (voir point suivant), assurent la gestion et la configuration des canaux radio, la gestion des handovers, etc. Les différentes BTS sont reliées à leur BSC correspondant par liaison FH. Le réseau n'étant pas maillé, pour atteindre les zones reculées certaines BTS servent de relais à d'autres pour atteindre le BSC.

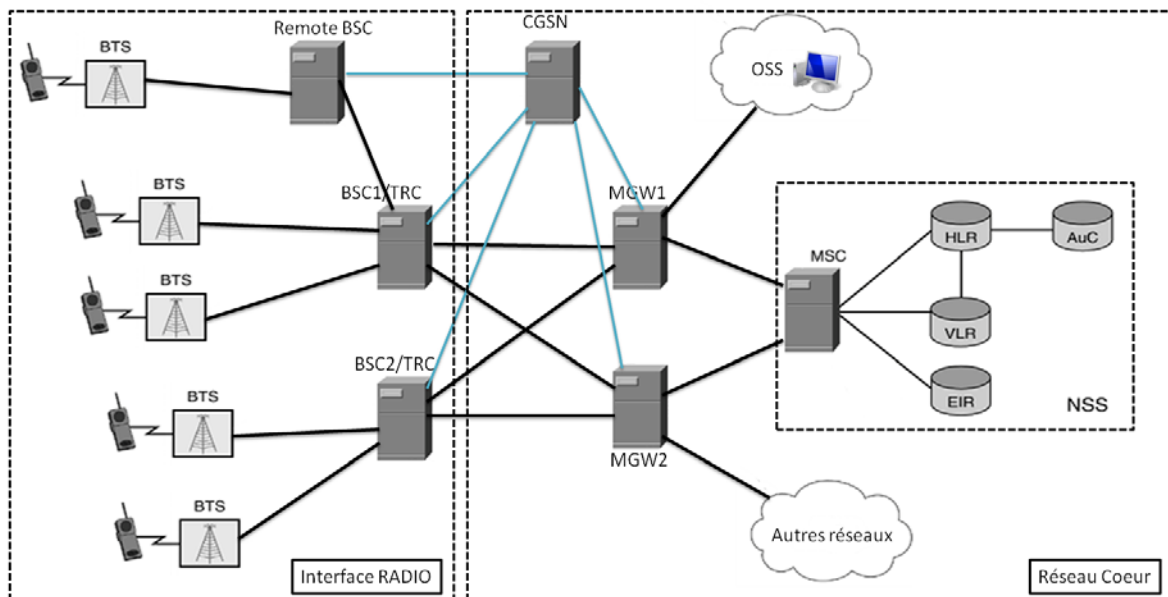


Figure 1. Architecture du réseau de TELECEL FASO

Chapitre 2. Choix de la technologie

1. Technologies répondant à la spécification 3G

La norme 3G a été définie et spécifiée par l'Union Internationale de Télécommunications à travers l'ensemble des spécifications que constitue l'IMT-2000. L'objectif initial était d'avoir un seul standard universel fournissant des services multimédia mobiles à haut débit et à travers une seule bande de fréquences. Les différences de réglementation en matière d'attribution de bandes de fréquences entre les pays rendaient impossible cela. Plusieurs standards ont alors été développés, chacun pour une région bien spécifique et dans l'optique d'assurer la facilité de migration depuis l'un des standards 2G existants. Deux groupes se fondèrent, à savoir le 3GPP travaillant à évoluer le standard GSM vers la 3G et le 3GPP2 qui lui se basa sur l'IS-95 adopté en Amérique du Nord.

Différentes technologies découlèrent de ces travaux répondant à la norme 3G : l'UMTS (WCDMA), le CDMA2000, le WiMAX, l'EDGE.

1.1. UMTS

Développée par le consortium 3GPP, l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est le standard 3G qui descend du GSM. En effet, l'UMTS a été conçu pour faciliter la migration 2G vers 3G en partant d'un réseau GSM.

Le standard propose trois choix pour l'interface air :

- ① W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) ou encore UTRA-FDD : utilise une technique d'étalement de spectre à séquence directe (DS-SS) sur des paires de bandes de fréquences larges de 5MHz. C'est la combinaison du FDD et du CDMA. C'est aussi la méthode d'accès la plus répandue pour l'UMTS.
- ② UTRA-TDD : utilise le TD-SS également avec des bandes non-appairées de 5MHz divisées en frames de 10ms chacune divisée en 15 slots. C'est donc une combinaison du TDMA et du CDMA.
- ③ TD-SS : utilise le TDD en plus de la combinaison TDMA-SS en mode synchrone. Cette interface a été implémentée surtout en Chine.

L'architecture ne diffère de celle du GSM/GPRS que par le réseau d'accès radio dans lequel les BSC sont remplacés par des RNC (Radio Network Controller) et les BTS par des Node B. Ainsi le réseau UMTS peut être directement greffé sur un réseau GSM.

De nouveaux terminaux sont nécessaires pour permettre à l'abonné de se connecter au réseau ainsi qu'une U-SIM remplaçant la SIM et fournie par l'opérateur. De nombreux équipements compatibles UMTS existent aujourd'hui sur le marché offrant parfois même la double compatibilité GSM/UMTS.

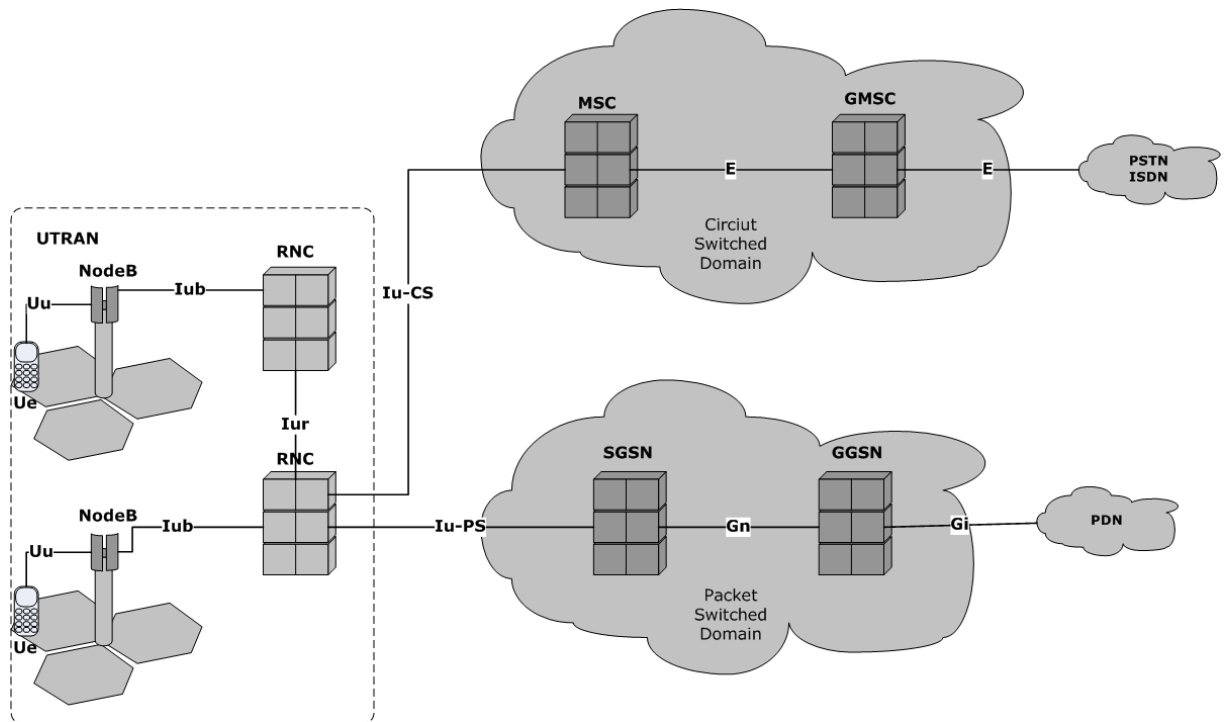


Figure 2. Architecture d'un réseau UMTS

1.2. CDMA2000

Encore appelée IMT Multi-Carrier (IMT-MC), CDMA2000 est la famille de standards 3G équivalente à l'UMTS mais dérivée des systèmes 2G IS-95. Cette spécification est développée par le consortium 3GPP2 et elle ne porte aucune contrainte sur les bandes de fréquences utilisées. La transition de l'IS-95 vers le cdma2000 passe d'abord par le cdma2000 1x qui offre un débit maximal de 144kbps, puis le cdma2000 1xEV-DO (Evolution of Data Only) augmentant le débit maximal à 384kbps ce qui est déjà considéré comme de la 3G avant d'arriver au cdma2000 1xEV-DV (Evolution of Data and Voice). Il y aura ensuite le cdma2000 3x qui portera à 3 le nombre de porteuses par canal d'où l'appellation Multi-Carrier. Chaque porteuse est large de 1,25 MHz. Cette technologie est parfaitement compatible avec l'IS-95B.

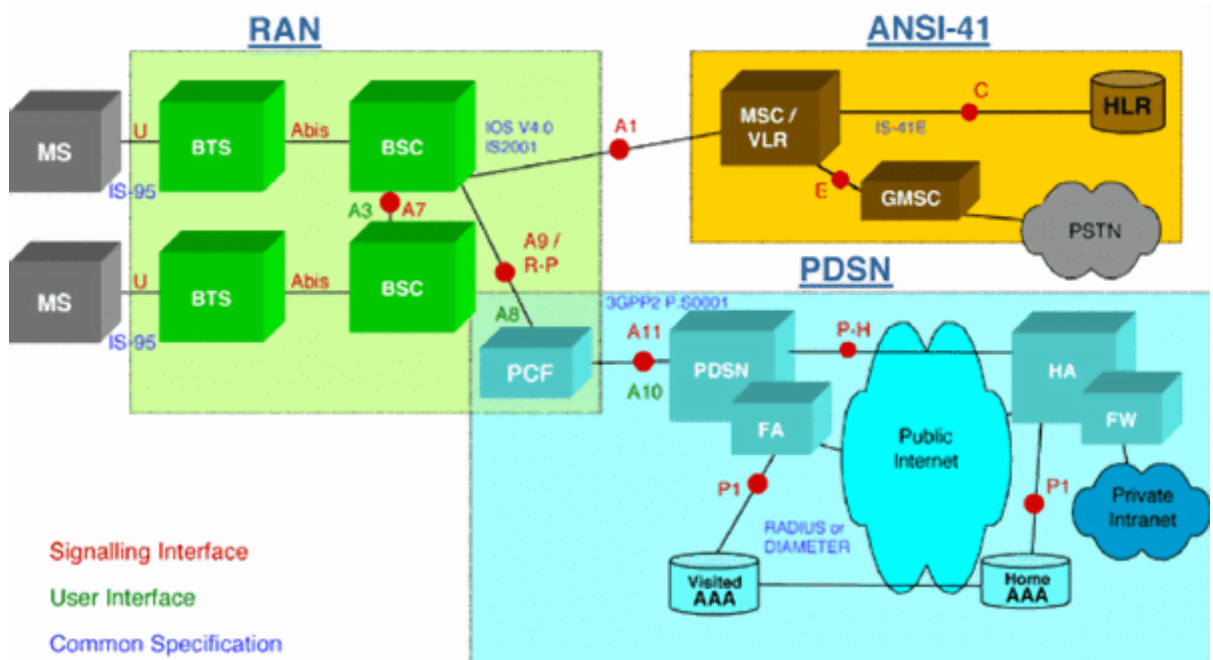


Figure 3. Architecture d'un réseau CDMA2000

1.3. Mobile WiMAX

Hormis les deux technologies précédentes, d'autres technologies répondent aux exigences fixées par l'IUT concernant la norme 3G. Parmi elles, nous avons le wimax pour Worldwide Interoperability for Microwave Access qui est une technologie d'accès sans fil longue portée basée sur le standard 802.16 de l'IEEE. WiMAX utilise l'OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) avec des canaux à largeur de bande variable entre 1,25 MHz et 20 MHz. Contrairement aux deux technologies précédentes, le WiMAX ne découle d'aucune technologie 2G et donc ne communique avec les autres types de réseau qu'avec des passerelles. Ses principaux atouts sont sa facilité de déploiement, sa zone de couverture et son débit relativement élevé qui lui procurent le droit à l'appellation 3G.

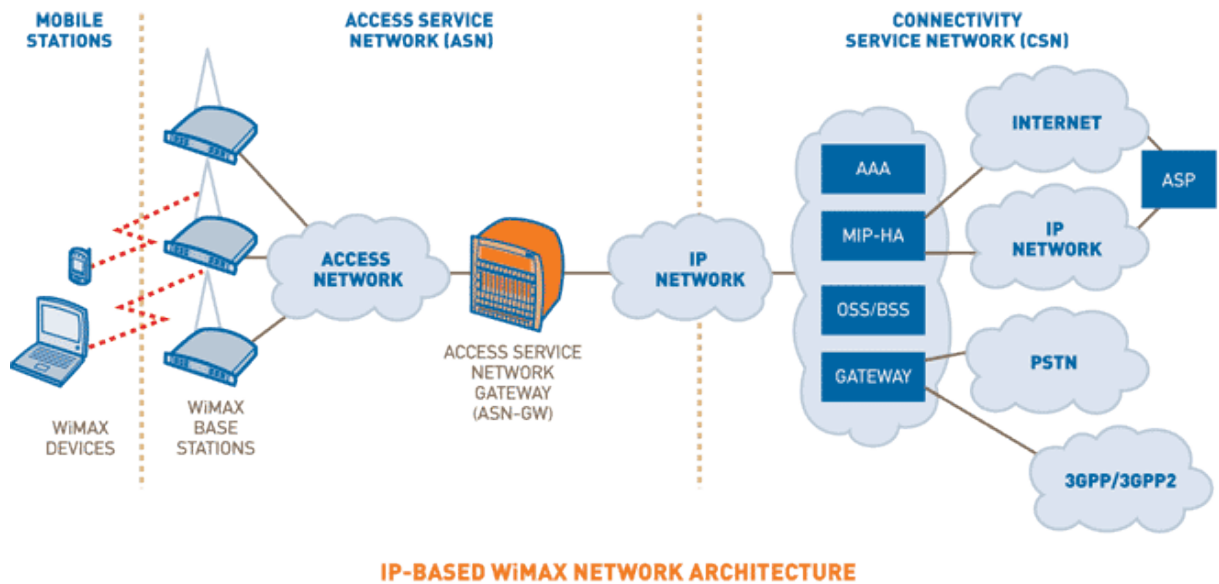


Figure 4. Architecture d'un réseau WIMAX Mobile

1.4. EDGE

Bien que répondant aux spécifications de l'IUT sur la norme 3G, l'EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) est souvent classée 2.75G car elle offre des débits inférieurs à 384Kbits/s en downlink. C'est une amélioration apportée au niveau des techniques de modulation et de transmission procurant une nette amélioration de la bande passante pour un réseau GSM/GPRS. Ainsi, c'est une technologie implémentée facilement par mise à niveau des réseaux GSM/GPRS.

2. Comparaison générale des technologies

Chacune des trois technologies répondant à la norme 3G présente ses avantages et ses inconvénients. Le WCDMA et le CDMA2000 s'équivalent en termes de débit et d'efficacité spectrale mais répondent à des besoins différents surtout en ce qui concerne la rétrocompatibilité. Le choix parmi ces deux se fera en fonction du réseau de base 2G depuis lequel on veut faire la migration. Le WIMAX apparaît comme un concurrent sérieux aux deux technologies précédentes car elle offre d'entrée des débits assez élevés et propose des coûts de déploiement relativement moindres. Cependant il faut tenir aussi compte des évolutions de ces différentes technologies car la version améliorée du WCDMA qui est le HSPA suivie du HSPA+ offrent des débits nettement concurrentiels avec ceux du WiMAX. Aussi il faut s'intéresser à la capacité d'attraction d'abonnés car peu d'équipements utilisateurs compatibles WiMAX Mobile existent aujourd'hui comparativement aux terminaux 3G WCDMA.

Tableau 1. Comparaison des technologies repondant à la norme 3G

Caractéristiques	WCDMA (HSPA)	CDMA2000(1xEV-DO)	WIMAX
MODE Duplex	FDD	FDD	TDD
Mode d'accès UL	CDMA	CDMA	OFDMA
Mode d'accès DL	TDMA	CDMA-TDMA	
Largeur de bande Canal	5MHz	1.25MHz	5, 7, 8.75, 10MHz
Modulation DL	QPSK/16QAM	QPSK/8PSK/16QAM	QPSK/16QAM/64QAM
Modulation UL	BPSK/QPSK	BPSK/QPSK/8PSK	QPSK/16QAM
Interopérabilité avec la 2G	Handover GSM-UMTS	NON	NON

3. Choix de la technologie à adopter

Rappelons le contexte dans lequel le choix de la technologie se fait. Il s'agit pour un opérateur de téléphonie mobile offrant ses services avec une technologie 2.75G GSM/GPRS/EDGE d'effectuer une migration vers la 3G. Et rappelons que les choix disponibles évoqués jusqu'à présent sont l'UMTS (WCDMA), le CDMA2000 et le WiMAX. Etant donné qu'il s'agit d'une migration depuis le GSM, le CDMA2000 est d'office écarté pour des raisons évidentes de rétrocompatibilité.

Rappelons aussi que l'un des objectifs de cette étude est de tenir fortement en compte la réutilisation des infrastructures existantes dans le réseau de TELECEL Faso. Le choix approprié serait donc l'UMTS étant donné que d'une part le WiMAX est une technologie complètement différente du GSM et que d'autre part l'implémentation initiale de l'UMTS ne nécessiterait que le greffage d'une nouvelle interface radio. En effet, l'architecture du réseau cœur de l'UMTS (WCDMA) comporte les mêmes éléments que celui d'un réseau GSM/GPRS en l'occurrence le CGSN pour l'acheminement de paquets et le MSC pour la commutation de circuits en plus de l'OMC.

Chapitre 3. Etude détaillée de la solution retenue - UMTS

1. Description Générale

1.1. Objectifs de l'UMTS

Outre les objectifs déjà évoqués des technologies de troisième génération en général concernant la convergence des réseaux et la globalisation des technologies de communication, nous voulons spécifier quelques objectifs visés par le 3GPP dans l'élaboration de l'UMTS. Il s'agit d'abord d'assurer la compatibilité avec le GSM c'est-à-dire supporter tous les services déjà offerts par le GSM ensuite d'augmenter considérablement les débits ainsi que les temps de réponse ouvrant la voie à une infinité de services et d'applications possibles telles que la navigation web, les appels vidéo, etc. Numériquement parlant, pour la release 99 de l'UMTS, un résumé des QoS et débits possibles est présenté au tableau suivant (Tableau 2).

Tableau 2. Débits et QoS de l'UMTS Release 99

Environnement	Débit	Services Temps réel	Services Non Temps réel
		BER Délais Max	BER Délais Max
Rural	144Kbits/s	10^{-3} 10^{-4} 20 - 300 ms	10^{-5} 10^{-8} 150 ms
Urbain	384Kbits/s	10^{-3} 10^{-7} 20 - 300 ms	10^{-5} 10^{-8} 150 ms
Intérieur (courte portée)	2048Kbits/s	10^{-3} 10^{-7} 20 - 300 ms	10^{-5} 10^{-8} 150 ms

Bien sûr ces débits sont revus à la hausse avec les releases suivantes notamment avec l'introduction du HSPA qui promet des débits théoriques de 14.4Mb/s en DL et 5.8Mb/s en UL. Le standard a été conçu de telle sorte que l'utilisation des ressources spectrales soit efficace même lorsque les débits et QoS requis par utilisateur et par service sont variables. C'est justement pour cela qu'en UMTS les différents services proposés sont regroupés en classes.

1.2. Les services offerts par l'UMTS

Selon leur sensibilité aux retards de transmission, aux variations de délais, au BER et au débit, les services en UMTS sont regroupés en 4 types de trafics appelés classes de services résumés dans le tableau ci-dessous (Tableau 3):

Tableau 3. Classes de services de l'UMTS

Classe de Service	Caractéristiques	Exemples d'applications
Conversational	Temps de transfert faible et constant (temps réel). Importance de l'ordre des entités dans le flux.	Voix, vidéo téléphonie, jeux vidéo en ligne, ...
Streaming	Importance de l'ordre des entités dans le flux.	Webcast, Video On demand, ...
Interactive	Importance de l'intégrité des données (faible BER)	Navigation Web, Accès à une BDD, jeux en réseau, ...
Background	Importance de l'intégrité des données (très faible BER), temps de transmission moins important que pour la classe interactive.	Email, SMS, Téléchargements, ...

Notons aussi que les services fournis dépendent aussi de l'équipement utilisateur qui lors de la connexion au réseau fournit des informations concernant ses capacités (comme la puissance maximale à l'émission), ce qui détermine l'ensemble des classes de services et débits auxquels il peut accéder.

1.3. L'allocation spectrale en UMTS

Selon l'IMT2000, deux bandes appariées larges de 60MHz (1920-1980Mhz et 2110-2170MHz) sont prévues pour le WCDMA en mode FDD tandis que pour le mode TDD ne sont réservées que des bandes non appariées entre 1900-1920MHz et 2010-2025MHz. Rappelons que les porteuses en UMTS sont séparées les unes des autres de 5MHz de fréquence.

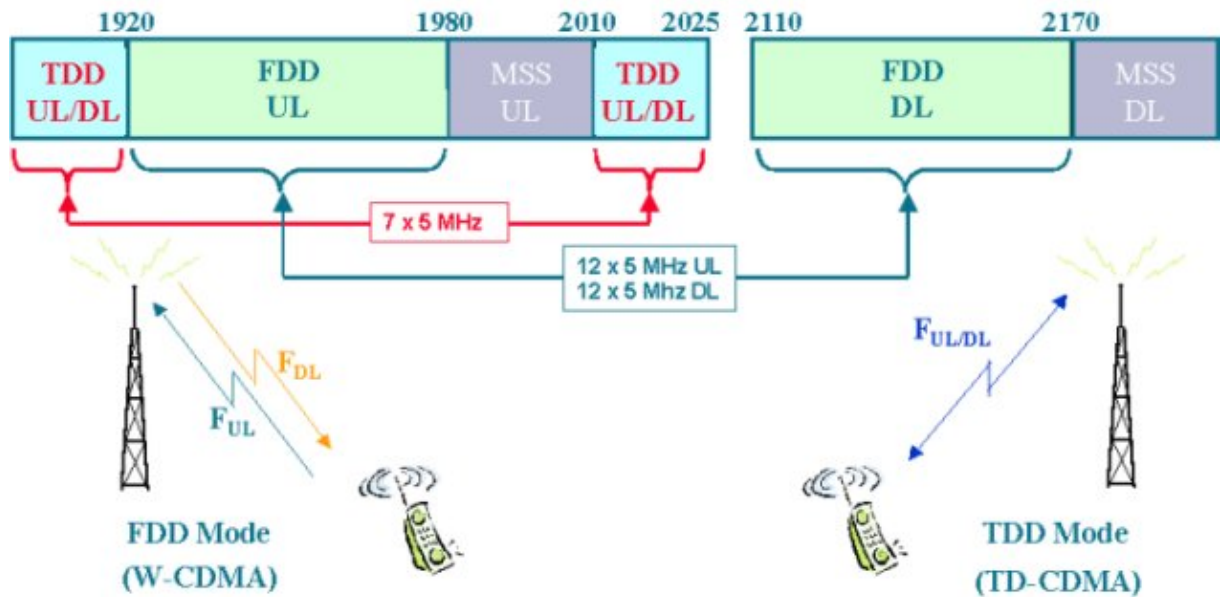


Figure 5. Allocation fréquentielle en UMTS

En plus de cette organisation fréquentielle, les trames UMTS de durée 10ms sont contenues dans des supertrames de 720ms et subdivisées en 15 TS (time slots).

2. Architecture d'un réseau UMTS

L'architecture des réseaux UMTS a connu des évolutions en même temps que les différentes releases de la norme principalement au niveau du réseau cœur. Nous présentons ici la version de base c'est-à-dire telle que présentée dans la release 99 avant d'esquisser les évolutions.

La principale différence entre le réseau GSM/GPRS et le réseau UMTS est au niveau de l'interface radio à cause de la nette différence dans le mode d'accès (TDMA \rightarrow WCDMA). Ainsi l'on retrouve les différents éléments du Core Network tels que le MSC avec ses serveurs de données (HLR,VLR), les équipements liés au GPRS (GGSN,SGSN) et bien sûr l'OMC et les Media Gateways. Ce qui change complètement c'est le RAN (Radio Access Network) dans lequel les BTS sont remplacées par des Node B (Node pour nœud et B pour Base Station) et les BSC par des RNC (Radio Network Controller). On appelle maintenant cette partie du réseau UTRAN pour UMTS Terrestrial Radio Access Network.

2.1. Node B

Le Node B représente le nœud d'accès à l'UTRAN pour l'abonné. Il possède donc deux interfaces : Uu pour UE-UTRAN utilisant le WCDMA et Iub pour NodeB-RNC. Sur l'interface Uu vers le mobile de l'abonné, il peut gérer les deux modes de l'UTRA qui sont le TDD et le FDD. Il dessert une ou plusieurs cellules qui ne sont rattachées qu'à lui selon la sectorisation de son antenne. Afin d'établir la communication entre l'UE et le RNC, il assure un certain nombre de fonctions (principalement dans la couche physique) dont l'adaptation des données usagers et de signalisation, le codage/décodage canal, l'étalement/désétalement WCDMA, la modulation/démodulation QPSK, le contrôle de puissance, etc. On se rend bien compte que le Node B renferme une grande partie des spécificités de l'UMTS que nous développons plus bas dans le paragraphe Interface Radio.

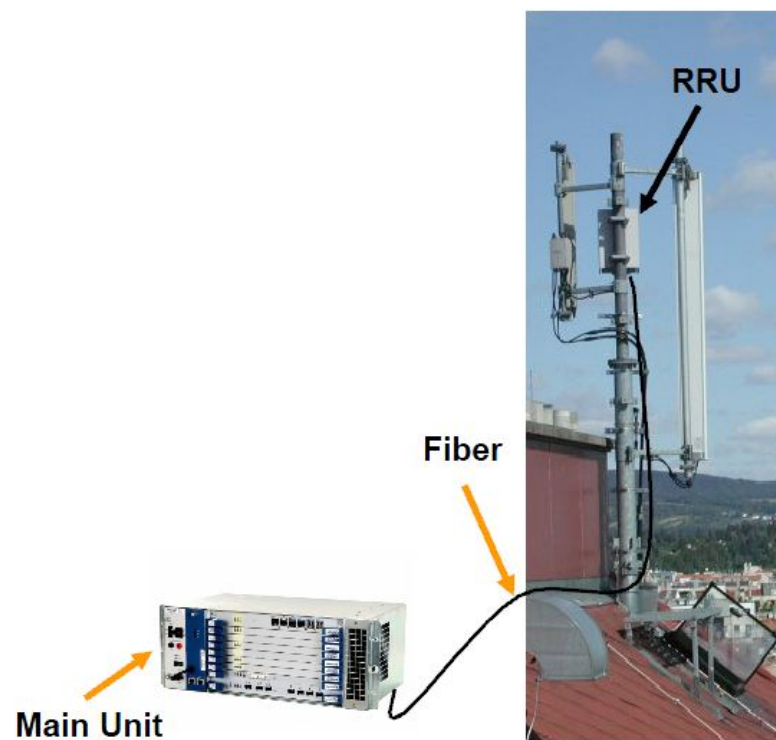


Figure 6. Ericsson Node B RBS 3418

2.2. Radio Network Controller

Le RNC constitue le nœud central du RNS (Radio Network Subsystem) qui correspond au BSS (Base station SubSystem) dans le réseau GSM. Il assure donc la fonction cruciale de gestion des ressources radio sur l'ensemble des Node B sous son contrôle. Pour cela il remplit certains rôles qui sont :

- l'adaptation de données allant ou venant du domaine à commutation de paquets ;
- la gestion de l'allocation des codes CDMA ;
- le contrôle de puissance en boucle externe ;

- le contrôle de l'admission dans la gestion de la charge.
- la combinaison ou la distribution de signaux venant ou allant vers différents Node B dans un contexte de macro-diversité et contrôle donc par la même occasion le handover ;

Le handover est la capacité du réseau à maintenir une communication lorsqu'un mobile change de cellule. La macro-diversité est la phase pendant laquelle la station mobile maintient plusieurs liens radio avec des cellules différentes. Plus de détails sont donnés sur ces deux concepts dans le paragraphe consacré au WCDMA. Le RNC gère le handover et la macro-diversité à travers l'interface Iub (lorsqu'il s'agit d'un déplacement entre cellules de différents Node B sous le contrôle du même RNC), à travers l'interface Iur (lorsque les deux cellules sont contrôlés par des RNCs différents). Deux rôles de RNC ont été introduits afin de gérer le handover inter-RNC : le Serving RNC et le Drift RNC (un RNC joue l'un ou l'autre des deux rôles pour une communication). Chaque communication met en oeuvre un Serving RNC, et passe par 0, 1 ou plusieurs Drift RNC :

- Le Serving RNC gère les connexions radios avec le mobile et sert de point de rattachement au CN via l'interface Iu – CS/PS. Il contrôle et exécute le handover.

- Le Drift RNC, transmet via l'interface Iur les données émises par un mobile vers le SRNC en charge du mobile en question (c'est encore de la macrodiversité).

Le RNC est aussi le point de liaison entre l'UTRAN et le réseau cœur.

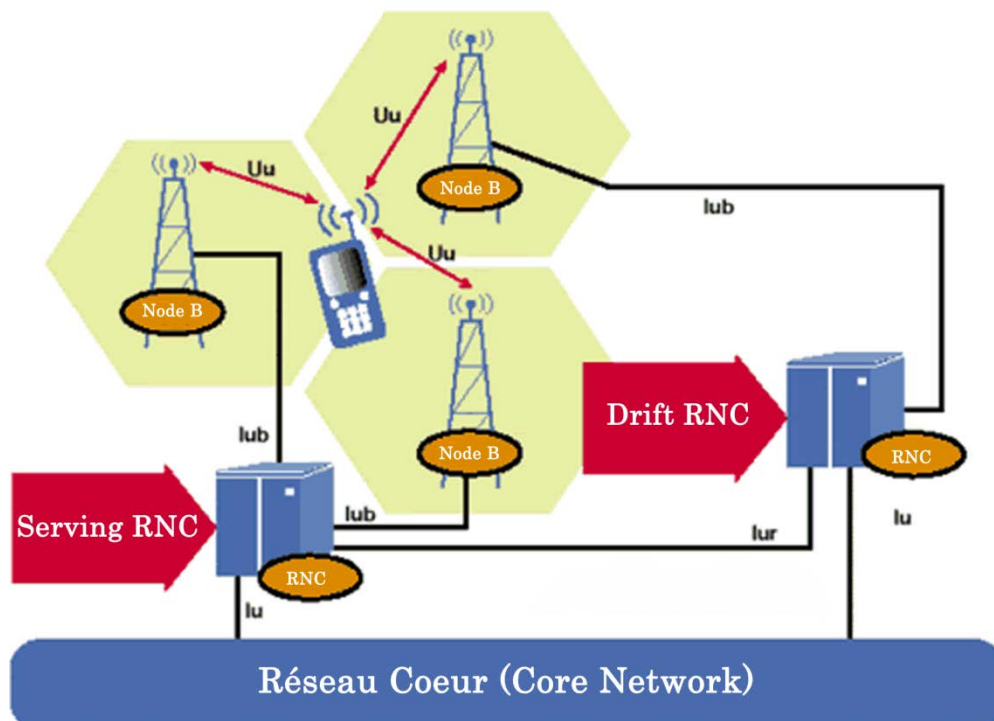


Figure 7. Mécanisme de handover au niveau RNC

2.3. Interfaces de l'UTRAN

Comme nous avons vu plusieurs interfaces entrent en jeu au niveau de l'UTRAN. Chacune d'elles implémente un certain nombre de protocoles dépendant de la couche mise en jeu. Le mode de transfert adopté sur ces interfaces est l'ATM pour Asynchronous Transfer Mode qui paraît adéquat dans un contexte d'acheminement de données provenant de services à débit et QoS variables. On distingue :

- ✚ **Iub** : pour la communication avec les Node B
- ✚ **Iur** : pour la communication avec d'autres RNCs
- ✚ **Iu-CS** : pour la communication avec le domaine de commutation de circuits du réseau cœur (MSC,...)
- ✚ **Iu-PS** : pour la communication avec le domaine à commutation de paquets du réseau cœur (SGSN, ...)

2.4. Core Network

Le CN fournit la commutation, le routage et le transit du trafic utilisateur, il contient aussi des bases de données et des systèmes de gestion du réseau. Il est basé sur le cœur d'un réseau GSM/GPRS dont les équipements doivent être modifiés pour supporter la nouvelle technologie (upgrade logiciel). L'ATM (Asynchronous Transfer Mode) est utilisé comme mode de transmission dans le CN avec l'AAL5 (ATM Adaptation Layer Type 2) pour la connexion de circuits commutés et l'AAL5 pour l'acheminement des données du moins dans la release 99. Les releases récentes convergent plutôt vers le tout-IP.

Le réseau cœur peut être divisé en deux domaines :

- ❶ **Le domaine à commutation de circuits** : comprend le MSC, le HLR, le VLR, l'EIC et l'AuC (voir annexe GSM :définitions). Les échanges d'informations entre ces différents éléments s'appuient sur le SS7 (système de signalisation n° 7). Ce domaine communique avec l'UTRAN par l'interface Iu-CS.
- ❷ **Le domaine à commutation de paquets** : comprend le SGSN lié à l'UTRAN par l'interface Iu-PS et le GGSN assurant la connexion avec les autres réseaux à commutation de paquets tels qu'internet à travers l'interface Gi. Ce domaine communique avec l'UTRAN par l'interface Iu-CS.

L'architecture du réseau cœur de l'UMTS a suivi les évolutions de ses différentes releases dans l'objectif final d'atteindre une architecture basée principalement sur le protocole IP. C'est ainsi que dans la release 4 de l'UMTS, on introduit la notion de BICC (Bearer Independent Call Control) permettant une séparation des protocoles liés au contrôle des appels de ceux intervenant dans le transport effectif des données. Le Media Gateway est introduit pour prendre en charge le routage des données tandis que le MSC est remplacé par un SMSC (Serving MSC) dédié à la gestion des appels et de la mobilité. Cette nouvelle architecture permet déjà de se passer de la commutation de circuits, ce qui évidemment

présente de nombreux avantages surtout au niveau de la gestion de la bande passante. La release 5 quant à elle permet de rapprocher le domaine PS du Core Network un peu plus vers le tout IP par l'introduction de l'IMS (IP Multimedia Sub-System). Cette évolution permet par la mise en place d'applications telles que la VoIP, la possibilité du service de téléphonie dans le domaine PS traditionnellement fourni par le domaine CS.

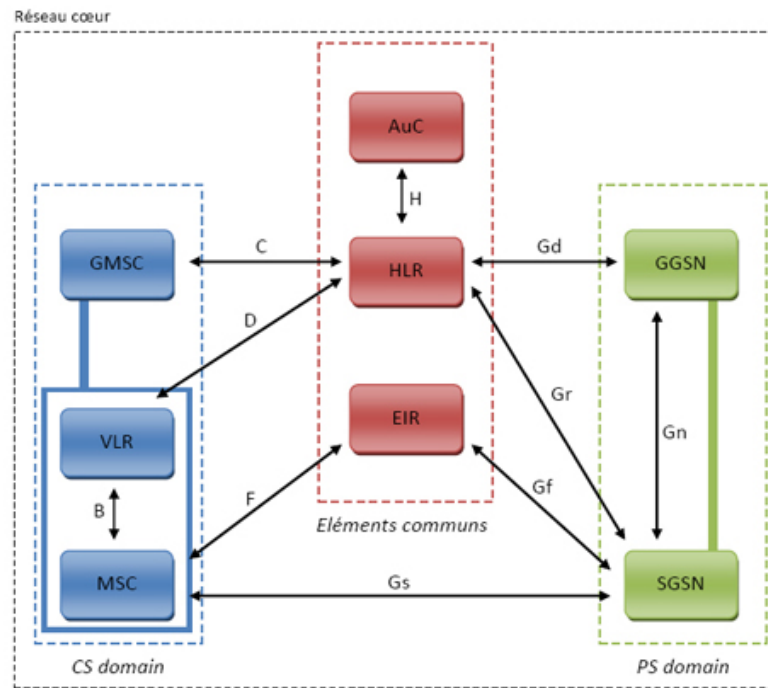


Figure 8. Eléments du réseau cœur de l'UMTS

3. Interface Air WCDMA

3.1. Mode d'accès multiple et multiplexage

Le mode d'accès choisi pour l'UMTS dans sa version la plus répandue est le Direct Spreading-CDMA. Dans ce mode d'accès la même bande de fréquence peut être utilisée pour plusieurs utilisateurs en même temps. L'accès multiple est obtenu par l'utilisation d'un code d'étalement unique par utilisateur ou par canal.

L'étalement s'effectue en multipliant la séquence de données à émettre par une autre séquence à un débit beaucoup plus rapide. Le rapport entre le débit du code d'étalement (débit chip) et celui des données (débit utilisateur) est appelé facteur d'étalement qui peut varier de 4 à 256. Cette opération a non seulement ramené le signal à la fréquence porteuse mais aussi étalé son spectre du fait du caractère quasi-aléatoire des codes utilisés. Ce qui réduit le taux d'interférence et donc rehausse le SNR.

Le désétalement est effectué en multipliant le signal reçu par le même code utilisé à l'émission, ce qui restitue pleinement le signal. La distinction entre signaux est rendue

possible grâce au caractère orthogonal des codes utilisés. En effet, tout signal reçu et multiplié un code non adéquat donne à la sortie un signal toujours étalé.

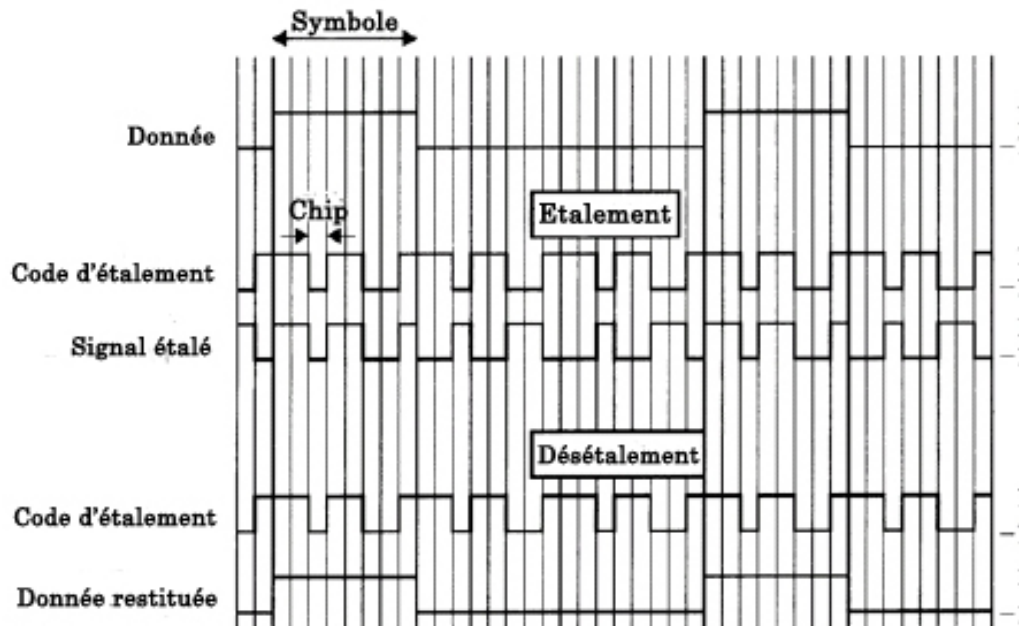


Figure 9. Illustration du processus d'étalement/désétalement

Deux types de codes sont utilisés pour le WCDMA aussi bien UL qu'en DL. On a d'abord les codes de canalisation qui ne sont autres que les codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) utilisés pour assurer la distinction entre canaux, ils sont adaptés aux débits et QoS variables. Les codes OVSF peuvent être déterminés d'une manière récursive en utilisant des matrices de Hadamard de la manière suivante :

$$H_{2m} = \begin{bmatrix} +H_m & +H_m \\ +H_m & -H_m \end{bmatrix}$$

Où m est la taille de la matrice et $-H_m$ est H_m dont les éléments sont inversés (+1 devient -1 et -1 devient +1). Les codes sont alors donnés par les lignes ou les colonnes de la matrice.

On a ensuite les codes de brouillage qui sont des Gold Codes permettant de combler les lacunes des codes de Walsh-Hadamard au niveau autocorrélation et intercorrélation. L'utilisation du WCDMA comme méthode d'accès multiple bien qu'elle rend les équipements UMTS plus sophistiqués est la principale raison de son avancée par rapport au GSM. C'est elle qui procure par exemple :

- Un gain de traitement plus élevé grâce à l'élargissement de la bande qui rend le signal moins sensible aux interférences. Il en résulte une plus grande capacité par cellule pour l'UMTS.
- Une meilleure efficacité spectrale avec un facteur de réutilisation de 1, c'est-à-dire que les cellules voisines peuvent utiliser la même bande de fréquences.

- De plus hauts débits tout en supportant la variabilité des débits ainsi que celle des SNR.

Nous venons donc de voir brièvement la méthode d'accès multiple en UMTS qui est la différenciation par codes. A présent examinons la manière dont le multiplexage UL et DL est obtenu. Deux modes duplex existent qui sont le FDD (Frequency Division Duplex) et le TDD (Time Division Duplex). Ces deux modes sont exclusifs, c'est-à-dire qu'on ne peut utiliser que l'un à la fois. En effet, le FDD suppose l'utilisation de deux bandes différentes l'une pour la voie montante et l'autre pour la voie descendante tandis que le TDD utilise la même bande de fréquence pour les deux voies mais alloue cette bande à l'UL une partie du temps et au DL le reste du temps. Il n'est pas impossible de rencontrer ces deux modes dans un même Node B qui fera le choix approprié du mode en fonction du service demandé.

3.2. Contrôle de puissance

Etant donné que dans la réalité, le comportement des codes utilisés n'est pas parfait, c'est à dire que des résidus d'interférences inter-trajets, inter-utilisateurs et inter-cellules subsistent ; d'autres techniques sont utilisées pour limiter leurs effets. L'une d'elles est le contrôle de puissance. Il s'agit d'adapter la puissance émise par le mobile à sa position (distance, trajet) par rapport à la station de base. Sans cela, les mobiles les plus proches créeraient un bruit tellement fort du fait de leur puissance relativement élevée que les signaux provenant des mobiles plus éloignées pourraient être noyés ; ceci est appelé effet « near-far ». Le contrôle de puissance peut se faire en boucle ouverte lorsque le mobile tente d'établir la communication avec une station de base ; dans ce cas le calcul ne se fait qu'au niveau du mobile. Par la suite, c'est la boucle fermée qui prend le relais et donc le Node B qui dicte la puissance à émettre au mobile (boucle interne) ou encore le RNC qui donne un seuil au Node B (boucle externe).

3.3. Diversité et handover

Une autre technique d'amélioration du SNR est la mise à profit de la diversité. Au lieu de considérer les versions décalées reçues du signal comme du bruit, on les démodule intelligemment pour les combiner au signal correct qui s'en trouve renforcé. De plus, on peut combiner les signaux reçus par différents secteurs et provenant du même mobile pour les antennes multisectorielles au niveau d'un Node B ; ou les signaux reçus sur plusieurs Node B au niveau d'un RNC. Ceci constitue la macro-diversité pour l'UMTS. Grâce à cette macro-diversité, le handover c'est-à-dire le changement de Node B au cours d'un appel peut se faire de manière souple (soft-handover) car non seulement les stations de base voisines utilisent la même bande de fréquences mais même les Node B qui ne sont pas en charge du mobile reçoivent quand même son signal. Cela veut dire en fait que le mobile lors du changement de Node B, le mobile est toujours connecté à l'UTRAN (par un ou plusieurs Node B). Un handover encore plus souple appelé softer handover peut avoir lieu entre les secteurs d'un même Node B. Le handover peut aussi avoir lieu entre deux RNC mettant à contribution les

notions de SRNC et de DRNC vues précédemment. Il faut quand même noter que le soft handover ne peut avoir lieu que lorsqu'on est en mode FDD.



Figure 10. Etapes du Soft handover an niveau d'un seul RNC

3.4. Les Protocoles

L'implémentation pratique du WCDMA dans l'interface radio s'est faite à l'aide d'une pile de protocoles classées en 3 couches correspondant aux couches les plus basses du modèle OSI :

- **La couche Physique** : elle réalise les fonctions bas niveau de traitement RF, de codage, d'étalement, de brouillage, de contrôle de puissance, de synchronisation et d'exécution du soft-handover.
- **La couche Liaison de données** : elle s'occupe d'assurer le passage des canaux logiques utilisés dans les couches supérieures aux canaux physiques à travers la sous-couche MAC (Medium Access Control). Plusieurs autres sous-couches oeuvrent au dessus de cette sous-couche qui sont le protocole RLC (Radio Link Control) assurant la fiabilité des données, le protocole BMS (BroadCast/MultiCast Control) et le protocole PDPC (Packet Data Convergence Protocol) s'occupant de la compression des données du domaine paquet.
- **Et la couche Réseau** : principalement occupé par le protocole RRC (Radio Resource Control) qui génère les messages de signalisation entre l'UTRAN et l'équipement utilisateur contenant les paramètres nécessaires à l'établissement, la modification et au relâchement des connexions des couches de niveau inférieur.

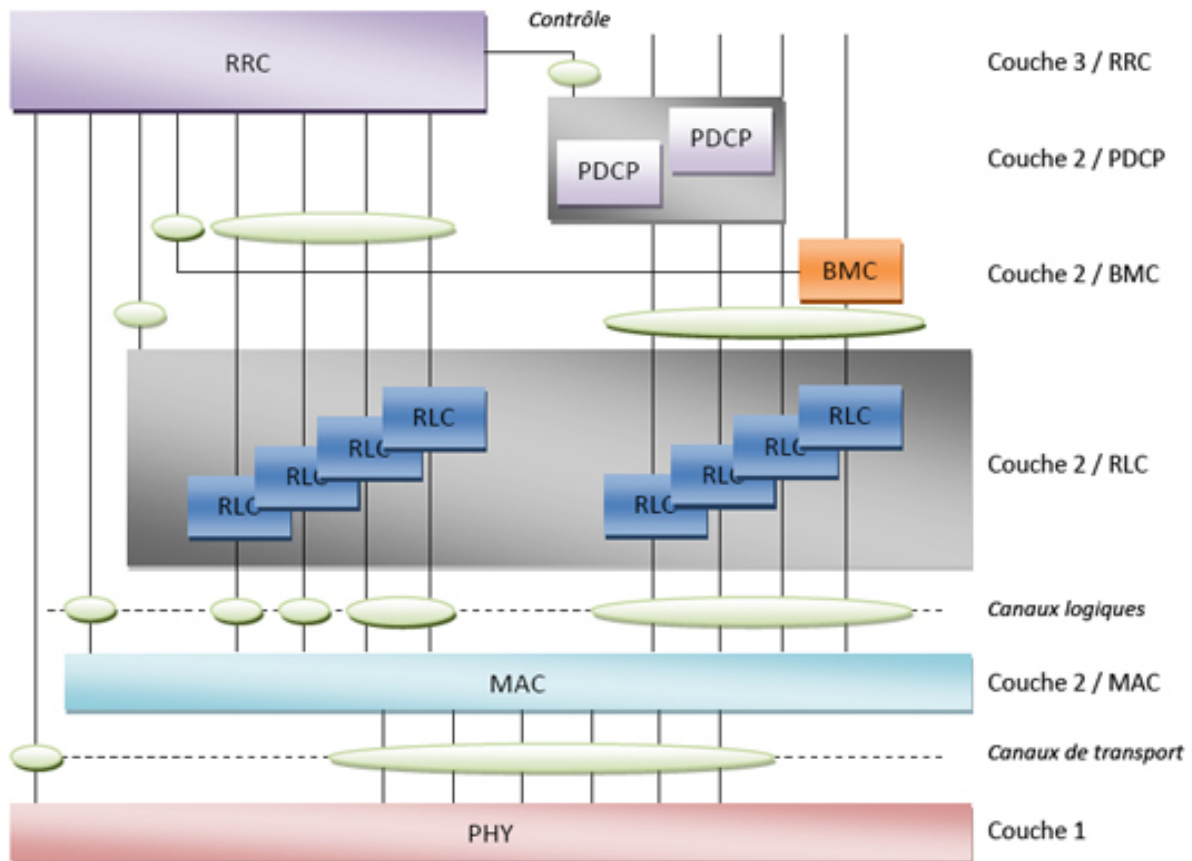


Figure 11. Pile de protocoles de l'interface air WCDMA

3.5. Les canaux

Trois types de canaux sont utilisés en UMTS pour la communication entre l'UE et la BS. Il s'agit des canaux logiques, des canaux de transport et des canaux physiques. Chaque type de canal correspond à une couche donnée de protocoles. Et donc un mappage existe entre les différents types de canaux.

Les canaux logiques sont caractérisés par le type d'information qu'ils transportent. Ils sont donc de deux types :

- *Les canaux logiques de contrôle* utilisés pour véhiculer les informations dans le plan de contrôle : Broadcast Control Channel (BCCH), Common Control Channel (CCCH), Dedicated Control Channel (DCCH), Paging Control Channel (PCCH).
- *Les canaux logiques de trafic* pour le transport d'informations du plan usager : Common Traffic Channel (CTCH), Dedicated Traffic Channel (DTCH).

Les canaux de transport sont des services que la couche MAC utilise pour le transfert d'informations et offerts par la couche physique. Ils sont classés selon leur niveau d'ouverture aux différents mobiles de la cellule. On distingue :

- *Les canaux de transport communs* utilisés pour la communication avec un ou plusieurs UE : Broadcast Channel (BCH), Common Packet Channel (CPCH), Forward Access Channel (FACH), Paging Channel (PCH), Random Access Channel (RACH).
- *Les canaux de transports partagés* tels que le Downlink Shared Channel (DSCH).
- *Les canaux de transport dédiés* comme le Dedicated Channel (DCH) qui sont des canaux point à point dédiés à un seul UE.

Les canaux physiques représentent les circuits physiques de communication entre la BS et l'UE et donc chacun d'eux est constitué d'une fréquence porteuse, d'un code de canalisation et d'un code d'embrouillage. Parmi ceux-ci on peut citer le Physical Random Access Channel (PRACH), le Physical Common Packet channel (PCPCH), le Dedicated Physical Data Channel (DPDCH), le Dedicated Physical Control Channel (DPCCH), le Dedicated Physical Channel (DPCH), le Synchronisation Channel (SCH), le Common Pilot Channel (CPICH), le Primary Common Control Physical Channel (P-CCPCH), le Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH), le Paging Indicator Channel (PICH), le Physical Downlink Shared Channel (PDSCH), l'Acquisition Indicator Channel (AICH), le CPCH Access Preamble Acquisition Indicator Channel (AP-AICH), le CPCH Collision Detection / Channel Assignment Indicator Channel (CD/CA-ICH), le CPCH Status Indicator Channel (CSICH).

Comme dit précédemment, un mappage existe entre les canaux de types différents comme le montre le schéma suivant :

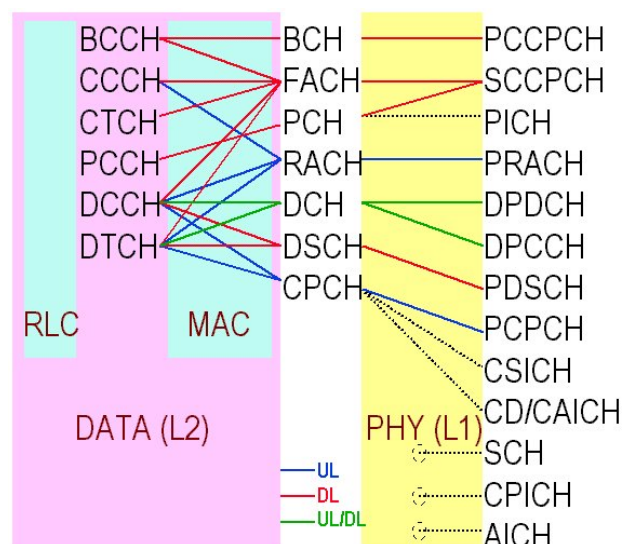


Figure 12. Mappage entre types de canaux

4. Evolution de l'UMTS (HSDPA, HSUPA, vers LTE)

L'UMTS a promis des débits allant jusqu'à 2Mbps/s à ses débuts. Depuis, avec les nouvelles releases de la norme, de nouvelles techniques ont été trouvées pour augmenter considérablement les débits d'abord en downlink avec le HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) puis en uplink avec le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access).

Introduite dans la release 5 de l'UMTS, l'HSDPA permet une augmentation considérable du débit en downlink pouvant aller théoriquement jusqu'à 14.4Mbps/s. Cela est obtenu grâce à des techniques de modulation et de codage dynamiques et adaptatifs avec notamment l'introduction de la modulation 16-QAM, l'ordonnancement rapide et la retransmission (H-ARQ pour Hybrid Automatic Repeat Request) au niveau de la couche physique. Ces nouveaux débits en downlink ouvrent la porte à de nombreuses applications des classes streaming, interactive et background souvent très asymétriques concernant le débit upload par rapport au débit download.

Des améliorations similaires sont apportées à la voie montante dans la release 6 de l'UMTS avec l'introduction de l'E-DCH (Enhanced – Dedicated Channel) appelée aussi HSUPA car cette voie devenait le goulot d'étranglement du débit général.

La release 7 de l'UMTS introduit quant à elle la technique MIMO dans laquelle plusieurs antennes sont placées et à l'émission et à la réception. Ce qui constitue une forme exacerbée de l'utilisation de la diversité. L'UMTS prend alors l'étiquette HSPA+.

Notons que toutes ces évolutions au niveau de l'interface air s'accompagnent d'une évolution nette du réseau général vers le tout-ip avec à un certain moment de grandes modifications dans l'architecture de l'UTRAN lorsque le RNC et le Node B sont confondus.

La release 8 prodiguée par le 3GPP concerne maintenant la LTE qui est une technologie de 4eme génération avec une nouvelle méthode d'accès et donc un nouveau UTRAN appelé E-UTRAN.

5. Migration depuis le GSM

Quelques années plus tôt, la migration depuis le GSM nécessitait un important investissement car elle impliquait au minimum le remplacement ou le dédoublement de toute l'interface radio ; et dans certains cas une première étape de migration consistant à l'installation d'équipements pour le GPRS. Depuis, les équipementiers se sont préparés à cette migration. Ce qui fait que les nouveaux équipements GSM présents sur le marché sont très bien capables de supporter la 3G souvent avec une simple mise à niveau logicielle ou du moins avec l'ajout de modules apportant les nouvelles fonctionnalités pour la mise en place de l'UMTS.

Cette migration se fait généralement d'une manière souple en commençant par la mise en place d'un seul RNC accompagné d'un certain nombre de Node B implantés dans des sites stratégiques pour soit palper l'engouement de la clientèle, soit susciter cet engouement. Le choix des sites est soumis à des contraintes car une planification aura déjà été établie avec un calcul de dimensionnement que nous aborderons dans le chapitre suivant. La planification donne des emplacements optimaux pour les sites à implanter et c'est parmi ces emplacements que les premiers sites d'implantation seront choisis. L'extension se fera aussi selon cette planification qui devra bien évidemment devra être mise à jour si de besoin est.

Les deux technologies GSM et UMTS cohabitent parfaitement. Les terminaux GSM resteront connectés au GSM et les terminaux compatibles WCDMA pourront profiter des nouveaux débits et des nouvelles applications. Les terminaux bi-modes (compatibles GSM et GPRS) pourront choisir la technologie la plus favorable en fonction du service et un handover est même possible entre les deux.

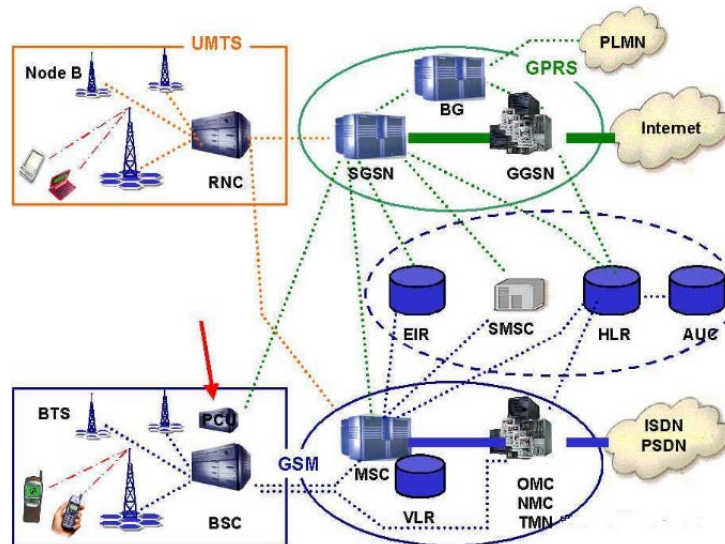


Figure 13. Réseau GSM/GPRS-UMTS intégré

Chapitre 4. Architecture et dimensionnement

1. Nouvelle architecture du réseau 2G/3G de TELECEL

Nous savons grâce au chapitre précédent les nouveaux éléments qu'il faut ajouter au réseau de TELECEL Faso pour apporter la 3G. Notre proposition est de commencer par l'implantation d'un RNC et de quelques Node B comme suggéré dans le V du Chapitre 4. La figure 14 ci-dessous donne une idée de la nouvelle architecture qu'aurait le réseau.

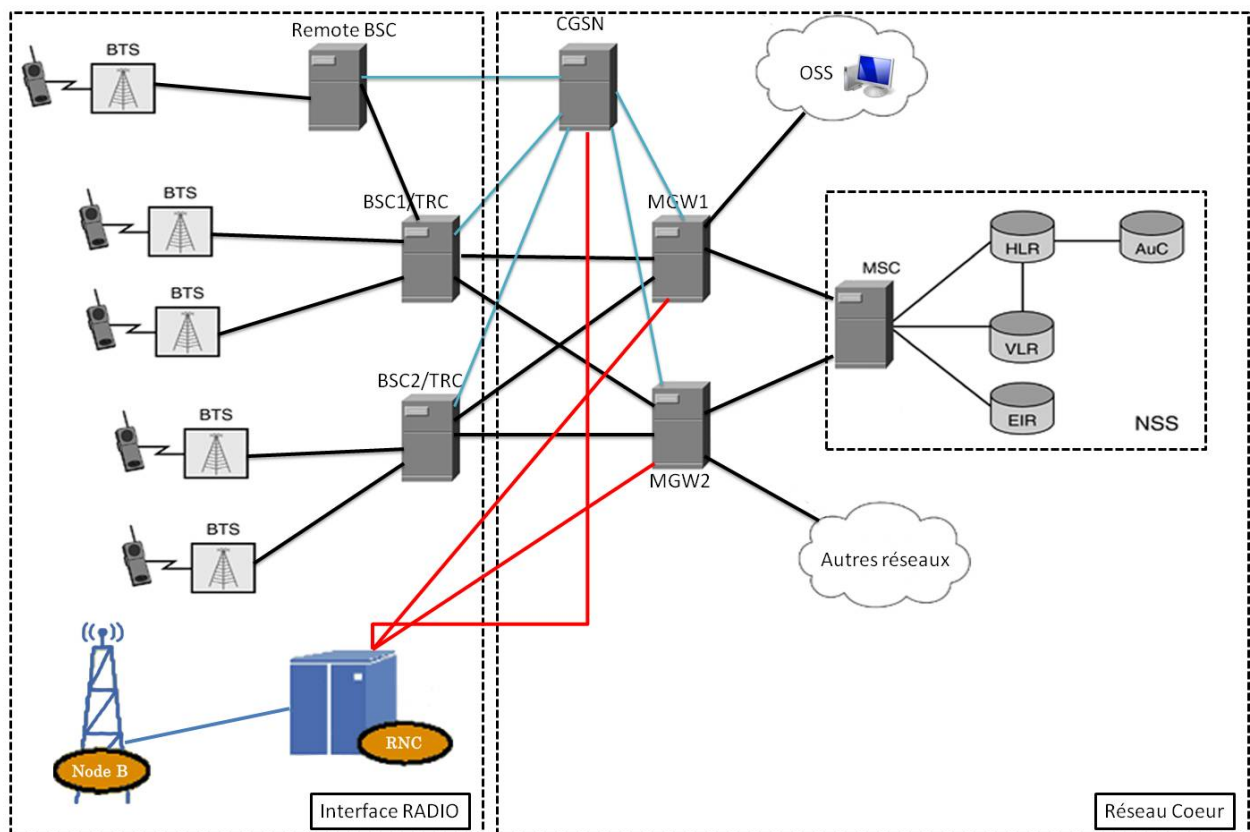


Figure 14. Réseau de TELECEL Faso après ajout d'équipements UMTS

Maintenant que nous connaissons les équipements qu'il nous faut, nous devons nous pencher sur leur quantité. Avant tout déploiement, avant même l'appel d'offres pour l'acquisition des équipements, il faudrait avoir une idée du dimensionnement qu'il faudra au départ.

2. Dimensionnement préliminaire

2.1. Introduction

Plusieurs ressources sont à dimensionner, et plusieurs paramètres doivent être pris en compte dans ce dimensionnement.

Les données en entrée du processus de dimensionnement viennent de deux sources. La première source est l'étude préalable donnant une estimation du trafic à satisfaire en termes de nombre d'utilisateurs, de services (débits) par utilisateur et de temps d'utilisation de ces services. La deuxième source est l'ensemble des caractéristiques techniques des équipements que l'on va déployer et ceux qui seront utilisés par les usagers. Nous détaillerons plus ces paramètres au fur et à mesure que nous en aurons besoin pour le dimensionnement.

Les ressources à dimensionner se trouvent principalement dans l'UTRAN, néanmoins les équipements du Core Network doivent être capables de gérer le trafic généré au niveau de l'UTRAN. Parmi les ressources à dimensionner au niveau de l'UTRAN, on peut citer :

- le nombre de sites.
- le nombre de Channel Elements (CE) par site; le CE représente la ressource de base requise dans un Node B pour fournir la capacité d'un canal voix c'est-à-dire l'ensemble des ressources pour la signalisation, la compression, le traitement de la diversité, le handover, etc. On doit donc évaluer ce nombre pour écouler le trafic (débit + type) généré dans la cellule du Node B.
- l'interface Iub c'est-à-dire que la liaison entre le Node B et le RNC doit être correctement dimensionnée pour écouler tout le trafic généré entre ces deux entités.
- Et éventuellement les autres interfaces de l'UTRAN.

Dans notre étude, nous nous sommes focalisés sur la détermination du nombre de sites qui paraît la plus complexe, et aussi parce que le nombre de CE est facilement adaptable et généralement moins limitatif que certains autres paramètres.

Le nombre de sites est calculé à partir de la superficie de la cellule et de la surface de la zone à couvrir qui est de ce fait une première donnée à avoir. La superficie de la cellule est déduite lorsqu'on connaît le modèle de propagation de notre canal (2^e donnée) à partir de l'atténuation maximale que peut subir le signal lors de son trajet pour rester interprétable. Cette atténuation appelée Maximum Allowed Path Loss (MAPL) est calculé à partir du bilan de liaison. C'est dans ce bilan de liaison que nous avons besoin d'un maximum de données. Les données considérées sont relatives à la puissance du signal à l'émission, sa puissance minimale voulue à la réception, les différents facteurs atténuants du trajet (évanouissement, ombrage,...) et les différents gains.

2.2. Procédure normale de dimensionnement

Voici un exemple de bilan de liaison :

Tableau 4. Bilan de liaison WCDMA

	Uplink	Downlink	Unités	Formule
Transmetteur	Mobile	Node B		
Puissance de transmission max	0.125	1.37297	W	a
Puissance de transmission max	20.97	31.38	dBm	$b = -10.\log_{10}(a)$
Gain d'antenne	0	18	dB	c
Pertes Câble/Corps	2	2	dB	d
EIRP	18.97	47.38	dBm	$e=b+c-d$
Récepteur	Node B	Mobile		
Densité de Bruit thermique	-174	-174	dBm/Hz	f
Bruit du récepteur	5	8	dB	g
Densité de bruit du récepteur	-169	-166	dBm/Hz	$h=f+g$
Puissance de bruit du récepteur	-103.13	-100.13	dBm	$i=10.\log_{10}(W)+h$
Marge d'Interférence	-3.01	-10.09	dB	j
E_c/I_0 requis	-17.12	-7.71	dB	$k=10.\log_{10}[E_b/N_0/(W/R)]-j$
Sensibilité du récepteur	-120.26	-107.85	dBm	$l=i+k$
Gain d'antenne du récepteur	18	0	dB	m
Pertes Câble/Corps	2	2	dB	n
Marge de Fading Rapide	0	0	dB	o
Marge de Fading lent	-7.27	-7.27	dB	p
Gain du Soft handover	0	2	dB	q
Atténuation de Propagation Maximale Tolérée (MAPL)	147.96	147.96	dB	$r=e-l+m-n-o+q+p$

Source : Voir Bibliographie [1]

Trois paramètres se dégagent de ce bilan de liaison ; à savoir l'EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power), le niveau de sensibilité du récepteur et les différents gains ou pertes liées à la spécificité du WCDMA.

L'EIRP traduit la puissance totale émise au niveau de l'antenne de l'émetteur. Il prend en compte la puissance maximale de l'émetteur de même que le gain d'antenne ou les pertes dans le câble ou dans le corps humain.

La sensibilité du récepteur, mis à part les paramètres classiques tels que la densité de bruit thermique ou le SNR requis au niveau du récepteur, fait maintenant intervenir la marge d'interférence qui dépend de la charge de la cellule. Cette charge est différente selon que l'on est en voie montante ou descendante. La charge en Uplink peut être définie comme suit :

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^K \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1 + i)$$

Où : K est le nombre de mobiles dans la cellule, R_k le débit utilisé par le mobile k et ρ_k le rapport E_b/N_0 correspondant. $i = \frac{I_{oth}}{I_{own}}$ représente le rapport de la puissance reçue des mobiles d'autres cellules par celle reçue des mobiles de la cellule dont nous évaluons la charge.

En Downlink, la formule est similaire :

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[\frac{\rho_i R_i v_i}{W} \cdot \left((1 - \alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{P_{mi}}}{L_{P_{ni}}} \right) \right]$$

Où I est le nombre de connections dans un secteur, v_i est l'activité du service mis en jeu, α_i le facteur d'orthogonalité ; $L_{P_{mi}}$ est la perte de liaison du Node B m vers le mobile i et $L_{P_{ni}}$ donne la perte de liaison d'un autre Node B n vers le même mobile i et donc N représente le nombre total de Node Bs. Le terme en somme sur N représente simplement l'interférence inter-cellules pour le lien descendant.

A partir de la charge, la marge d'interférence est donnée par la formule :

$$L = 10 \cdot \log_{10}(1 - \eta)$$

Ce terme d'interférence intervenant dans le calcul de la sensibilité du récepteur est la cause de l'interdépendance entre couverture et capacité. Plus l'on élargit la taille de la cellule, plus le nombre d'utilisateurs augmente et donc plus le niveau d'interférence dans la cellule augmente, ce qui détériore énormément le signal pour les utilisateurs aux bords de la cellule. Inversement, si le nombre d'utilisateurs dans la cellule augmente, le niveau d'interférence aussi et les utilisateurs aux périphéries de la cellule ne seront plus pris en charge. La couverture et la capacité doivent donc être évaluées conjointement dans un processus optimal de dimensionnement.

La spécificité du WCDMA introduit le gain de handover dans le bilan de liaison notamment à cause de la macro-diversité et donc du soft handover. Malheureusement certaines pertes sont aussi introduites telles que celles de shadowing et celles liées au contrôle rapide de puissance (marge de fading rapide).

Lorsque le MAPL est déterminé, il ne reste plus qu'à adopter un modèle de propagation approprié pour déterminer la portée de la cellule. Si on considère par exemple le modèle d'Okumura Hata qui modélise bien les environnements macro-urbains, pour une antenne de Node B haute de 25 m, un mobile haut de 1.5m et une fréquence porteuse à 1950MHz on a :

$$MAPL = 138.5 + 35.7 \cdot \log_{10}(r)$$

Et donc la portée r s'écrit :

$$r = 10^{\left(\frac{MAPL-138.5}{35.7}\right)}$$

La surface de la cellule $S = K \cdot r^2$ où K est un facteur dépendant de la sectorisation de l'antenne de la station de base :

Sectorisation	Omni	Bi-sectoriel	Tri-sectoriel	Six secteurs
K	2.6	1.3	1.95	2.6

Source :Bibliographie [1]

La procédure normale de dimensionnement nécessite de traiter les zones à couvrir au cas par cas. On doit récolter des données précises sur le trafic estimé dans chaque zone. La couverture totale doit être faite pas à pas. Un outil de simulation peut être utilisé pour automatiser la tâche. On commence par choisir un certain nombre de sites ainsi que leurs emplacements (par exemple les sites GSM existants). On entre aussi les trafics estimés pour chaque cellule ainsi définie puis on fait des itérations sur chaque site afin de déterminer sa portée maximale et donc sa couverture. Après avoir optimisé leurs portées, on supprime les sites qui se chevauchent exagérément et on ajoute d'autres sites pour combler les trous de couverture puis on reprend les processus d'optimisation de portée. Le processus de calcul itératif de la portée des cellules se fait selon le schéma proposé à l'annexe « Calcul de la Portée des cellules ».

Au lieu du processus itératif de calcul, il est aussi possible de simplifier les formules de calcul dans le bilan de liaison afin d'obtenir une équation du type $f(r) = r$ que l'on peut résoudre aisément avec la méthode du point moyennant une bonne initialisation comme cela a été fait dans la thèse de M. Anis MASMOUDI intitulée : « **Capacité et dimensionnement des réseaux d'accès radio UMTS et évolution** ».

Malheureusement, nous n'avons pas eu le temps de mettre en œuvre ces techniques pour le développement d'un outil de dimensionnement optimal. A la place, nous avons opté pour une solution plus simple donnant une idée préliminaire du dimensionnement.

2.3. Dimensionnement préliminaire

Souvent l'on a besoin d'avoir rapidement une idée du nombre de sites à implanter avant l'étude détaillée du dimensionnement. Dans ce cas nous faisons abstraction du nombre d'utilisateurs ou des services qui seront pris en charge et nous nous fixons une charge donnée, généralement 50%. Cela simplifie les calculs qui deviennent maintenant statiques et non itératifs. Le MAPL calculé est introduit dans un modèle de propagation approprié pour fournir la portée de la cellule. Le choix du modèle de propagation dépend de plusieurs paramètres tels que les hauteurs relatives de la station de base et du mobile, la distance entre les deux et donc la taille approximative de la cellule (on parle surtout d'un ordre de grandeur ici c'est-à-dire macro, micro ou pico), le type d'environnement (urbain, suburbain, rural), et aussi la

fréquence de la porteuse. Ce dernier paramètre est très important vu la différence entre le GSM et le WCDMA à ce niveau et étant donné que les modèles de propagation dans le GSM se limitent à des fréquences porteuses assez éloignées des 2GHz du WCDMA (1500Mhz max). Ceci est d'autant plus crucial que les modèles de propagation sont raffinés sur le terrain par des simulations avant toute utilisation. Une telle étude devra être aussi faite. C'est pour cela que nous nous contentons dans notre travail d'un modèle générique tiré de la littérature. De plus nous avons considéré ces paramètres homogènes sur tous les sites à mettre en place. Le modèle utilisé est le modèle COST-Hata défini comme suit :

$$MAPL = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_B) - a(h_R) + [44.9 - 6.55 \log(h_B)] \log(d) + C$$

$$\text{Avec } a(h) = (1.1 \log(f) - 0.7)h - (1.56 \log(f) - 0.8)$$

$$\text{Et } C = \begin{cases} 0dB & \text{pour les villes moyennes et les zones suburbaines} \\ 3dB & \text{pour les zones métropolitaines} \end{cases}$$

Où f est la fréquence porteuse en Mégahertz (MHz) ;

h_B la hauteur de l'antenne du Node B en mètres (m) ;

h_R la hauteur du mobile en mètres (m) ;

d la portée de la cellule en kilomètres (km) ;

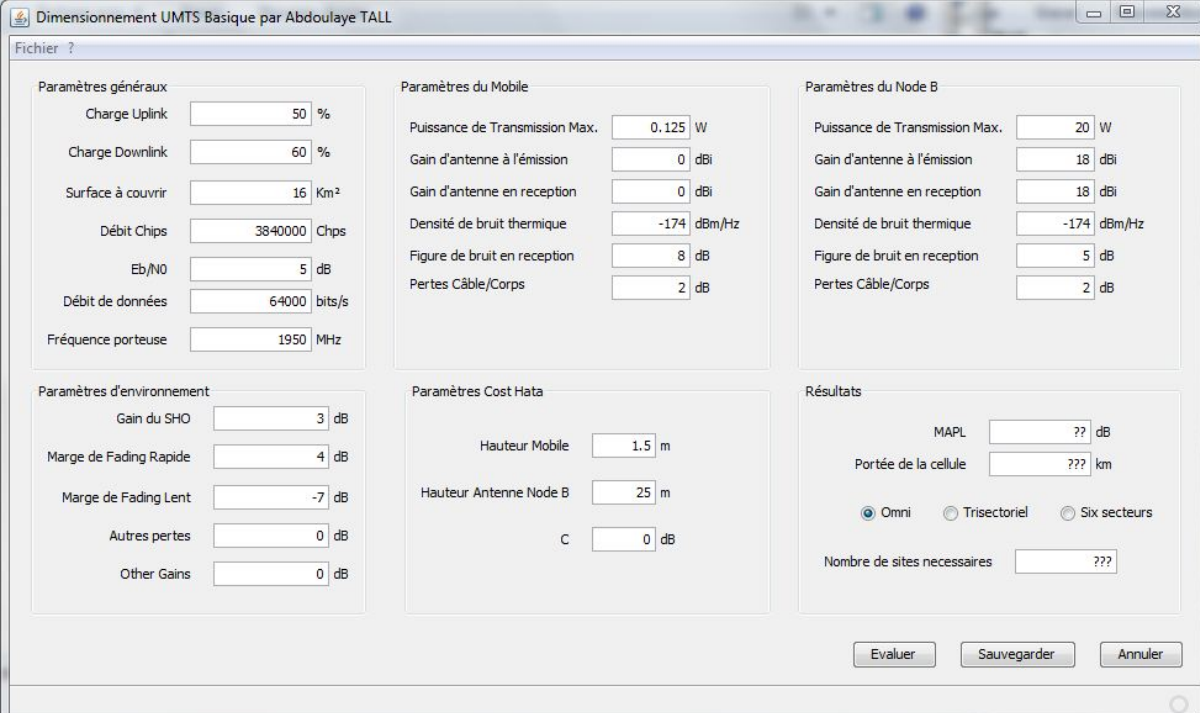
$MAPL$ l'atténuation maximale que nous pouvons tolérer en décibels (dB).

Notre outil prend donc en entrée les paramètres spécifiques des Node B et des équipements utilisateurs, une charge donnée pour l'UL et le DL, la surface à couvrir et fournit en sortie la portée de la cellule, et le nombre de sites nécessaires.

2.4. Interface de calcul

Il s'agit d'une interface simple en un seul affichage dans lesquels les champs sont disponibles pour entrer les différents paramètres. Les différents champs contiennent des valeurs par défaut que l'on peut modifier à souhait avant de cliquer sur le bouton évaluer pour obtenir les résultats. Les résultats ainsi obtenus peuvent être enregistrés dans un fichier PDF avec tous les paramètres retenus.

La figure suivante (figure 15) présente l'interface au lancement de l'outil.



Dimensionnement UMTS Basique par Abdoulaye TALL

Fichier ?

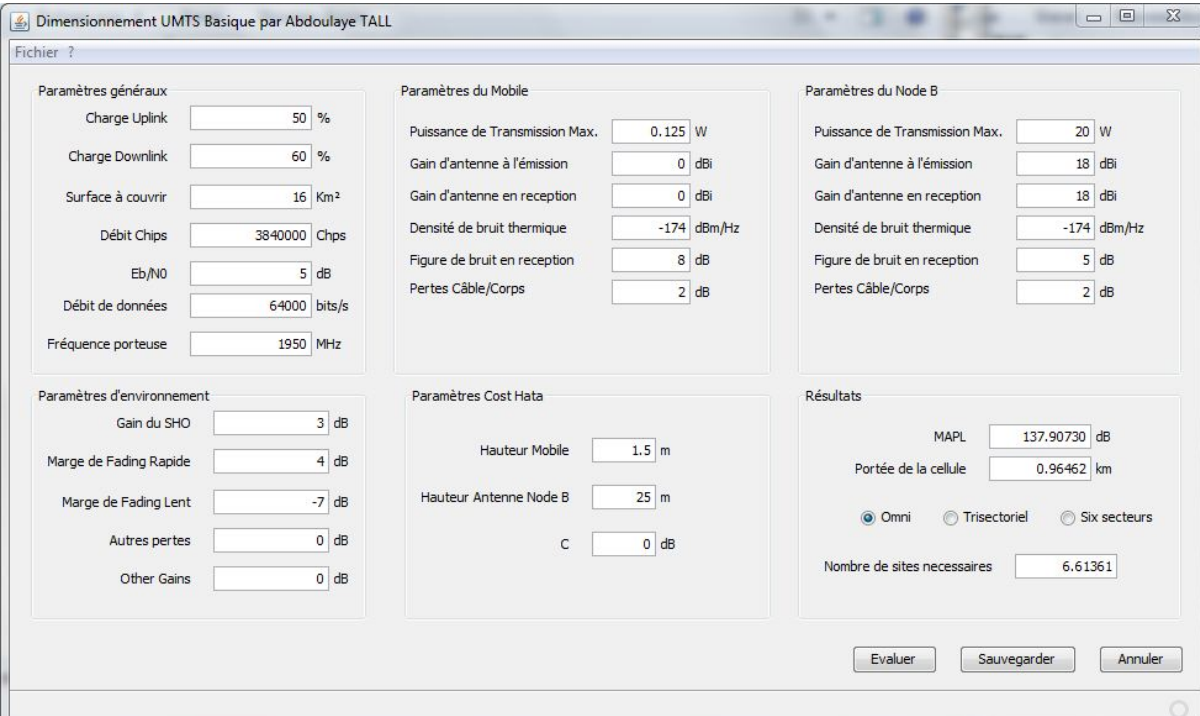
Paramètres généraux	Paramètres du Mobile	Paramètres du Node B
Charge Uplink: 50 %	Puissance de Transmission Max.: 0.125 W	Puissance de Transmission Max.: 20 W
Charge Downlink: 60 %	Gain d'antenne à l'émission: 0 dBi	Gain d'antenne à l'émission: 18 dBi
Surface à couvrir: 16 Km ²	Gain d'antenne en réception: 0 dBi	Gain d'antenne en réception: 18 dBi
Débit Chips: 3840000 Chps	Densité de bruit thermique: -174 dBm/Hz	Densité de bruit thermique: -174 dBm/Hz
E _b /N ₀ : 5 dB	Figure de bruit en réception: 8 dB	Figure de bruit en réception: 5 dB
Débit de données: 64000 bits/s	Pertes Câble/Corps: 2 dB	Pertes Câble/Corps: 2 dB
Fréquence porteuse: 1950 MHz		

Paramètres d'environnement	Paramètres Cost Hata	Résultats
Gain du SHO: 3 dB	Hauteur Mobile: 1.5 m	MAPL: ?? dB
Marge de Fading Rapide: 4 dB	Hauteur Antenne Node B: 25 m	Portée de la cellule: ??? km
Marge de Fading Lent: -7 dB	C: 0 dB	<input checked="" type="radio"/> Omni <input type="radio"/> Trisectoriel <input type="radio"/> Six secteurs
Autres pertes: 0 dB		Nombre de sites nécessaires: ???
Other Gains: 0 dB		

Buttons: Evaluer, Sauvegarder, Annuler

Figure 15 . Outil de dimensionnement au lancement

Lorsqu'on clique sur le bouton évaluer sans changer les paramètres par défaut, on obtient la figure 16 ci-dessous.



Dimensionnement UMTS Basique par Abdoulaye TALL

Fichier ?

Paramètres généraux	Paramètres du Mobile	Paramètres du Node B
Charge Uplink: 50 %	Puissance de Transmission Max.: 0.125 W	Puissance de Transmission Max.: 20 W
Charge Downlink: 60 %	Gain d'antenne à l'émission: 0 dBi	Gain d'antenne à l'émission: 18 dBi
Surface à couvrir: 16 Km ²	Gain d'antenne en réception: 0 dBi	Gain d'antenne en réception: 18 dBi
Débit Chips: 3840000 Chps	Densité de bruit thermique: -174 dBm/Hz	Densité de bruit thermique: -174 dBm/Hz
E _b /N ₀ : 5 dB	Figure de bruit en réception: 8 dB	Figure de bruit en réception: 5 dB
Débit de données: 64000 bits/s	Pertes Câble/Corps: 2 dB	Pertes Câble/Corps: 2 dB
Fréquence porteuse: 1950 MHz		

Paramètres d'environnement	Paramètres Cost Hata	Résultats
Gain du SHO: 3 dB	Hauteur Mobile: 1.5 m	MAPL: 137.90730 dB
Marge de Fading Rapide: 4 dB	Hauteur Antenne Node B: 25 m	Portée de la cellule: 0.96462 km
Marge de Fading Lent: -7 dB	C: 0 dB	<input checked="" type="radio"/> Omni <input type="radio"/> Trisectoriel <input type="radio"/> Six secteurs
Autres pertes: 0 dB		Nombre de sites nécessaires: 6.61361
Other Gains: 0 dB		

Buttons: Evaluer, Sauvegarder, Annuler

Figure 16. Dimensionnement préliminaire pour 16 km²

Conclusion

Tout au long de ce rapport, nous avons présenté l'étude que nous avons menée au sein de l'entreprise TELECEL Faso en vue d'une migration de son réseau vers la 3G. Nous avons commencé par faire un descriptif de l'infrastructure existante, puis nous avons passé en revue les différentes solutions offertes pour passer à la 3G. Des critères de choix ont été définis nous amenant au choix d'une technologie en particulier qui est le WCDMA. Une étude détaillée de la solution retenue a ensuite été faite en se focalisant un peu plus sur son interface radio. Enfin un aperçu des techniques de dimensionnement a été présenté avec la mention de l'interface réalisée au cours du stage pour le dimensionnement préliminaire.

Ce stage nous a permis déjà de prendre contact avec le domaine professionnel des télécommunications, puis de nous familiariser avec certaines notions sur les équipements utilisés dans les réseaux mobiles et enfin d'avoir une idée de la fonction d'ingénieur en entreprise.

Nous sommes convaincus qu'un output plus élaboré aurait pu être produit si la contrainte temporelle avait été moindre. Ainsi, la suite du travail pourrait concerner le développement d'un outil complet de planification tenant compte de tous les paramètres. La licence 3G n'a pas encore été achetée mais étant donné la forte croissance du marché de la téléphonie mobile au Burkina Faso, cela ne saurait tarder. C'est en ce moment que notre travail sera d'un utile non négligeable.

Annexe 1. GSM : Définitions

GSM : Global System for Mobile communications ou en français Groupe Spécial Mobile.

La carte SIM (Subscriber Identity Module) : Cette carte identifie l'abonné sur le réseau. L'accès sera donc refusé si la carte a été déclarée perdue ou volée. Elle assure donc l'authentification de l'abonné ainsi que le cryptage de la voix.

Les stations de base (BTS pour Base Transceiver Station): Les relais radio sont l'interface entre le téléphone mobile et le reste du réseau. Ils comprennent des appareils de transmission et de réception ainsi que des outils de traitement de signal inhérents à l'interface air.

Les contrôleurs de stations de base (BSC pour Base Stations Controller) : Ils gèrent la coordination entre les relais radio. Il gère l'allocation, la relaxation et le handover des canaux radio. Ils peuvent être équipés de transcodeurs.

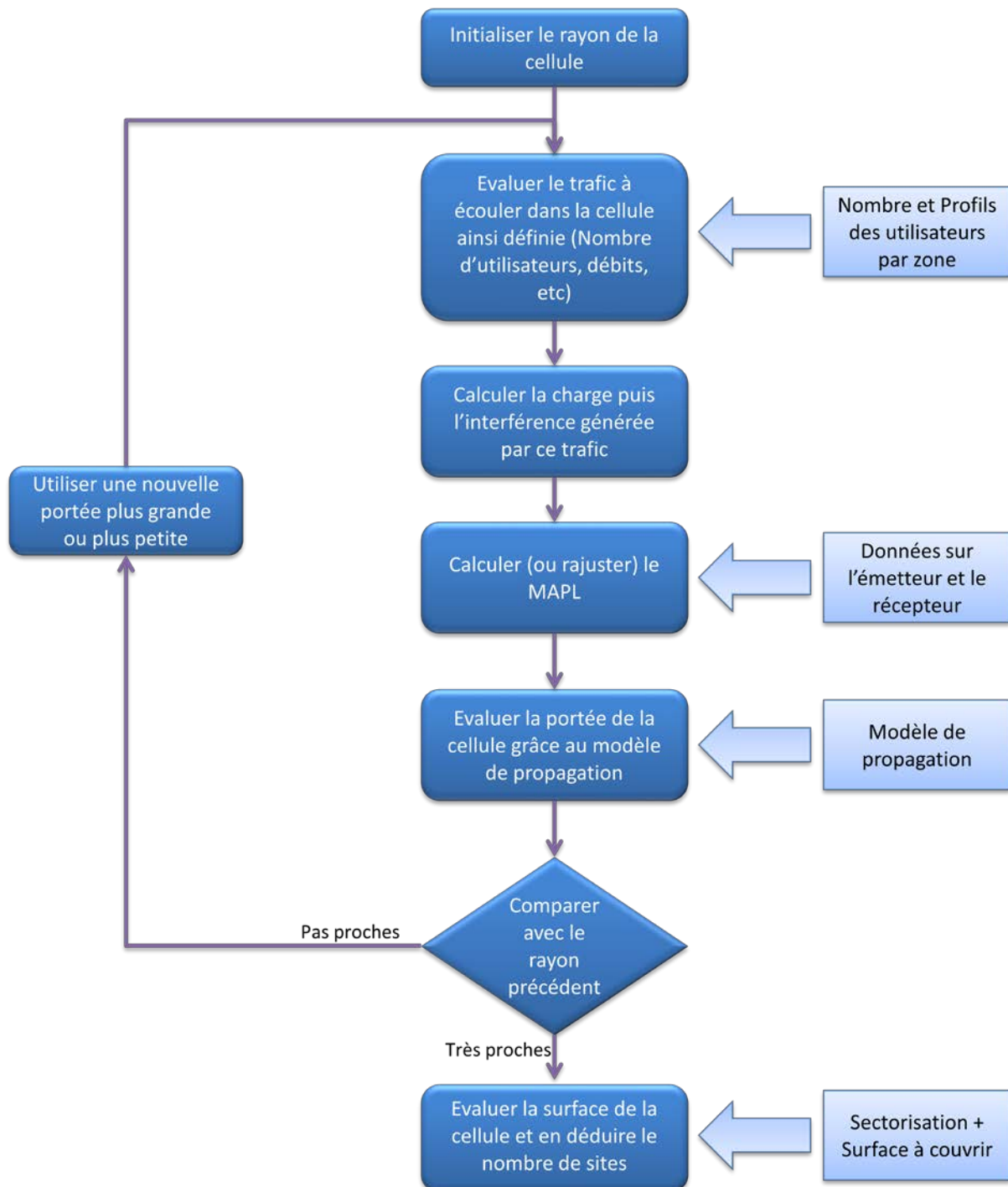
Les centres de commutations mobiles (MSC pour Mobile Switching Services Center): ces entités sont responsables de l'acheminement des communications dans le réseau et assurent également l'interconnexion entre le réseau de téléphone cellulaire et le réseau fixe traditionnel. Elles génèrent toutes les informations de taxation et gèrent la complexité des connexions due aux déplacements réalisés pendant la communication.

Les registres de localisation des visiteurs (VLR pour Visitor Location Register) : Le VLR est une base de données reliée à un MSC qui stocke temporairement les informations concernant chaque mobile dans la zone de travail du MSC, (identité de l'abonné, sa dernière zone de localisation, les services complémentaires souscrits par celui-ci, les éventuelles restrictions ou interdictions d'établissement de la communication).

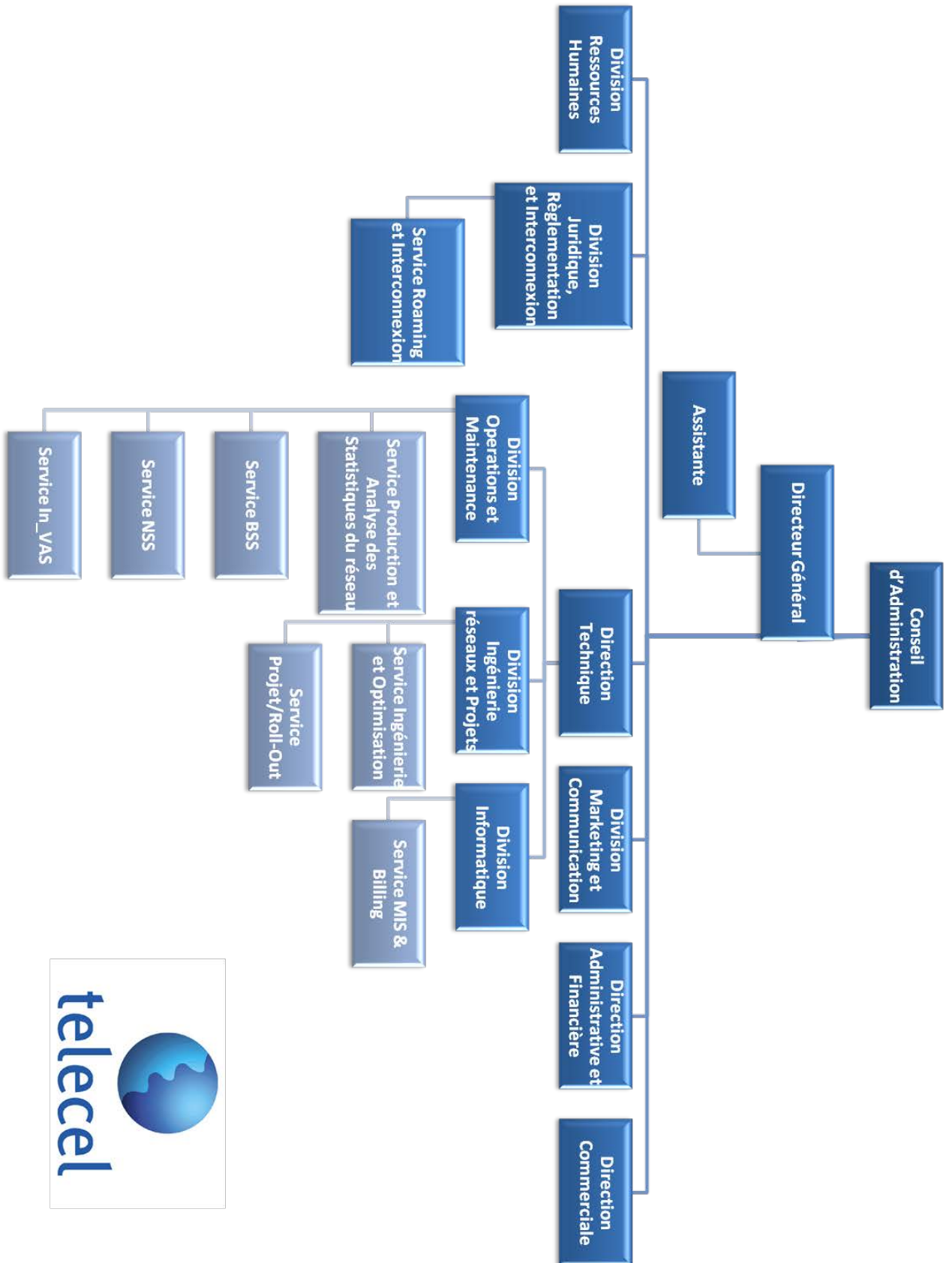
Le registre de localisation principal (HLR pour Home Location Register) : Le HLR est la base de données centrale contenant toutes les informations administratives relatives aux abonnés d'un réseau donné utilisant deux clés d'entrée :

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) : c'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.
- MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network) : c'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans l'HLR; les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

Annexe 2: Calcul de la portée des cellules



Annexe 3: Organigramme de TELECEL FASO



Bibliographie

- [1] **Maciej J. NAWCROCKI, Mischa DOHLER, A. Hamid AGHVAMI**, *Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation Theory and Practice*, Chichester, Angleterre, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [2] **Jaana LAIHO et Achim WACKER**, *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, Chichester, Angleterre, John Wiley & Sons Ltd, 2006, 2^e édition.
- [3] **Javier SANCHEZ et Mamadou THIOUNE**, *UMTS*, Paris, France, Lavoisier, 2004, 2^e édition.
- [4] **Harri HOLMA et Antti TOSKALA**, *UMTS Les réseaux mobiles de troisième génération*, Paris, Osman Eyrolles Multimedia, 2001, 2^e édition.
- [5] **European COST Action 231**, *DIGITAL MOBILE RADIO TOWARDS FUTURE GENERATION SYSTEMS COST 231 Final Report*.

Sitographie

- [1] <http://www.umtsworld.com>