



Rapport de projet de fin d'études

Adaptation des BTS 3606CE pour le déploiement du Réseau CDMA2000 De Maroc Telecom



**NAOUFAL MZALI
MAROUANE ZBAT**

Juillet 2010

Dédicace

Je dédie le fruit de mes efforts investis dans ce travail, ainsi que ceux de toute ma formation à :

- *Mes très chers parents qui ont attendu avec patience les fruits de leur Sacrifice et leur éducation exemplaire :*

*A celui qui m'a appris l'art de la patience, celui que son soutien a fait de moi un homme et mon premier exemple dans la vie : **mon père Mohamed***

*A celle que son cœur est avec moi là où je suis, celle qui m'indique le bon chemin et qui a consacré sa vie pour moi : **ma mère Nouzha***

- *Ma bien aimée*

*A celle qui ma soutenu et que son âme me donne la volonté de travailler, celle que j'aime : **ma chère Hiba***

- *Aux plus proches*

*A ceux et celles que j'admire et j'apprécie, ceux et celles qui m'ont montré la fraternité au vrai sens du terme: **Mes sœurs et frères***

- *A mes chers amis qui m'ont soutenu*

- *A tout ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail de prêt ou de loin.*

...Je dédie ce modeste travail

Naoufal Mzali

Dédicace

À ma mère "Fatima" et mon père "Lehsen"

en témoignage de leur affection,

leurs sacrifices et de leurs précieux conseils qui m'ont conduit à

la réussite dans mes études ;

À ma sœur Karima et mon frère Imad

*en leur souhaitant la réussite dans leurs études et dans
leurs vies,*

*À tous ceux qui m'ont aidé afin de réaliser ce travail,
Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

Je dédie ce travail

Marouane Zbat

Remerciements

Au terme de ce travail, nous avons l'honneur d'exprimer nos vifs remerciements pour nos grands et respectueux professeurs et encadrant, *Mr Merouane LAQRICHI* notre encadrant externe à HUAWEI Technologies et *Mr Rachid SAADANE* notre encadrant interne à l'EMSI, pour leur soutien, leurs remarques pertinentes et leur encouragement sans mesure qui devenaient notre source d'inspiration.

Nous tenons à remercier *Mr. ATARO*, *Mr. HATIM*, *Mr. MUSTAFA* et *Mr. NOAMAN*, de l'équipe CDMA, pour leur excellent suivi et leur meilleure collaboration dont on a bénéficié tout au long de notre stage.

Aussi remercions-nous tous les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nos gratitude et estime à notre corps professoral à l'Ecole Marocaine des Sciences de l'Ingénieur (EMSI – Rabat) qui nous a garanti des compétences distinguées.

Nos vifs remerciements vont finalement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Résumé

Ces dernières années, le domaine des télécommunications a vu une croissance sans précédent. Ceci a suscité le développement de nouveaux standards de radio communications allant de paire avec la demande incessante de nouveaux services exigeants encore plus de débit, des bandes de fréquences de plus en plus larges tout en tenant compte d'un coût acceptable. Dans ce contexte, Maroc Telecom a choisi d'implémenter le réseau CDMA2000 comme technologie d'accès dans les zones rurales, et ceci s'introduit dans le cadre du projet "Service Universel" qui permettra d'accéder à tout moment sans risques de pertes, ou de détériorations des informations voulues que se soient voix ou données.

Le présent rapport présente le travail effectué durant notre stage de fin d'étude. Il comporte quatre chapitres. Le premier chapitre est préliminaire dans lequel on présente l'entreprise HUAWEI Technologies et on lance la problématique.

Ensuite, dans le deuxième chapitre, on présentera la technologie CDMA2000, son évolution de la première jusqu'à la troisième génération, l'architecture du réseau CDMA2000 et les caractéristiques de cette technologie.

Nous ne pouvons non plus omettre de parler de l'architecture de la Boucle Locale Radio ainsi que son fonctionnement et ses caractéristiques, C'est l'objet du troisième chapitre.

Enfin, l'objectif ultime de notre stage est de dimensionner la partie radio dans le réseau CDMA2000 –Equipements et interfaces- C'est pour cela qu'on a traité le processus de dimensionnement dans le quatrième chapitre et présenter par la suite un cas réel pour avoir une couverture meilleure et synthétiser les résultats obtenus.

Abstract

In latest years, the telecommunication sector has known markeable growth. This has prompted the development of new standards for communication radio that go together with the incessant demand for new services. This recommend even more speed, larger frequency bands, taking into account an acceptable cost.

In this context, Maroc Telecom has chosen to implement the CDMA Network as an access technology in rural areas and this is introduced under the project of "Universal Service". This project will allow the access at any time without risk of loss or deterioration of any type of required information (Data or Voice)

This report presents the work done during our internship. It contains four chapters. The first chapter is preliminary in which we will give an overview about the company HUAWEI Technologies and in which we will launch the issue.

In the second chapter, we will present the concept of CDMA2000 Technology, its evolution from the first to third generation, architecture of the CDMA 2000 network and its characteristics. In the third chapter, we will present the architecture of Wireless Local Loop, its operation and characteristics.

Finally, the ultimate goal of our internship is to design the radio part in the CDMA2000 network-equipments and interfaces. This was the reason why we dealt with the design process in the fourth chapter and subsequently submit an actual case for better coverage and synthesize results.

ملخص

شهد قطاع الاتصالات نمواً غير مسبوق في الآونة الأخيرة، هذا ما دفع إلى وضع معايير جديدة للاتصالات اللاسلكية التي تسير جنباً إلى جنب مع الطلب المستمر لخدمات جديدة تطالب بسرعة تلقي أكثر ، مع الأخذ بعين الاعتبار التكلفة. وفي هذا السياق ، اختارت "اتصالات المغرب" تكنولوجيا CDMA2000 لتغطية المناطق الريفية ، ويتم عرض هذا في إطار مشروع "الخدمة الشاملة" التي ستوفر الوصول في أي وقت دون التعرض لخطر فقدان أو تدهور المعلومات المطلوبة (الصوت أو البيانات).

ويعرض هذا التقرير العمل المنجز خلال التدريب لمشروع التخرج. وهو يحتوي على أربعة فصول مجزأة.

Sommaire

Remerciements	page 04
Résumé	page 05
Abstract	page 06
ملخص	page 07
Liste des figures	page 10
Liste des tables	page 11
Introduction Générale	page 12
CHAPITRE 1 : PRELIMINAIRE	page 13
1-1- Entreprise Accueillante	page 14
1-1-1- HUAWEI Technologies	page 14
1-1-2- Secteur d'activité	page 15
1-2- Annonce du stage	page 15
1-2-1- Déroulement du stage.....	page 15
1-2-2- Problématique	page 15
1-2-3- Organisation de l'équipe CDMA	page 16
CHAPITRE 2 : TECHNOLOGIE CDMA2000	page 17
2-1- Introduction au Service Universel de Télécommunications.....	page 18
2-2- Evolution des systèmes CDMA	page 18
2-3- Architecture Générale du réseau CDMA 2000.....	page 23
2-3-1- Equipements	page 24
2-3-2- Interfaces	page 27
2-3-3- Couches du réseau CDMA2000.....	page 28
2-4- Caractéristiques de la Technologie CDMA2000	page 33
2-4-1- CDMA : méthode d'accès	page 33
2-4-2- Techniques de Transmission	page 34
2-4-3- Contrôle de puissance	page 37
2-4-4- Handoff	page 40
2-4-5- Récepteur RAKE	page 42
CHAPITRE 3 : Solution CDMA2000 pour la BLR de Maroc Telecom	page 43
3-1- Description de la BLR	page 44
3-1-1- Généralités sur la BLR	page 44

3-1-2- Architecture générale	page 44
3-1-3- Les types de boucles locales	page 45
3-1-4- Les systèmes utilisés pour la BLR.....	page 46
3-2- Solution de HUAWEI pour la BLR.....	page 48
3-2-1- Structure générale du réseau CDMA2000	page 48
3-2-2- Sous système Radio	page 48
3-2-3- Raccordement avec le réseau fixe	page 49
3-2-4- Avantages de la BLR	page 49
3-3- Transmission	page 51
3-3-1- Liens de transmission	page 51
3-3-2- Modes de transmission	page 51
3-3-3- Modes de connexion	page 52
CHAPITRE 4: Planification et Dimensionnement de la BLR de la DRT de FES.....	page 54
4-1- Déploiement et planification de la partie BSS	page 55
4-1-1- Déploiement du réseau CDMA2000 de Maroc Telecom.....	page 55
4-1-2- Méthodologie de la planification Radio	page 56
4-1-3- Planification Radio	page 63
4-1-3-1- Planification de la couverture	page 65
4-1-3-2- Planification des codes PNs	page 69
4-2 Dimensionnement de la partie BSS	page 70
4-2-1- Processus de dimensionnement	page 70
4-2-2- Dimensionnement des équipements et des interfaces.....	page 72
4-2-2-1- Le réseau 1xRTT (Service voix et données)	page 72
4-2-2-2- Le réseau EV-DO (Service données)	page 77
4-3 Qualité de service dans le réseau CDMA2000	page 83
4-3-1- Optimisation d'un réseau CDMA2000	page 83
4-3-2- Indicateurs de performance du réseau (KPI)	page 84
Conclusion générale	page 87
Annexes	page 88
Glossaire	page 99
Bibliographie	page 101

Liste des Figures

Figure 1.1 - Présence mondiale de Huawei	page 14
Figure 1.2 - Organisation de l'équipe CDMA	page 16
Figure 2.1 - Evolution des réseaux mobiles	page 18
Figure 2.2 - Evolution de la technologie CDMA2000.....	page 23
Figure 2.3 - Architecture du réseau CDMA2000.....	page 23
Figure 2.4 - Architecture CDMA2000 déployé par Maroc Telecom	page 26
Figure 2.5 - Schéma bloc des interfaces du réseau CDMA2000.....	page 27
Figure 2.6 - Multiplexage TDM	page 29
Figure 2.7 - Structure des canaux du 1xEV-DO	page 29
Figure 2.8 - Structure de la trame du lien descendant	page 31
Figure 2.9 - Influence de l'interleaving sur le transfert des données	page 35
Figure 2.10 - Etalement de spectre par la séquence directe	page 36
Figure 2.11 - Matrice de HADAMARD	page 36
Figure 2.12 - Contrôle de puissance en boucle fermée	page 39
Figure 2.13 - Soft-Handoff	page 41
Figure 2.14 - Softer-Handoff	page 41
Figure 2.15 - Récepteur RAKE	page 42
Figure 3.1 - Architecture en couche de la BLR	page 45
Figure 3.2 - Boucle locale filaire	page 45
Figure 3.3 - Boucle locale radio	page 46
Figure 3.4 - Structure du réseau CDMA2000	page 48
Figure 3.5 - Multiplexage et démultiplexage de cellules ATM (IMA group)	page 53
Figure 4.1 - Partie de Huawei du projet CDMA.....	page 55
Figure 4.2 - Dualité capacité, couverture et qualité.....	page 56
Figure 4.3 - Procédure de la planification de la couverture.....	page 57
Figure 4.4 - Deux séquences ont le même offset.....	page 58
Figure 4.5 - Domaine de temps de deux séquences PNs.....	page 59
Figure 4.6 - Identification des cellules PNs.....	page 61
Figure 4.7 - Exemple de l'approche 1.....	page 61
Figure 4.8 - Distribution des cellules dans un motif.....	page 62
Figure 4.9 - Equilibre de la liaison	page 65
Figure 4.10 - Simulation N°1 de la couverture	page 68
Figure 4.11 - Simulation N°2 de la couverture	page 68
Figure 4.12 - Principe d'utilisation des codes OVSF	page 74
Figure 4.13 - Disposition des cartes du chassis CIPS pour la technologie 1x.....	page 76
Figure 4.14 - Relation entre le téléchargement des utilisateurs et le débit	page 77
Figure 4.15 - Disposition des cartes du chassis CIPS pour la technologie EV-DO.....	page 82
Figure A.1 - Diagramme de Gantt	page 88
Figure B.1 - Etapes de projet	page 89
Figure D.1 - Description des composants de la BTS 3606CE	page 92
Figure E.1 - Diagramme horizontale	page 94
Figure E.2 - Diagramme vertical	page 94
Figure F.1 - Antenne et Cabinet de la BTS	page 95
Figure H.1 - Architecture interne du RAC6610	page 97

Liste des Tables

Tableau 2.1 : Systèmes de la 1ère génération	page 19
Tableau 2.2 : Technologies de la 2ème génération	page 20
Tableau 2.3 : Norme IS-95	page 20
Tableau 2.4 : Evolution des technologies CDMA2000.....	page 22
Tableau 2.5 : Interfaces liants les entités du réseau CDMA2000	page 28
Tableau 2.6 : Paramètres de la couche physique (Lien Descendant)	page 30
Tableau 2.7 : Paramètres de la couche physique (Lien Montant)	page 32
Tableau 4.1 : Phases de déploiement de la BLR.....	page 56
Tableau 4.2 : Distribution des codes PN selon les Sub-cluster.....	page 62
Tableau 4.3 : Informations sur les villages.....	page 63
Tableau 4.4 : Paramètres utilisés par Huawei dans la BLR.....	page 65
Tableau 4.5 : Pertes dans le lien montant.....	page 66
Tableau 4.6 : Pertes dans le lien descendant.....	page 67
Tableau 4.7 : Affectation des codes PN pour le sub-cluster1.....	page 69
Tableau 4.8 : Affectation des codes PN pour le sub-cluster2.....	page 69
Tableau 4.9 : Affectation des codes PN pour le sub-cluster3.....	page 69
Tableau 4.10 : Affectation des codes PN pour le sub-cluster4.....	page 69
Tableau 4.11 : Nombre des Walsh codes disponibles/secteur.....	page 73
Tableau 4.12 : Nombre de CE disponible dans une cellule.....	page 73
Tableau 4.13 : Dimensionnement des BTS.....	page 73
Tableau 4.14 : Pourcentage de distribution des utilisateurs.....	page 78
Tableau 4.15 : Moyenne des débits dans la voie montante.....	page 78
Tableau 4.16 : Volume du trafic à différentes vitesses.....	page 79
Tableau 4.17 : Trafic des utilisateurs à différentes vitesses.....	page 79
Tableau 4.18 : Moyennes des débits des utilisateurs dans la voie descendante.....	page 80
Tableau 4.19 : Distribution du trafic des utilisateurs.....	page 80
Tableau 4.20 : Distribution du trafic des utilisateurs à différentes vitesses.....	page 80
Tableau 4.21 : Dimensionnement des BTS pour le service EV-DO.....	page 81
Tableau C.1 : Comparaison entre la technologie EV-DO et CDMA2000 1x.....	page 91
Tableau D.1 : Fonctions des composants principales de la BTS 3606CE	page 92
Tableau D.2 : Description des composants de BBU3900.....	page 93
Tableau G.1 : Différentes configurations des BTS.....	page 96

Introduction Générale

Le secteur des télécommunications vit des mutations profondes depuis des années, il est devenu le moteur essentiel dans beaucoup de domaines : politique, économique, social et culturel au niveau mondial, beaucoup de secteurs font appel aux services de la télécommunication qui sont entrain de subir une révolution entièrement d'origine technique : radio, internet, télévision, téléphonie...

Il paraît naturel dans les zones rurales de pouvoir établir un appel, envoyer des données et consulter d'autres via le support internet. Alors que, pour les utilisateurs au quotidien, il semble évident et normal d'avoir un accès immédiat et permanent à ces différents services, les infrastructures qui permettent ces prestations se font de plus en plus complexes et robustes. Elles incorporent des matériels sophistiqués permettant l'accès le plus rapide à un nombre de données en constante augmentation.

Si les possibilités de services se simplifient et se banalisent, il en est tout autrement des équipements qui les dispensent. En effet, les matériels, les logiciels mais aussi les protocoles qui animent ces services se sont complexifiés au cours des années.

C'est le cas pour le réseau CDMA, issu des Etats unis (standard IS 95), qui se base sur une technique large bande dans laquelle le spectre radiofréquence est partagé en canaux qui ont à peu près 1,23 MHz de large. L'une de ses particularités est que, bien qu'il y ait naturellement des limites à la capacité de trafic d'un canal donné, cette limite n'est pas fixe. La capacité du système va dépendre de plusieurs facteurs que l'opérateur du réseau peut contrôler.

L'analyse de ces performances ainsi que le dimensionnement du réseau CDMA existant exige donc la détermination de certains paramètres et indicateurs de performance qui ne suivent pas des spécifications standards, mais dépendent des équipementiers. Néanmoins, il est indispensable d'en considérer les principaux pour une bonne visibilité sur l'état du réseau.

C'est dans cette optique que s'intègre notre projet de fin d'étude effectué au sein du département Radio Access Network – Equipe CDMA – de HUAWEI Technologies qui consiste à planifier, à dimensionner, à détecter un certain nombre de problèmes et à proposer un plan d'action en se basant sur une méthode d'analyse radio et en utilisant les outils d'optimisation fournis par HUAWEI.

Chapitre 1

Préliminaire

Ce premier chapitre a pour but de présenter, premièrement : l'entreprise HUAWEI Technologies qui nous a accueilli dans ses locaux, et dans laquelle on a eu le plaisir de passer notre stage de fin d'étude.

Ensuite, on a consacré la deuxième partie à annoncer notre stage, poser la problématique ainsi que citer les différents objectifs de notre sujet du PFE et présenter l'équipe CDMA avec laquelle on a eu le plaisir de collaborer.

1-1) Entreprise accueillante

1-1-1- HUAWEI Technologies

HUAWEI Technologies est une entreprise privée à capital fermé (non cotée en bourse) dont le siège social se trouve à Shenzhen en Chine. Créé en 1988, le groupe est devenu un fournisseur dominant en Chine, puis s'est lancée à la conquête des marchés internationaux en adoptant une politique de prix très agressive. Leur slogan : « Enriching Life Through Communication ».

Dispose d'un réseau mondial de clients couvrant plus de 100 pays et emploie 70 000 personnes dans le monde, en 2007, selon ses dirigeants, HUAWEI a réalisé un « chiffre d'affaires » de 16 milliards de dollars US, en hausse de 45 % par rapport à 2006, ce qui la situerait tous segments confondus parmi les cinq premiers équipementiers à l'échelle mondiale. Cette affirmation doit néanmoins être nuancée car le « chiffre d'affaires » est souvent confondu avec le « volume de contrats » signés dans l'année. Selon les méthodes comptables internationales, que HUAWEI n'est pas obligé de suivre, il s'agit de deux choses différentes. En 2009, elle est récompensée par "l'oscar de l'audace" du Financial Times.



Figure 1.1 - Présence mondiale de Huawei [1]

1-1-2- Secteur d'activité

HUAWEI Télécommunications est une entreprise active dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC). Elle fournit des matériels, des logiciels et des prestations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques des entreprises.

Ses principaux concurrents économiques que sont Cisco Systems, Alcatel-Lucent, Ericsson, Nokia Siemens Networks, Nortel, NEC et ZTE ont vu leurs parts de marché en Asie s'effriter et ont assisté à la montée en puissance du groupe chinois sur les marchés émergents et occidentaux.

1-2) Annonce du stage

1-2-1- Déroulement du stage

Notre stage de fin d'étude s'est déroulé à HUAWEI Technologies Morocco SARL dans le siège de Hay Riad à RABAT – Avenue Annakhil, Immeuble High-Tech, en 4mois successifs (du 1^{er} Mars au 30 juin 2010), durant lequel on a pu réussir à atteindre les objectifs tracés d'avance par notre encadrant à HUAWEI.

1-2-2- Problématique

Ce projet rentre dans le cadre d'insertion de 30 BTS de type 3606CE dans le réseau CDMA2000 de Maroc Telecom. La problématique qui se pose est de servir toutes les zones rurales au Maroc pour cela il a été nécessaire d'opter pour le réseau CDMA2000 au lieu du réseau fixe qui devient une perte pour l'opérateur car les câbles de cuivre, de plus en plus, sont volés.

Pour cela le projet CDMA a été intégré par Maroc Telecom au début de l'année 2007, on a pu intégrer plusieurs BTS de types différents à l'échelle nationale, chacune a ses propres caractéristiques au niveau Hard et au niveau Soft.

L'objectif principal de notre stage est le dimensionnement du réseau d'accès existant, à travers l'accomplissement des tâches suivantes :

- Planification de 30 BTS 3606CE (faire une couverture optimale sans interférer avec le réseau existant).
- Dimensionnement des modules de la BTS 3606CE.
- Dimensionnement des équipements du RAC 6610.
- Choix et Dimensionnement des interfaces Abis, V5, A10/A11.

1-2-3- Organisation de l'équipe CDMA

Notre mission est de planifier, de dimensionner et de suivre l'installation de la boucle locale radio et d'assurer, avec les différentes équipes de planification d'installation et les chefs de projets, la mise en service du réseau CDMA2000. Ce qui nécessite des connaissances de base à l'ingénierie et l'implémentation du réseau, ainsi que la maîtrise des équipements afin de garantir un meilleur suivi technique des sous-traitants.

La figure 1.2 illustre l'organisation interne de l'équipe CDMA [1]:

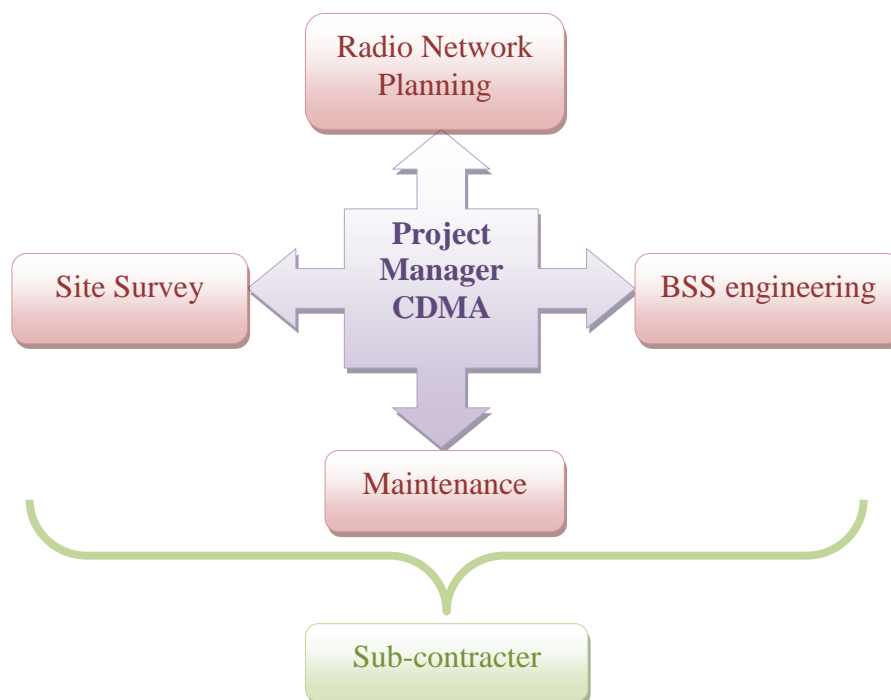


Figure 1.2 - Organisation de l'équipe CDMA

Chapitre 2

La Technologie CDMA 2000

Ce deuxième chapitre est composé en quatre sections :

Dans la première section on introduira le service universel de Télécommunications et son intérêt.

La deuxième section est consacrée à l'évolution de la technologie CDMA2000 de la 1^{ère} génération jusqu'au 3G.

La troisième section est plus objective car elle traite l'architecture du réseau CDMA2000, les équipements, les interfaces et les différentes couches.

Enfin, dans la quatrième section on va traiter les caractéristiques de la technologie CDMA2000.

2-1) Introduction au Service Universel de Télécommunications

Le service universel comprend un « ensemble d'exigences d'intérêt général dont l'objectif est de veiller à ce que certains services soient mis à la disposition de tous les consommateurs et utilisateurs sur la totalité du territoire d'un Etat membre, indépendamment de leur position géographique, au niveau de qualité spécifié et, compte tenu de circonstances nationales particulières, à un prix abordable ». Au Maroc, il est régi par la Loi n°24-96 du 07 août 1997. A travers des dispositions réglementaires, l'ANRT (l'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications) a mis en place de nouvelles règles de gestion du service universel et ce par une définition claire des mécanismes nécessaires à sa mise en œuvre.

La technologie CDMA2000 1x, choisi par Maroc Telecom pour sa boucle locale radio, a montré des limitations en termes de débit qui ne dépasse pas les 307.2 kbps, ce qui fait de la norme EV-DO (Evolution-Data Only) une solution attractive pour offrir Internet mobile à haut débit en tirant profit des caractéristiques propres aux services de données.

2-2) Evolution des systèmes CDMA

Dans cette section, nous présenterons succinctement les différentes générations des réseaux mobiles, et nous mettrons le point, plus particulièrement, sur les évolutions de la CDMA2000.

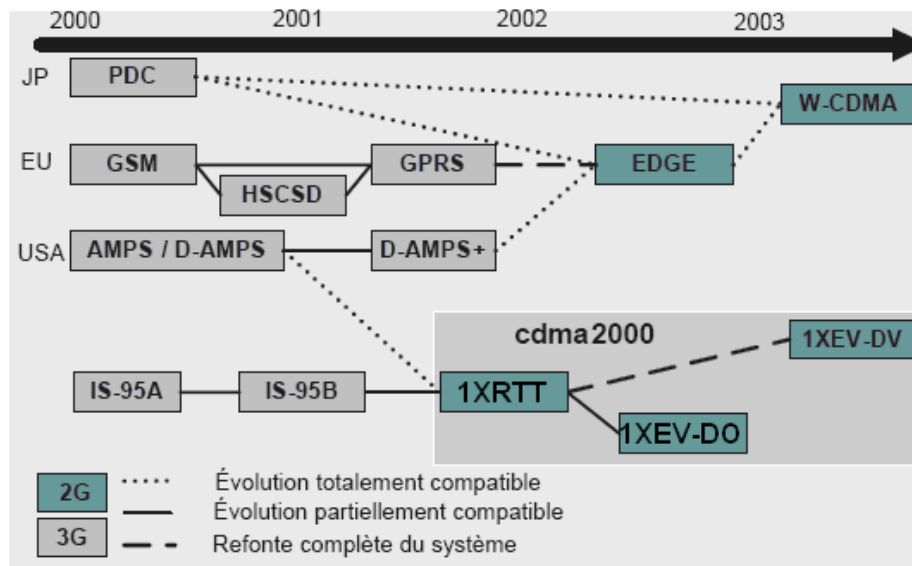


Figure 2. 1 - Evolution des réseaux mobiles

Les systèmes mobiles comptent déjà un certain nombre d'évolutions qui ont été marquées par la progression des techniques d'accès adoptées telles illustrées à la figure 2.1 [2].

➤ La première génération

Apparue au début des années 1970, la première génération opérait dans la bande de fréquence 890–915 MHz et 935–960 MHz. Cette génération comprenait des systèmes et des plates-formes de communications analogiques essentiellement dédiés à la transmission de la voix.

Le qualificatif analogique caractérise la méthode utilisée pour véhiculer l'information sur ces systèmes. Les concepts clés de cette génération sont la réutilisation de fréquence, à travers l'utilisation de la technique d'accès réseau FDMA (Frequency Division Multiple Access).

Dans le cas de cette technique d'accès, les terminaux mobiles partagent la bande de fréquences disponible en allouant une partie de cette bande, appelée canal de trafic, à chaque unité mobile. Des limites de capacité et de fiabilité ont caractérisé cette première génération.

Certains systèmes qui ont marqué la première génération sont présentés au niveau du tableau 2.1 à travers la spécification des bandes de fréquences allouées sur les liens montants et descendants ainsi que la largeur du canal de transmission et la zone géographique de déploiement [2].

Système	Bande DSC (Mhz)	Bande MNT (Mhz)	Région
AMPS	824-849	869-894	US
TACS	890-915	935-960	EU
E-TACS	872-905	917-950	UK
NMT-450	453-457.5	463-467.5	EU
NMT-900	890-915	935-960	EU
C-450	450-455.74	460-465.74	Allemagne, Portugal
RMTS	450-455	460-465	Italie
Radiocom2000	192.5-199.5	200.5-2007.5	France
	215.5-233.5	207.5-215.7	
	165.2-168.4	169.8-173	
	414.8-418	424.8-428	
NTT	925-940	870-885	Japan
	915-918.5	860-863.5	
	922-925	867-870	
JTACS / NTACS	915-925	860-870	Japan
	898-901	843-846	
	918.5-922	863.5-867	

Tableau 2. 1 : Systèmes de la 1ère génération

➤ La deuxième génération

La deuxième génération est apparue au début des années 90, elle caractérise de façon générale, les systèmes mobiles numériques. L'usage de la technologie numérique a en effet, permis de résoudre les problèmes de capacité et de sécurité inhérents aux systèmes 1G.

Les performances affichées permettent de supporter certains services mais demeurent insuffisantes quant aux applications avancées.

Le tableau 2.2 illustre les technologies 2G qui connaissent le plus de succès [2] :

Norme	Modulation	Méthode D'accès	Frq Mobile (Mhz)	Frq Base (Mhz)	Espacement entre porteuses (Khz)	Canaux par porteuse	Région
IS-95	QPSK	CDMA	824-849 1850-1910	869-894 1930-1990	1250	Capacité Variable	Monde
GSM	GMSK	FDMA TDMA	806-915 1710-1785 1850-1910	935-960 1805-1885 1930-1990	200	8	Monde
IS-136 IS-54	$\Pi/4$ DQPSK	FDMA TDMA	824-849	869-894	30	3	Monde
PDC	$\Pi/4$ DQPSK	FDMA TDMA	810-826 1477-1489 1501-1513	940-956 1429-1441 1453-1465	25	3	Japon
PHS	$\Pi/4$ DQPSK	TDMA	1895-1906	1907-1918	300		Japon

Tableau 2. 2 : Technologies de la 2ème génération

La norme IS-95 :

La norme IS-95 est Basée sur la technique d'accès CDMA (Code Division Multiple Access), ou encore AMRC (Accès Multiple à répartition de Code), cette norme consiste à attribuer à chaque terminal mobile un identifiant unique qui lui permet d'accéder au système. La première révision de la technologie IS-95 porte le nom de IS-95A. Les performances affichées par cette technologie assuraient des débits de l'ordre de 14.4 kbps. Le tableau 2.3 résume les caractéristiques générales de la technologie IS-95 [3].

Modulation	QPSK
Débit de chip (d'étalement)	1.2288 Mips
Longueur de trame	10 ms
Débit nominal (RS1)	9600 bps
Largeur de la bande	1.25 Mhz
Codage	Convolution avec codage Viterbi

Tableau 2. 3 : Norme IS-95

➤ La génération 2.5G

La rencontre des deux domaines, Internet et les systèmes de communication, a permis d'étendre leurs perspectives conjointement. D'une part, les terminaux mobiles peuvent se doter de la capacité de se connecter à la toile sans restriction de débit, de temps ou de lieu. D'autre part, Internet et ses services dérivés peuvent être exploités par des usagers mobiles.

Cette génération n'est donc que le fruit de l'évolution de la deuxième génération et le GPRS (General Packet Radio Service) constitue un exemple typique de l'évolution du GSM en adoptant des méthodes de modulation de haut niveau et des techniques de codage efficaces dans le cadre de la méthode d'accès AMRT pour offrir des débits nettement plus intéressants.

Pour les technologies qui utilisent la CDMA tel que IS-95, l'évolution s'est caractérisée par le passage au CDMA2000 1xRTT (1x Radio Transmission Technology ou IS-2000).

CDMA 2000 1xRTT

La capacité de supporter les services de la voix et des données sur la même porteuse rend la technologie 1xRTT particulièrement rentable pour les opérateurs sans fil. En effet, la bande radio constitue une ressource rare et coûteuse pour les réseaux mobiles. Grâce à cette optimisation du spectre radio, 1xRTT permet aux opérateurs de mieux orienter les investissements lors de l'octroi des licences radio, de la sélection des infrastructures radio et réseau, pour un meilleur déploiement.

Cette technologie peut être déployée dans tout le spectre cellulaire : 450Mhz, 800Mhz, 1700 Mhz, 1900 Mhz et 2100 Mhz. Elle peut également être mise en application dans d'autres fréquences telles que 900 Mhz, 1800 Mhz et 2100 Mhz.

Son efficacité spectrale permet de supporter efficacement des trafics élevés et diversifiés en fonction des services sollicités, sur n'importe quel canal de 1,25 Mhz du spectre. Les réseaux 1xRTT offrent un débit maximal de 153,6 kbps.

La technologie 1xRTT améliore de manière significative la gestion de l'énergie et la durée de vie de la charge des batteries. Le concept de synchronisation au sein des réseaux mobiles comporte des avantages qui sont :

- La référence commune du temps améliore l'acquisition des canaux et des procédures de relève puisqu'il n'y a aucune ambiguïté de temps en recherchant où en intégrant une nouvelle cellule dans le réseau.
- Elle permet également au système d'exploiter certains canaux communs pour assurer une relève transparente (soft handoff) qui améliore l'efficacité du réseau.

➤ Troisième génération

Cette génération a été conçue dans l'objectif de mettre les systèmes mobiles de deuxième génération en phase avec le marché en vue de faire face à l'émergence de l'Internet à haute vitesse et du multimédia, en passant par l'amélioration des méthodes d'accès radio.

Les réseaux appartenant à cette génération sont supposés être capables d'offrir un large éventail de services (données à haute vitesse et multimédia) et opéreront dans la bande de fréquence de 2GHz. L'organisme de standardisation IMT-2000 est destiné à former la base des systèmes mobiles de 3G qui consolidera les environnements mobiles incompatibles d'aujourd'hui en une infrastructure réseau et radio continue. La version européenne de l'IMT-2000 s'appelle UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Aux Etats-Unis, le standard est plutôt connu sous l'appellation de CDMA-2000 EV-DO. Les systèmes 3G sont caractérisés par les propriétés suivantes :

- Une grande souplesse pour intégrer les services et les applications évoluées
- Une performance de débit offert atteignant 144 kbps et même 384 kbps.

CDMA EV-DO

La technologie 1xEV-DO (Evolution Data Only), connue aussi sous le nom de HDR (High Data Rate), constitue une version évoluée du standard CDMA2000 et plus précisément de sa variante 1xRTT (1x Radio Transmission Technology).

La technologie 1xEV-DO est fondée sur les mêmes caractéristiques de base de la couche physique des standards cdmaOne, ce qui fait d'elle une version complètement compatible avec les standards antérieurs des systèmes à base d'étalement de spectre. Cette méthode d'accès radio se distingue par ses deux modes inter opérables de fonctionnement :

- Un mode 1x intégré et optimisé pour la voix et le trafic de données à débit modéré.
- Un mode 1xEV-DO optimisé pour l'accès Internet et le trafic de données à haut débit.

Le tableau 2.4 représente un récapitulatif de l'évolution du système CDMA depuis la norme IS-95 au CDMA EV-DV (Evolution Data and Voice) [4] :

Système CDMA	Canal	Capacité Maximale	Capacité Réelle
CdmaOne IS-95B	1.25 Mhz	115.2 kbps	20 kbps
Cdma2000 1x RTT	1.25 Mhz	384 kbps	64 kbps
Cdma2000 1xEV-DO	1.25 Mhz	2.4 Bps	384 kbps
Cdma2000 1xEV-DV	1.25 Mhz	3.2 Bps	Inconnue

Tableau 2. 4 : Evolution des technologies CDMA2000

La figure 2.2 représente l'évolution de la technologie CDMA2000 avec les caractéristiques [5] :

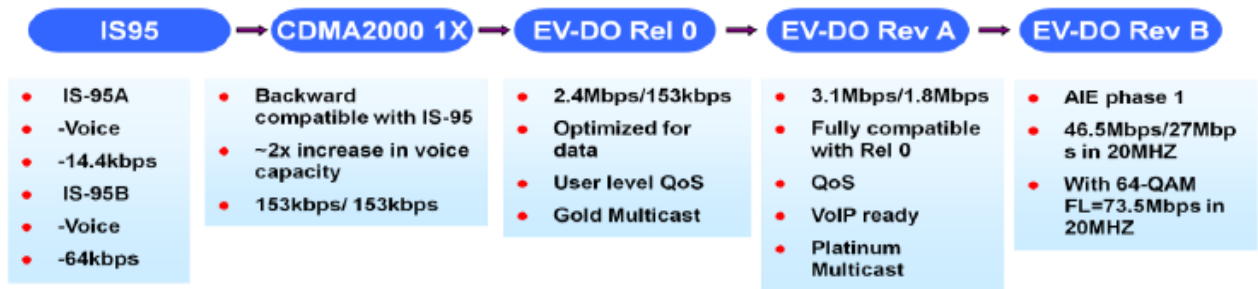


Figure 2.2 - Evolution de la technologie CDMA2000

2-3) Architecture générale du réseau CDMA2000

L'architecture du réseau CDMA2000 se compose principalement de deux parties :

- Le réseau d'accès : qui utilise la méthode d'accès CDMA.
- Le réseau cœur : qui est chargé de la commutation de circuits et de données.

La figure 2.3 illustre cette architecture [1] :

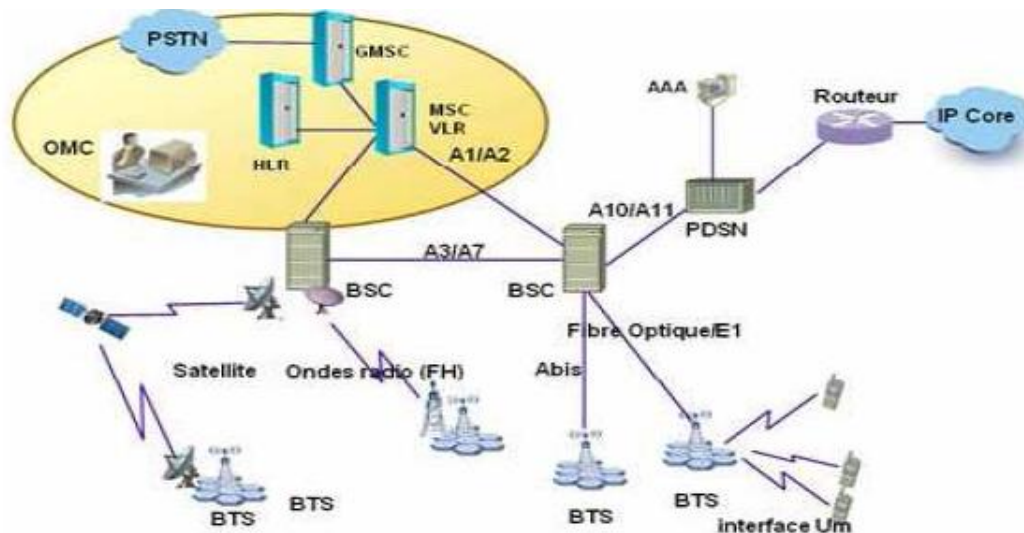


Figure 2.3 - Architecture du réseau CDMA2000

2-3-1- Equipements

MS (Mobile Station)

Le MS appelé aussi terminal d'accès, est utilisé par les usagers comme vecteur pour accéder aux services du réseau. Une fois allumé, le mobile est automatiquement enregistré dans le HLR (Home Location Register) afin d'authentifier le mobile dans le réseau d'accès et informer le HLR de l'emplacement du mobile.

BTS (Base Transmitter Station)

Elle construit un point d'accès aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. Elle gère les ressources RF tel que l'assignement des fréquences, la séparation des secteurs ainsi que les problèmes liés à la transmission radio (étalement, désétalement, modulation, démodulation...). Elle réalise les mesures nécessaires transmises directement au BSC pour s'assurer que la communication en cour se déroule correctement.

Elle est connectée à la BSC via des liens E1(MIC).

BSC (Base Station Controller)

Le BSC est l'organe intelligent du BSS (Base Station Sub-system), il est chargé de gérer des ressources radio qui consiste à :

- Utiliser les mesures effectuées par la BTS pour contrôler la puissance d'émission du mobile et/ou de la BTS.
- Prend la décision de l'exécution du handover.

C'est aussi un élément du réseau, contenant deux composants logiques: la fonction de contrôle des paquets (PCF pour Packet Control Function) et le contrôle des ressources radio (RRC pour Radio Ressources Control). Le PCF est en charge de l'établissement, du maintien et de la fin d'une connexion avec le PDSN. Il communique également avec le RRC afin de gérer les ressources radio pour la transmission sur le lien radio. Lors d'un soft handover avec un BSC relié à une autre station de base, le PCF transfère ses informations au nouveau PCF pour l'établissement d'une nouvelle transmission des paquets vers le PDSN. Le RRC quant à lui gère les ressources radio pour chaque usager, en maintenant le transfert des paquets entre le terminal mobile et le PCF.

MSC (Mobile Switching Center)

Le MSC est une entité qui fait le contrôle et la commutation aux stations mobile dans une zone, elle assure le trafic d'abonnés entre le réseau CDMA2000 et d'autres réseaux publics ou tout autre MSCs. Il se charge de la gestion des services en mode circuit, il établit le contrôle, et achemine les appels vers l'utilisateur approprié en utilisant les données du VLR et de l'HLR. Il fournit aussi les interfaces de réseau, et de signalisation.

-**VLR** : C'est une base de données qui mémorise les données des abonnés présents dans une zone géographique. Plusieurs MSC peuvent être reliés au même VLR, mais en général on trouve un MSC pour un VLR.

-**HLR** : (voir la description du HLR ci-dessous).

AAA (Authentication, Autorization and Accounting)

Le serveur AAA est une base de données qui contient les paramètres utilisés pour la gestion de sécurité de l'accès au système, il fournit les informations relatives aux abonnés nécessaires à l'identification et à la définition des paramètres d'une session usager, il permet aussi de fournir les indices de tarification collectés par le nœud PDSN pour l'utilisateur considéré.

PDSN (Packet Data Serving Node)

Le PDSN intègre beaucoup de fonctionnalités. Il est en charge du routage des paquets vers le réseau IP ou directement vers le HA (Home Agent). Il affecte également les adresses IP dynamiques et maintient les liens PPP (Point to Point Protocol) vers les terminaux mobiles.

Il transfère vers le serveur AAA les données d'identification propres de l'abonné. Le PDSN reçoit du AAA les paramètres du profil de l'utilisateur (services différenciés et sécurité).

HLR (Home Location Register)

HLR (Home Location Register) est une base de données située dans le réseau cœur, elle contient les informations référant aux conditions d'abonnement des utilisateurs et les caractéristiques des services souscrits. Elle contient également des informations grossières sur la localisation de l'abonné. C'est une base de données du domaine CS qui contient des informations précises sur la position de l'utilisateur et de son déplacement.

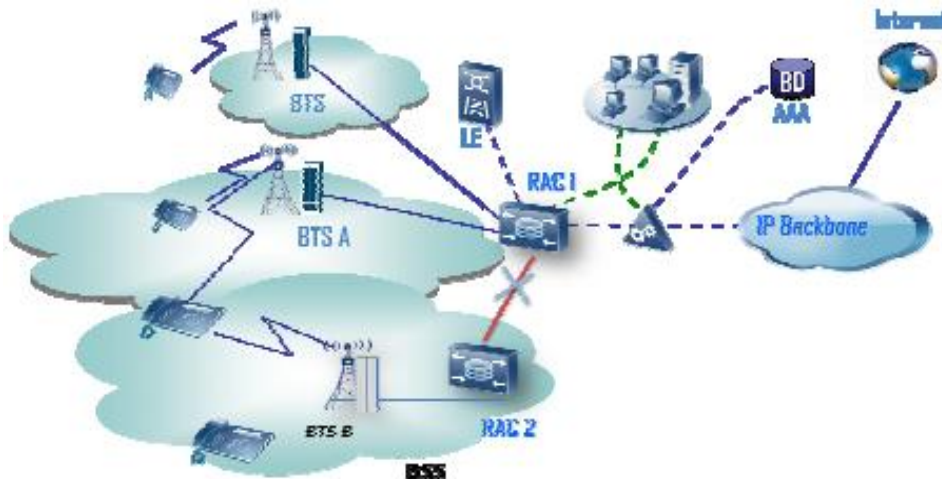


Figure 2.4 - Architecture CDMA2000 déployé par Maroc Telecom

La figure 2.4 illustre l'architecture du réseau CDMA2000 implanté par l'équipementier HUAWEI dans le réseau de Maroc Telecom [1]. La spécificité de ce réseau c'est qu'il ne contient pas l'interface A3/A7 entre deux RAC (Radio Access Controller).

RAC (Radio Access Controller)

Le RAC effectue le contrôle des stations de base, la gestion de ressources radio, le contrôle d'appel, la gestion de mobilité, la gestion des données des abonnés, l'implémentation des services voix, fax, l'accès à Internet, ainsi que l'interface de la gestion de réseau. D'où la nécessité d'une structure très puissante et redondante permettant de supporter les trois principales fonctions à savoir : le routage du trafic de données vers le PDSN, la voix vers le commutateur LE et la supervision et la gestion du réseau. L'architecture interne du RAC6610 de HUAWEI est basée sur les différents VLAN implémentés dans le commutateur principal.

Ce dernier est constitué de trois VLANs : le sous réseau interne pour la maintenance et gestion interne, le sous réseau trafic pour assurer une commutation de données vers le PDSN et le sous réseau externe pour la gestion et la supervision du réseau depuis l'OMC.

Remarque : Pour des raisons de redondance, dans chaque châssis on trouve deux cartes CMUX (active et en veille), puisqu'elles jouent un rôle très sensible dans la gestion et la supervision du réseau.

Local Exchange(LE)

Il présente le commutateur du réseau téléphonique commuté de Maroc Télécom implémenté dans les locaux centraux de l'opérateur (CAA : Commutateur à Autonomie d'Acheminement) ou CL : (Commutateur Local).

2-3-2- Interfaces

La norme CDMA2000 peut aussi servir comme méthode d'accès à la boucle locale radio comme le cas du projet de MAROC TELECOM dont l'objectif est de permettre à la population des zones rurales de bénéficier de la téléphonie et de l'internet. Dans ce cas l'architecture du réseau est plus simple. La figure 2.5 montre le schéma bloc des interfaces du réseau CDMA2000 [6].

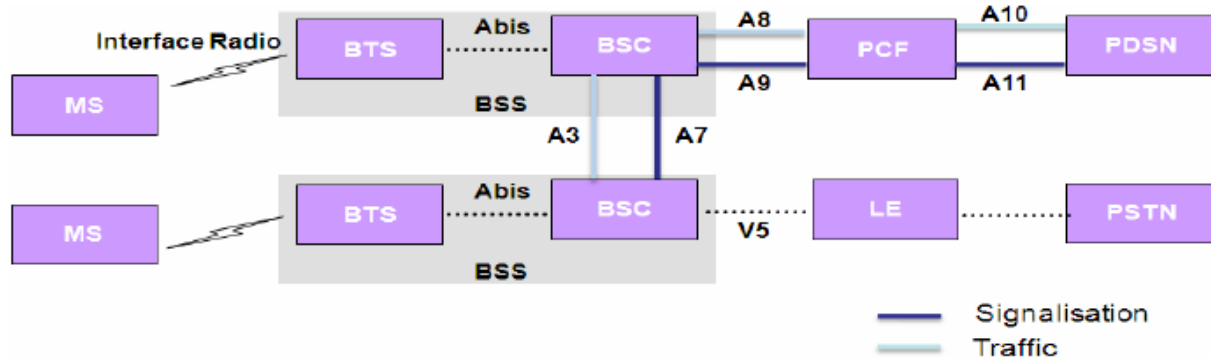


Figure 2.5 – Schéma bloc des interfaces du réseau CDMA2000

Interface Um: interface radio entre le MS et la station de base transporte les services et la signalisation.

Interface Abis: interface entre BTS et BSC, transporte les services et la signalisation. Il se divise en trois parties : Abis signalisation, Abis trafic et OML (Operation and maintenance Link).

Interface A3/A7: Interface entre deux RAC, transporte les services et la signalisation (l'interface A3 pour le trafic et le A7 pour la signalisation), cette interface n'est pas exploitée lors de l'implantation du réseau Maroc Telecom, car comme on a déjà expliqué ultérieurement, il n'existe pas de liaison entre BSC.

Interface A8/A9: l'interface A8 Transporte les services entre le BSC et le PCF et l'interface A9 Transporte la signalisation entre le PCF et le BSC.

Interface A10: Transporte les services entre le PCF et le PDSN.

Interface A11 : Transporte la signalisation entre le PCF et le PDSN.

Interface V5: V5 est l'interface numérique entre le LE qui est un commutateur du réseau téléphonique fixe de Maroc Télécom et le réseau d'accès AN. Il peut être réalisé soit en ajoutant un autre équipement UMG pour convertir le Protocol V5 en MIC, soit en ajoutant des cartes sur le LE qui supporte le V5.

Le tableau 2.5 récapitule toutes les interfaces existantes dans le réseau [1]:

Interface	Connected Entity	Protocol	Physical Property
Abis	BTS—RAC	Internal protocol	E1/T1, FE
V5	RAC—local exchange	ITU-T G.965, YDN 021-1996	E1/T1
A+	RAC—local exchange	Internal protocol	E1/T1
A3/A7/A13	RAC—RAC	A.S0011-C v1.0 - A.S0017-C v1.0, A.S0008-A_v1.0	E1/T1, 155 Mbit/s SDH optical transmission port
A10/A11	RAC—PDSN	A.S0011-C v1.0 - A.S0017-C v1.0, A.S0008-A_v1.0	FE
A12	RAC—AN AAA	A.S0008-A_v1.0	FE

Tableau 2.5 : Interfaces liants les entités du réseau CDMA2000

2-3-3- Couches du réseau CDMA2000

➤ La couche physique EV-DO

La couche physique du 1xEV-DO est très différente de celle du système CDMA2000.

Par conséquent, des équipements additionnels sont exigés dans un système CDMA 2000 existant afin de supporter 1xEV-DO. Toutefois l'évolution a toujours besoin des éléments existants du réseau.

Multiplexage TDM

Le lien descendant de l'IS-856 utilise le multiplexage à répartition dans le temps (TDM), qui élimine la mise en commun de puissance entre les utilisateurs actifs en assignant la pleine puissance de secteur et tous les canaux à un seul utilisateur à un instant donné.

Contrairement au multiplexage à répartition de codes utilisé sur le lien descendant de l'IS-95, où il y a toujours une marge inutilisée de puissance dépendante du nombre d'utilisateurs actifs et de la puissance assignée à chaque utilisateur, dans le cas de IS-856 cette marge est employée pour faire face aux grandes variations de la puissance exigée par les utilisateurs, comme il est montré dans la figure 2.6 [10]:

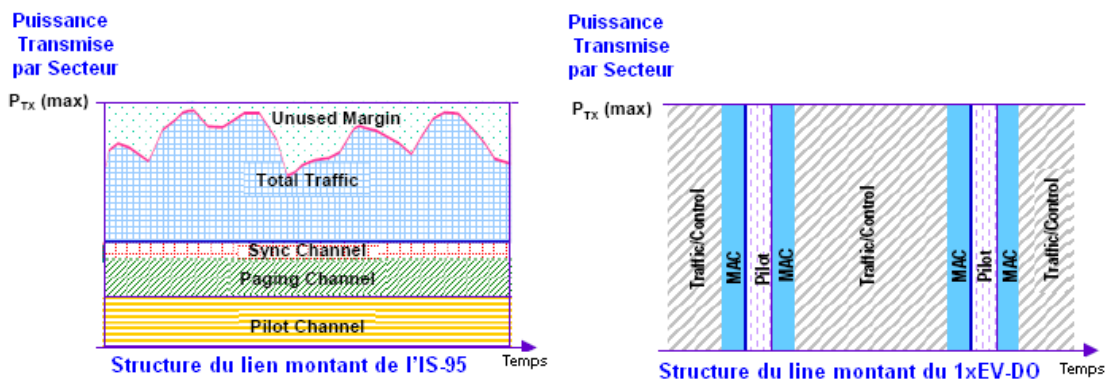


Figure 2.6 – Multiplexage TDM

Les canaux physiques

Pour accéder au réseau et établir une communication, la technologie CDMA2000 spécifie un certain nombre de canaux physiques selon la fonction à exécuter (synchronisation, trafic, accès aléatoire,...). La figure 2.7 présente les différents canaux physiques des deux liens de la norme EV-DO [7]. Ces différents canaux seront détaillés dans les sous paragraphes suivants.

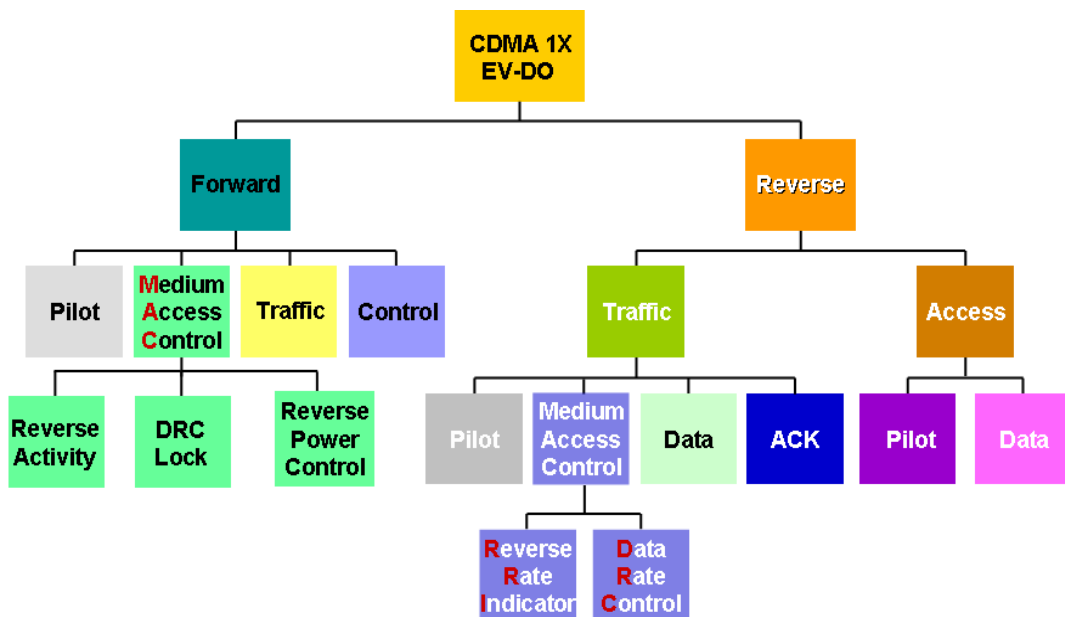


Figure 2.7 – Structure des canaux du 1xEV-DO

Le lien montant (Reverse Link)

La structure du canal montant IS-856, comme décrit sur la figure 2.7 [7], comprend le canal d'accès et le canal de trafic. Le canal d'accès, qui se compose des canaux pilotes et données, est employé par un terminal d'accès dans l'état non dédié pour envoyer des messages de signalisation au réseau d'accès.

Dans l'état dédié, le terminal d'accès transmet sur le canal montant de trafic, qui contient un canal pilote, un canal indicateur de débit RRI, Reverse Rate Indicateur, un canal de contrôle de débit DRC, Data Rate Control, un canal d'acquiescement ACK, et un canal de données. Le canal RRI est utilisé pour indiquer si le canal de données est transmis sur le canal montant de trafic et son débit associé. Ainsi, des algorithmes complexes de détermination de débit peuvent être évités dans le système IS-856. Le canal DRC est utilisé pour indiquer au réseau d'accès le débit maximal que peut supporter le canal trafic du lien descendant ainsi que le meilleur secteur de service pour ce lien. Le canal ACK est utilisé pour informer le réseau d'accès si un paquet de données transmis sur le canal descendant du trafic a été reçu avec succès. Les modulations et les taux de codage employés pour la liaison montante sont résumés dans le tableau 2.6 [10].

Norme	38.4	76.8	153.6	307.2	307.2	614.7	614.7	921.6	1228.8	1228.8	1843.2	2457.6
Modulation	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	8PSK	QPSK	16QAM	8PSK	16QAM
Bits/Trame	1024	1024	1024	1024	2048	1024	2048	3072	2048	4096	3072	4096
Taux codage	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Durée Trame	26.67	13.33	6.67	3.33	6.67	1.67	3.33	3.33	1.67	3.33	1.67	1.67
Nombre slots	16	8	4	2	4	1	2	2	1	2	1	1

Tableau 2.6 : Paramètres de la couche physique (Lien Descendant)

Le lien descendant (Forward Link)

Il est à noter que chaque canal du système IS-95 est transmis continuellement avec une certaine fraction de la puissance du secteur, alors que les canaux équivalents du système IS-856 sont transmis, à pleine puissance, seulement pendant une certaine fraction de temps [1]. Le lien descendant de l'IS-856 comprend les canaux suivants multiplexés dans le temps : le canal pilote, le canal MAC, Medium Access Control, le canal de trafic et le canal de contrôle.

Le canal MAC se compose de trois sous canaux : RA, Reverse Activity, le canal DRCLock et RPC, Reverse Power Control Channel. Une porteuse du lien descendant de l'IS-856 a une largeur de bande de 1.25 MHz et est étalée en séquence directe à un taux de 1.2288 Mcps.

La transmission sur le lien descendant se compose de time slots de longueur de 2048 chips (1.66 ms), et une trame est composée de 16 times slots, comme il est illustré sur la figure 2.8 [10].

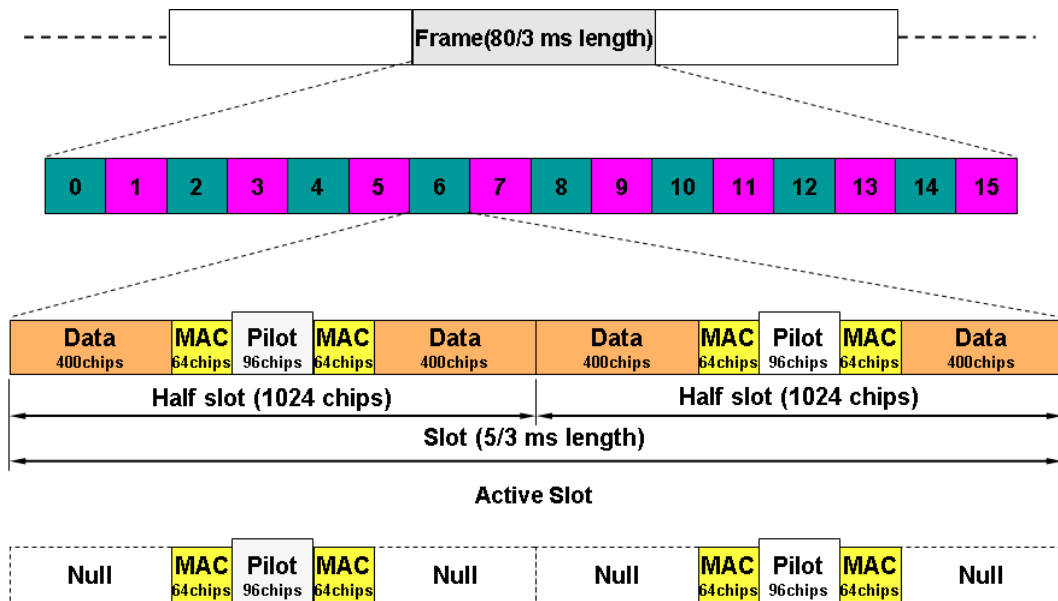


Figure 2.8 – Structure de la trame du lien descendant

Dans chaque time slot, le canal pilote, MAC, trafic ou contrôle sont multiplexés temporellement et sont transmis à un même niveau de puissance. Un time slot pendant lequel aucun trafic ou données de contrôle n'est transmis est désigné sous le nom d'un slot **idle**. Pendant un slot idle, le secteur transmet le pilote et les canaux MAC seulement, réduisant de ce fait l'interférence avec les autres secteurs.

Le canal pilote : Le canal pilote transmet le signal non modulé avec la pleine puissance du secteur pendant les 96 chips au centre de chaque demi slot. Le signal non modulé est multiplexé avec le code Walsh. Le canal pilote de chaque secteur est distingué par un PN décalé de 64 chips. En ce qui concerne le canal pilote, la seule différence entre IS-95 et IS-856 est que l'ancien transmet un signal pilote continu tandis que le dernier transmet un signal pilote périodiques. Le terminal d'accès utilise le canal pilote pour l'acquisition initiale, la correction de phase, et la synchronisation. Une fonction additionnelle du canal pilote IS-856 est de fournir une estimation du canal afin d'assurer l'adaptation de débit.

Le canal Mac : Le canal MAC est transmis dans les 256 chips entourant les deux bursts pilotes de chaque time slot. Il se compose des canaux suivants : le canal RA, le canal RPC et le canal DRCLock.

Le canal de contrôle descendant : Le canal de contrôle transmet des messages de diffusion générale et des messages d'accès dédiés. Ces messages sont transmis à un débit de 76.8 kbps ou de 38.4 kbps. Les caractéristiques de modulation du paquet de la couche physique du canal de contrôle sont identiques à ceux du canal de trafic aux débits correspondants.

Un terminal d'accès essaye de détecter la séquence d'apprentissage d'un paquet de contrôle à 76.8 et 38.4 kbps. Ainsi, le terminal peut recevoir des paquets de canal de contrôle transmis à l'un ou l'autre taux.

Le canal de trafic : Le canal de trafic descendant est un milieu partagé qui transporte des paquets de la couche physique. Cependant le canal ne peut transmettre des données qu'à un seul utilisateur à un instant donné, une séquence d'apprentissage est transmise pour indiquer la présence et le point de départ du paquet, ainsi que le terminal récepteur désigné. La séquence d'apprentissage se compose seulement des symboles 0 et 1 multiplexé dans le temps sur le canal du trafic descendant.

Codage et modulation : EV-DO fournit un codage adaptatif à rendement élevé tout en maintenant une structure simple du codeur. L'efficacité spectrale exigée est obtenue aussi en appliquant une modulation adaptée aux types de paquets et aux variations imprévisibles de l'état du canal. Le tableau 2.7 illustre les différentes modulations et taux de codage possibles ainsi que les débits obtenus avec chaque configuration [10].

Débit (Kbps)	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6
Type de modulation	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK
Nombre de bits par trame	256	512	1024	2048	4096
Taux de codage	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2
Durée de trame (ms)	26.67	26.67	26.67	26.67	26.67
Nombre de slots	16	16	16	16	16

Tableau 2.7 : Paramètres de la couche physique (Lien Montant)

➤ **La couche MAC EV-DO**

Hybride ARQ

IS-856 définit le mécanisme H-ARQ, Hybrid Automatic Repeat reQuest, qui peut terminer la retransmission d'un paquet dès qu'il pourra être correctement décodé.

Pour accomplir ceci, un terminal essaye de décoder le paquet erroné toutes les fois qu'il reçoit une nouvelle partie du paquet retransmis (un nouveau slot), et informe le réseau pour arrêter la retransmission quand le paquet est correctement décodé. Quand le réseau reçoit un acquittement, il ne transmettra pas la partie restante du paquet.

Adaptation de débit

Le changement de la qualité du canal sans fil est dû à l'affaiblissement de parcours (pathloss) et à l'évanouissement (fading). Quand l'émetteur possède les informations sur l'état du canal, il peut par exemple adapter son débit et sa puissance d'émission.

Dans ce cas l'adaptation de débit à l'état du canal est un meilleur arrangement d'adaptation de lien dans la mesure où il réalise un débit plus élevé (débit moyen) sous la contrainte de la puissance moyenne constante de l'émetteur.

La norme 1xEV-DO Rev 0 n'est pas capable de supporter les services à temps réel comme la VoIP, d'où l'utilité de passer à la révision A de la norme EV-DO.

2-4) Caractéristiques de la technologie CDMA2000

La technologie CDMA2000 choisie par Maroc Telecom pour implémenter son réseau fait partie de la famille des standards de la 3^{ème} génération (3G) qui utilisent le CDMA (Code Division Multiple Access) comme technologie d'accès.

Le CDMA, qu'on verra plus en détail dans ce chapitre, est une technologie de radio numérique qui transmet des flux de codes et dont les canaux sont séparés par différents codes PN (Pseudo Noise).

2-4-1- CDMA : méthode d'accès

L'objectif des communications mobiles est de fournir des canaux de communications à la demande entre un terminal mobile et une station de base qui connecte l'utilisateur à l'infrastructure du réseau fixe. Les critères de conception de tels systèmes incluent la capacité, la complexité et la qualité de service. Tous ces critères sont influencés par la méthode utilisée pour fournir l'accès multiple. Quoi qu'il en soit, l'inverse est vrai : les méthodes d'accès doivent être choisies avec soin à la lumière de l'importance relative des critères de conception ainsi que des caractéristiques des systèmes.

On distingue plusieurs types de systèmes de communication multi-utilisateurs. Un premier type est un système d'accès multiple avec lequel un grand nombre d'utilisateurs partagent un canal de communication commun pour transmettre l'information à un récepteur. Un deuxième type de communication mobile est un réseau de diffusion dans lequel un émetteur simple envoie de l'information à de multiples récepteurs.

Les techniques d'accès multiples en système de radio-mobile sont basées sur l'isolation des différents signaux utilisés lors de diverses connections. Le support des transmissions parallèles en liaison montante ou descendante est appelé **Accès Multiple**.

Dans la méthode CDMA (Code Division Multiple Access), les différents utilisateurs émettent des signaux très peu corrélés entre eux.

Des corrélateurs peuvent être donc utilisés pour extraire les signaux individuels d'un mélange de signaux qui sont émis au même instant et sur la même bande de fréquence.

La préférence que l'on a d'une méthode par rapport à une autre dépend largement des caractéristiques globales du système à concevoir. Aucune méthode d'accès multiple n'est universellement préférable aux autres.

Le CDMA est une méthode d'accès multiple à un médium de communications par répartition de codes : Plusieurs usagers ont alors accès à un canal commun et peuvent l'utiliser simultanément jusqu'à une certaine limite d'usagers actifs définie par la tolérance, la capacité, du système.

C'est une technologie d'étalement du spectre qui est utilisée depuis longtemps par les militaires pour sa résistance à l'interférence et pour le niveau de sécurité qu'elle offre. C'est une technique qui consiste à redistribuer et étaler le signal sur une très grande largeur de bande, jusqu'à le rendre « invisible » idéalement, pour les autres utilisateurs de la même largeur de bande.

Au récepteur, l'opération d'étalement exécutée au transmetteur est répétée pour dé-étaler le signal en bande de base (ou une fréquence intermédiaire) tandis que les autres signaux transmis (interférence) sont perçus par le récepteur comme étant du bruit.

Les systèmes CDMA emploient des signaux Large Bande possédant de bonnes propriétés de corrélation, ce qui signifie que la sortie d'un filtre adapté au signal d'un utilisateur est petite si ce n'est pas le bon utilisateur. Ces systèmes sont souvent appelés « systèmes à spectre étalé » (Spread Spectrum Systems) [7].

2-4-2- Techniques de transmission

➤ Interleavings

Les communications radio sont caractérisées par le Fast Fading qui peut causer un grand nombre d'erreurs consécutives. Les meilleurs systèmes de codage sont alors ceux qui sont appliqués sur des données aléatoires et non pas sur des blocs de données. Par l'entrelacement de données, deux bits adjacents ne seront pas transmis les uns à côté des autres, et par la suite si une erreur se produira sur un certain nombre de bits consécutifs à cause de Fast Fading ou autre, on trouvera alors après - interleaving- que les bits erronés sont partagés sur des blocs différents ce qui est tolérable comme erreur de transmission.

La figure 2.9 montre l'influence de l'interleaving sur le transfert des données [10]:

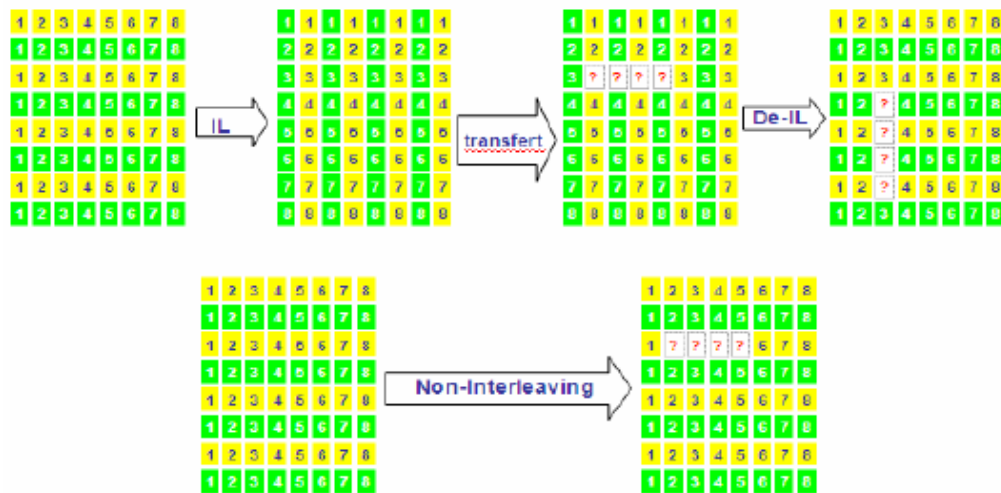


Figure 2.9 - Influence de l'interleaving sur le transfert des données

➤ Étalement (Spreading)

Le système CDMA est une technologie à « étalement de spectre », c'est-à-dire que l'information à transmettre est étalée sur une largeur de bande supérieure à celle qui est strictement nécessaire.

Cette définition inclut les quatre aspects suivants :

- Le spectre de signal est élargi.
- La technique employée pour moduler le signal est : La séquence directe. Elle utilise des codes numériques, qui sont des séquences pseudo-aléatoires de nombres, appliqués aux bits de données émis par chaque usager individuel.
- Cette séquence n'a aucune influence sur le signal transmis.
- À l'autre extrémité du système, le récepteur doit savoir décoder le signal. Le récepteur approprié connaît le code numérique utilisé pour moduler le signal d'origine.

Principe d'étalement

L'étalement de spectre par séquence directe illustré dans la figure 2.10 [6] suppose, avant la modulation de multiplier chaque bit à transmettre par un code pseudo aléatoire de débit supérieur à celui du signal. Le résultat binaire de cette opération est ensuite module avec une fréquence porteuse avant émission.

En réception, une opération réciproque permet de retrouver le signal d'origine à l'exclusion des parasites et bruits recueillis sur le parcours qui eux, n'ont pas été codés par le code pseudo-aléatoire.

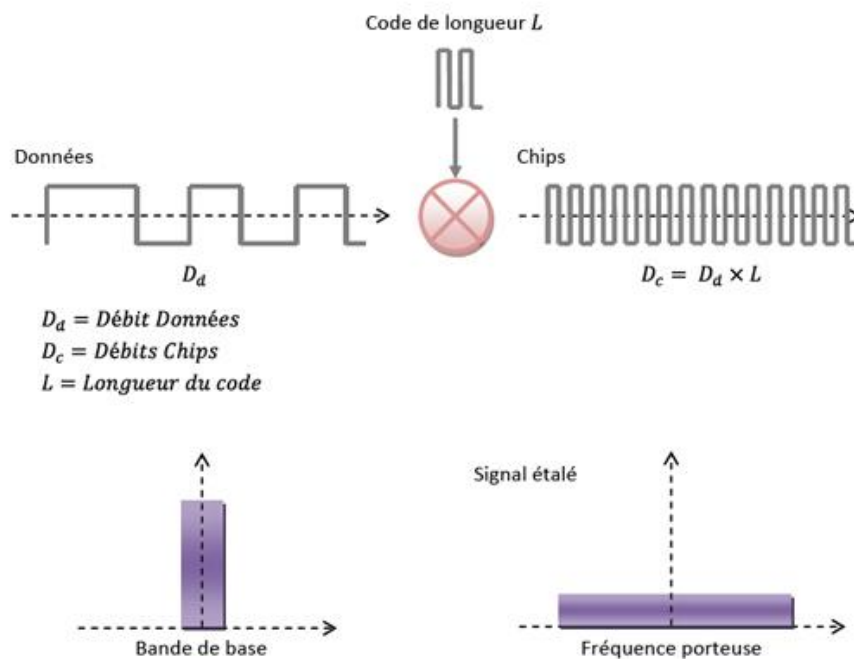


Figure 2.10 - Etallement de spectre par la séquence directe

Les codes de Walsh

L'étalement d'un signal s'effectue grâce à des codes orthogonaux générés par plusieurs manières, à titre d'exemple, les matrices carrées de HADAMARD -figure 2.11- [6]. Elles transforment chaque bit de données en un nombre de chips, ainsi le nombre de chips par bit n'est autre que le facteur d'étalement SF « *Spreading Factor* ».

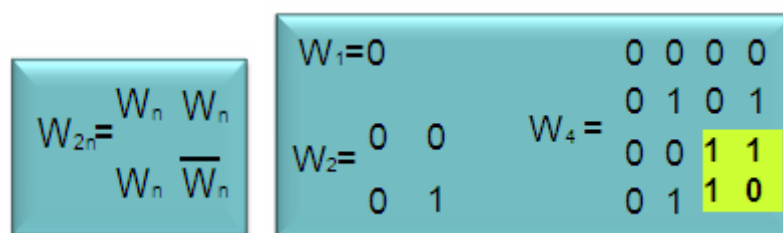


Figure 2.11 - Matrice de HADAMARD

Dans le sens descendant (forward), le IS95A/B ainsi que CDMA2000 RC1 et RC2 adopte un code Walsh de 64-bit pour étaler un symbole. Mais pour les normes qui viennent par la suite (inclus CDMA2000), le système adopte une longueur variable de code Walsh pour s'adapter avec les différents débits canal (de 4.8kbps à 307.2kbps).

Dans le sens montant (reverse), le IS95A/B ou CDMA2000 (RC1 et RC2), adopte pour chaque 6 symboles un code Walsh. Par exemple, si l'entrée est 110011, alors l'étalement sera avec W_{51}^{64} (110011=51). Ce processus est appelé la Modulation Orthogonale.

➤ L'embrouillage « Scrambling »

Le signal étalé est multiplié par un autre code dit d'embrouillage ou de Scrambling, qui fait partie des codes pseudo aléatoires (séquences PN ou Pseudo Noise). On distingue deux types de codes d'embrouillage : les codes d'embrouillage longs et courts.

Codes courts

Habituellement les mobiles (MS) sont entourés par plusieurs stations de base avec des secteurs différents. Si un Mobile veut obtenir un service du système, alors il devrait d'abord distinguer les différents signaux provenant des différents secteurs. Dans un système CDMA, tous les secteurs utilisent la même fréquence, donc le (MS) ne peut pas obtenir l'information à partir de la fréquence. Ici les séquences PN courtes sont utilisées. Il y a 2^{15} séquences PN (15 chip) possible avec un débit symbole fixé à 1.2288Mcps et chacune d'elle sera allouer à un secteur.

Parmi les séquences PN courtes, on définit une séquence PN et on décale à chaque fois par 64 chip pour obtenir une nouvelle séquence qui va être utilisée dans une autre cellule, par la suite on aura $512 (2^{15}/64)$ séquence dans un réseau.

Code longs

Dans un système CDMA, les stations de base utilisent les codes longs pour identifier les différents mobiles dans le sens reverse (uplink) et par la suite chaque (MS) aura une séquence parmi les 2^{42} avec un débit symbole de 1.2288 Mcps. Ces codes ne sont pas orthogonaux mais ils sont suffisamment différents pour décoder les signaux reçus.

2-4-3- Contrôle de puissance

L'une des plus importantes exigences dans un système CDMA est la capacité de l'utilisateur (UE) et les stations de base de contrôler leur puissance d'émission. En fait, sans cette capacité, le système ne fonctionnera pas de manière efficace et n'atteindra pas ses performances. Ce contrôle de puissance est fait pour résoudre le problème de loin/proche.

Pour comprendre le problème, on va considérer une station de base qui reçoit en même temps des signaux provenant de deux stations mobiles, un est proche de la station et l'autre est plus loin.

Par la suite, si les deux stations mobiles utilisent le même niveau de puissance pour la transmission, le signal d'UE1 sera généralement plus fort que le signal d'UE2. Parce que toutes les stations dans une cellule CDMA fonctionnent sur le même transporteur, mais seulement différents codes PN, la détection de ce signal à la station de base est soumise à un plus haut taux d'erreur sur les bits.

Un autre avantage du contrôle de puissance est que les stations mobiles peuvent maintenant fonctionner à une puissance optimale ce qui implique l'autonomie de la batterie. Il se traduirait également par une amélioration de qualité de la parole, en particulier dans les zones urbaines et les zones urbaines denses. Il peut aussi être utilisé pour lutter contre l'effet de fading (évanouissement).

Les trois types de contrôle de puissance utilisés dans les systèmes fondés sur le CDMA sont les contrôles de puissance en boucle ouverte (open-loop) et en boucle fermée (closed-loop) et Le contrôle de puissance en boucle externe.

❖ Contrôle de puissance en boucle ouverte

Avant que le mobile établisse le contact avec la station de base, le mobile ne peut pas pouvoir être contrôlé par la station de base. Ainsi, la question naturelle qui se pose est qu'elle est la puissance avec laquelle le mobile va transmettre sa première demande d'accès. Il y a deux options : La **première** option est que les mobiles peuvent tenter d'accéder à la station de base avec une haute puissance. Cette forte puissance augmente la probabilité que la station de base recevra les demandes d'accès des mobiles. Toutefois, l'inconvénient d'utiliser une forte puissance est qu'elle représente des interférences avec d'autres utilisateurs desservis par la même cellule.

La **deuxième** option est que le mobile peut demander l'accès à la station de base avec une faible puissance. Cette faible consommation d'énergie diminue la probabilité que la station de base recevra les demandes d'accès des mobiles. Mais l'avantage est que ce mobile ne cause pas beaucoup d'interférences avec d'autres utilisateurs.

La solution comme indiqué dans l'IS-95 standard, c'est que le mobile transmet une série de sondes d'accès, ce sont une série de transmissions de puissance élevée progressivement. Le mobile transmet sa première sonde d'accès à une puissance relativement faible, il attend une réponse de retour de la station de base. Si, après un intervalle de temps aléatoire mobile ne reçoit pas un accusé de réception de la station de base, le mobile transmet une deuxième sonde d'accès à une puissance légèrement plus élevée. Le processus va être répété jusqu'à ce que le mobile reçoive un accusé de retour de la station de base. La différence de pouvoir entre la sonde d'accès actuelle et le précédent d'accessibilité est appelé une sonde d'accès de correction.

❖ Contrôle de puissance en boucle fermée

Le contrôle de puissance en boucle fermée, illustré dans la figure 2.12 est utilisé dans le but de compenser les évanouissements rapides [8]. Il est appelé boucle fermée puisqu'à la différence du contrôle de puissance en boucle ouverte, le récepteur concerné calcule des commandes de contrôle et les envoie à la source émettrice pour que celle-ci règle sa puissance d'émission.

Inner loop

La station de base compare la valeur mesurée de E_b/N_t avec celle cherchée et la station mobile sera condamnée à diminuer ou augmenter la puissance de transmission pour avoir la valeur E_b/N_t voulue. Ce contrôle est fait avec une fréquence de 800Hz.

Outer loop

Le BSC estime la valeur de E_b/N_t nécessaire pour garder le même taux FER quelque soit les conditions de transmission radio.

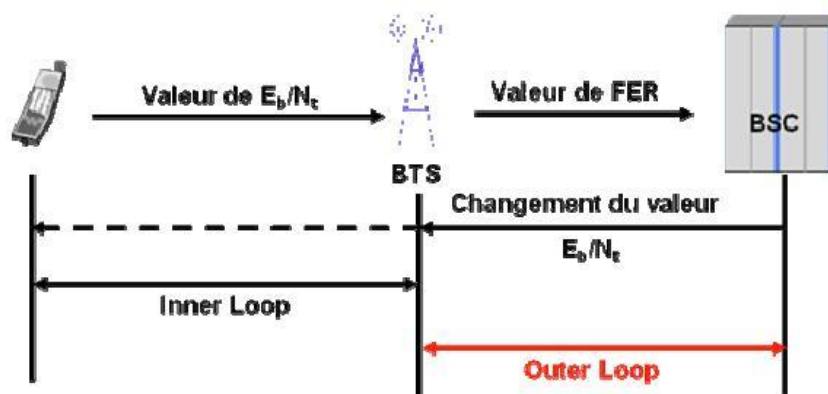


Figure 2.12 - Contrôle de puissance en boucle fermée

Notons que le contrôle de puissance en boucle fermée a eu lieu dans les deux sens, c'est-à-dire dans les voies montante et descendante. Ainsi, le terminal mobile, au même titre que la station de base, contrôle la puissance de cette dernière suivant une procédure similaire à celle décrite ci-dessus.

2-4-4- Handoff

Le Handoff généralement connu sous le nom de handover, est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire (CDMA, GSM ou UMTS). Globalement, c'est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant à une station mobile de changer de cellule sans interruption de service (dans la réalité, la communication entre le MS et la BTS s'interrompt, mais grâce à la rapidité de l'opération, l'utilisateur ne sent aucune interruption). Dans un système CDMA, ce mécanisme joue un rôle très important pour garder une bonne qualité de service sur les zones à faibles couvertures, deux grands types de *handoff* sont envisagés : Le *soft-handoff* et le *softer-handoff*.

➤ Soft-handoff

En général, pendant la procédure de handoff, le mobile doit interrompre la communication avec une station de base avant d'en établir une autre avec une station différente. C'est le cas dans la plupart des systèmes fondés sur le FDMA et le TDMA. Au contraire, dans un système CDMA où les cellules voisines utilisent la même fréquence porteuse, le mobile peut conserver une liaison radio avec plusieurs stations de base simultanément. Comme il n'y a pas de rupture physique de la communication, ce type de handoff est appelé **soft handoff**.

Dans ce type le mobile reste en communication entre deux BTS sans interruption, et il est utilisé juste entre des BTS opérant dans la même fréquence, afin de simplifier l'opération de basculement entre stations de base lors du déplacement de l'utilisateur. Le soft Handoff permet également de combiner les signaux issus des différentes BTS impliquées dans le Soft Handoff dans le but d'améliorer la qualité de la communication, figure 2.13 [6].

Les deux cellules adjacentes démodulent séparément le signal reçu du mobile et envoient le résultat au MSC qui sélectionne le meilleur signal parmi les deux qui sont renvoyés.

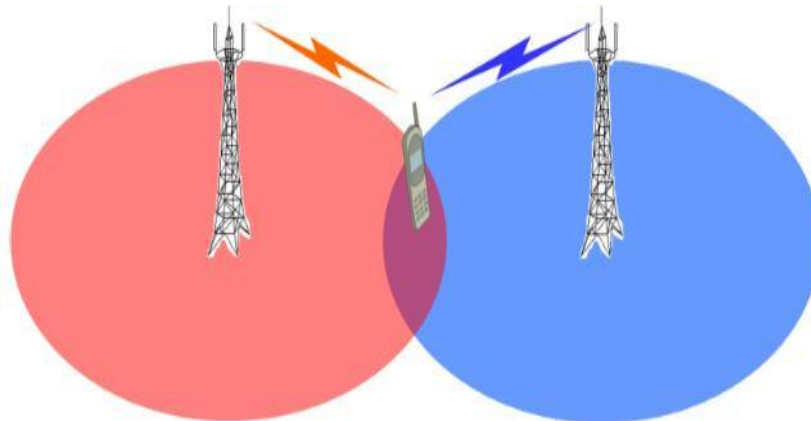


Figure 2.13 - Soft-handoff

➤ **Softer-handoff**

Quand le terminal mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux secteurs adjacents d'une même station de base, deux codes d'étalement doivent alors être utilisés dans le sens DL afin que le terminal mobile puisse distinguer les deux signaux issus des deux secteurs et on a donc deux connexions simultanées pour cet usager.

Dans le sens UL, les signaux provenant du terminal sont reçus par les deux secteurs de la station de base et routés vers le même récepteur de Rake. Les signaux sont ainsi combinés au niveau de la station de base. C'est un cas spécial du *soft-handoff* sauf que le basculement se fait entre secteurs de la même station de base, figure 2.14 [6].

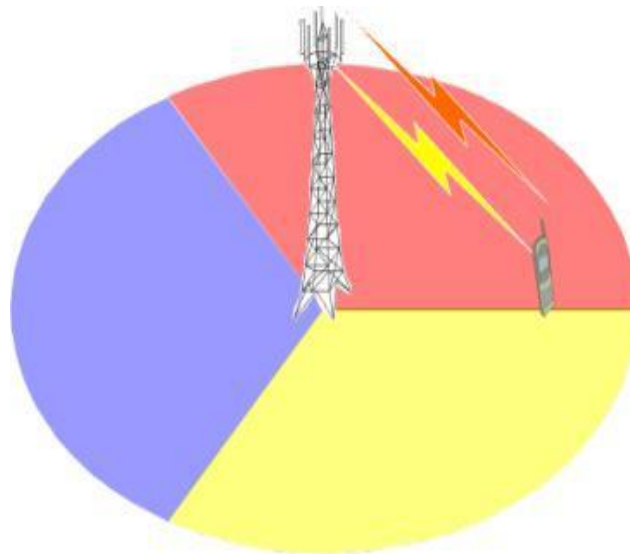


Figure 2.14 - Softer-handoff

2-4-5- Récepteur RAKE

Lors d'une transmission radio, les récepteurs MS ou BTS reçoivent des copies retardées et atténuées du signal émis. C'est le phénomène de trajets multiples "multipath". La superposition des composants multi-trajets à la réception sans décalage temporel peut induire des interférences destructives. Pour résoudre ce problème, et tirer profit de la diversité spatiale offerte par les trajets multiples, le récepteur RAKE (ou récepteur en râteau) est adopté dans les systèmes CDMA 2000. Le récepteur RAKE récupère les signaux retardés et ajuste leurs délais en temps réel puis il fait une superposition des amplitudes, ce récepteur en râteau a pour but de minimiser l'atténuation du multi-trajet et améliorer les performances du récepteur dans le système CDMA2000 (figure 2.15 [6]).

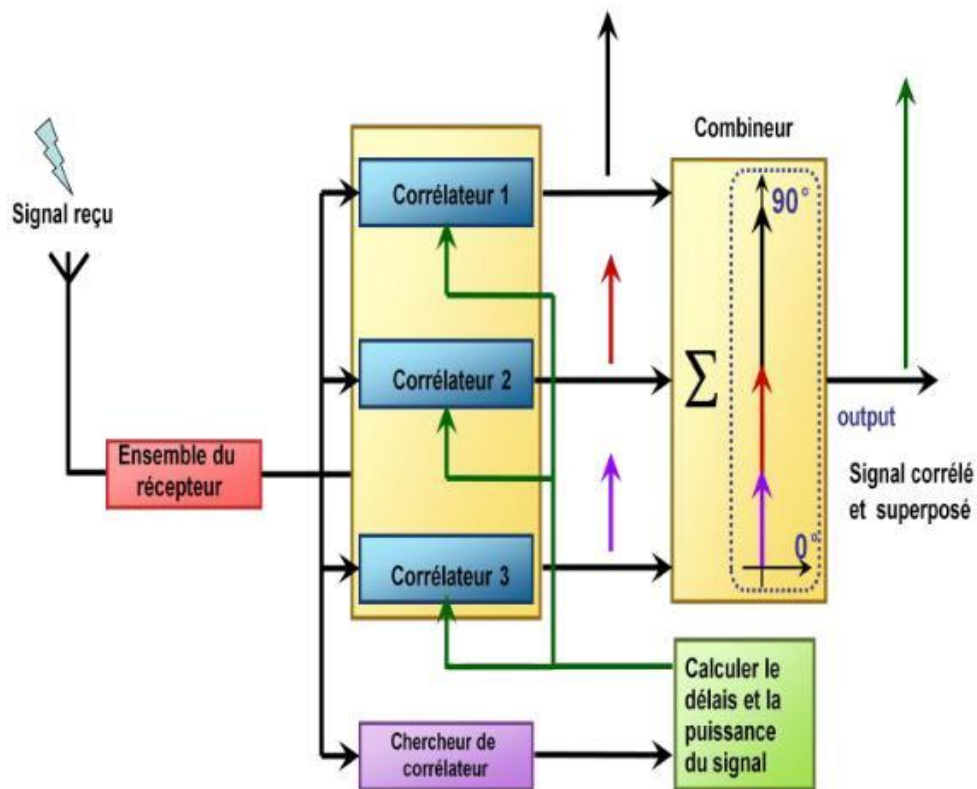


Figure 2.15 - Récepteur RAKE

Chapitre 3

Solution CDMA2000 pour la BLR de Maroc Telecom

Ce troisième chapitre est purement technique, consacré à la solution CDMA2000 pour la boucle locale radio de Maroc Telecom.

Dans la première partie on décrira la BLR considéré comme une sous partie de l'architecture générale du réseau CDMA2000, son architecture, ses types, et son fonctionnement.

La seconde partie est plus objective car elle traite la solution HUAWEI pour la BLR, et aussi les avantages de la BLR comme technologie.

Enfin, la troisième partie sera consacrée à la partie transmission : les liens et les modes de transmission.

3-1)- Description de la BLR

3-1-1- Généralités sur la BLR

On entend par boucle locale radio, souvent appelée "last mile" ou "local loop", le tronçon reliant l'utilisateur à la première centrale téléphonique. Jusqu'ici, le raccordement à l'utilisateur était constitué de fils de cuivre. Avec la technologie de la boucle locale radio, le raccordement à l'utilisateur s'effectue par l'intermédiaire des fréquences. Ainsi, la boucle locale radio permet d'établir une liaison sans fil entre un abonné et une station centrale. La technologie WLL n'offre pas uniquement le raccordement téléphonique pour la transmission de la parole, il permet également de proposer la transmission de données à haut débit dans les deux sens, notamment en vue du transfert de données entre réseaux locaux, de l'accès à large bande à l'Internet et des applications multimédia.

3-1-2- Architecture générale

L'Architecture générale d'une Boucle Locale Radio contient les différentes interfaces qui doivent acheminer les services offerts par ce réseau. Ces services peuvent être : la téléphonie, la vidéo compressée ou la transmission de données (en RNIS, Frame Relay ou ATM). Les principaux éléments du système sont : Le système central qui doit contenir des modems de base, des modems optiques, des multiplexeurs/démultiplexeurs et tous les équipements qui permettent d'optimiser l'acheminement des données. Dans le cas général, l'équipement de base est relié au réseau téléphonique via des fibres optiques qui assurent une transmission à faibles pertes à des distances pouvant aller à des centaines de kilomètres.

Le nœud qui permet la conversion de la transmission filaire en transmission radio. C'est l'élément de base de la BLR. Il contient des modems, des multiplexeurs/démultiplexeurs, des modulateurs/démodulateurs, des amplificateurs et tous les éléments habituels d'un système radio. Il permet la transmission point à multipoint des ondes radio. L'équipement de l'abonné est le dernier élément du réseau. Il est localisé chez l'abonné et il est muni d'une antenne externe fixe et des équipements radio lui permettant la connexion avec le nœud.

La figure 3.1 montre les deux types d'architecture en couche [9]: couche unique où les abonnés sont connectés directement à la macro station et celle de deux couches où ils sont connectés à des micros stations liées à la macro station par une liaison de faisceau hertzien.

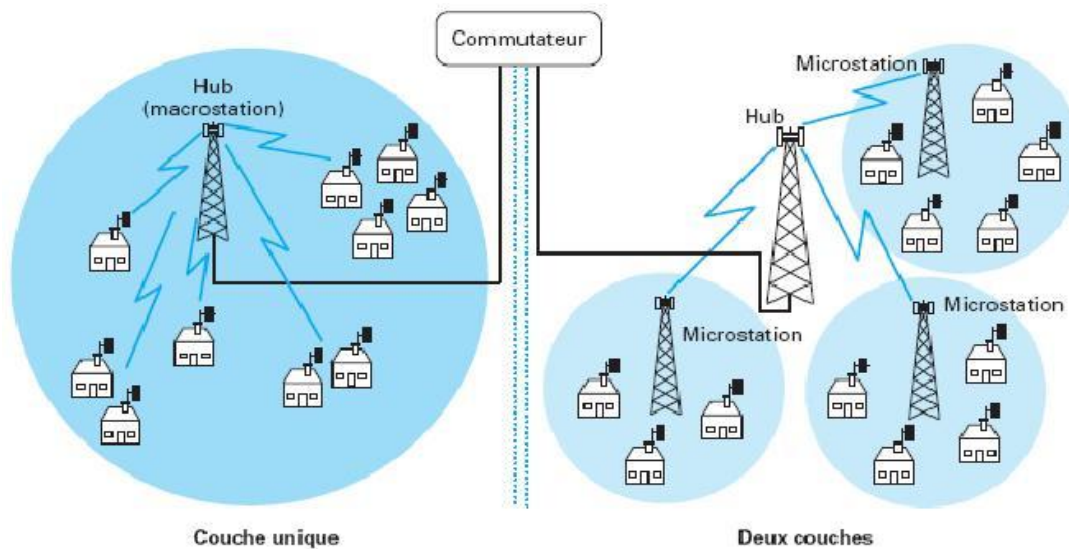


Figure 3.1 - Architecture en couche de la BLR

3-1-3- Les types de boucles locales

De nombreuses technologies sont disponibles mais l'économie de la boucle locale est beaucoup plus incertaine que celle du réseau de transport. Elle dépend en effet de la géographie, de la densité, de la population, du génie civil et de la possibilité de réutiliser des infrastructures existantes. La concurrence sur une même technologie y est exceptionnelle. On distingue plusieurs boucles locales au niveau physique :

- Filaires: la figure 3.2 montre l'architecture de la BLF [15].
- ✓ La traditionnelle paire de cuivre
- ✓ Le câble coaxial
- ✓ La fibre optique

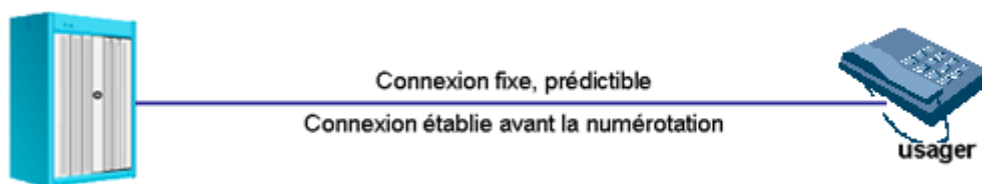


Figure 3.2 - Boucle locale filaire

- Radio: la figure 3.3 montre l'architecture de la BLR [15].
- ✓ Cellulaire
- ✓ Réseaux sans fils
- ✓ Satellitaire

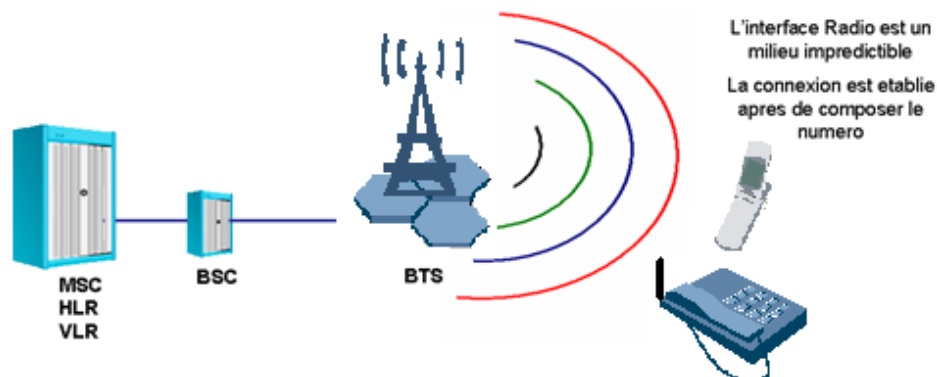


Figure 3.3 - Boucle locale radio

3-1-4- Les systèmes utilisés pour la BLR

Différents systèmes ont vu le jour pour la réalisation de la BLR, nous allons ici énumérer les principaux :

❖ DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone)

Le DECT (Téléphone sans-fil numérique amélioré) est assez ancien. C'est le système européen développé par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) en 1990. Ce système visait à instaurer une téléphonie sans fil de proximité, autour d'un autocommutateur d'entreprise, voire d'un poste résidentiel de base. Le DECT n'entre pas en concurrence avec les normes de téléphonie mobile, notamment GSM, car il ne définit pas d'architecture de réseau. Spécifications techniques du DECT: Le système DECT opère dans la bande 1880 à 1900 MHz et utilise la méthode d'accès TDMA avec 10 porteuses espacées de 1726 kHz acheminant chacune 24 intervalles de temps et offrant 12 canaux duplex simultanés en partage duplex temporel TDD. La capacité totale du système DECT est donc de 120 canaux duplex. Le DECT utilise l'allocation des canaux dynamique et, contrairement aux autres systèmes mobiles, il autorise l'utilisation des canaux adjacents dans la même cellule.

La puissance crête des stations émettrices est de 250 mW. Cette puissance peut être réduite par le mécanisme de contrôle de puissance jusqu'à 60 mW.

Le débit brut de transmission par porteuse est 1152 kbit/s. La couverture peut atteindre 5 km, la mobilité est très restreinte (vitesse de marche de l'utilisateur) et le débit de transmission de données peut atteindre 522 kbit/s par utilisateur.

❖ PHS (*Personal Handy phone System*):

Le système PHS est un système développé au Japon pour assurer la téléphonie mobile à moindre coût. Il a été développé par ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*). Le PHS est basé sur une technologie sans fil à travers une architecture micro-cellulaire. Cette norme reste essentiellement utilisée au Japon.

Le PHS utilise le système de TDMA /TDD (*Time Division Multiple Access/Time Division Duplex*). Il est considéré comme étant un système micro cellulaire, vu sa puissance d'émission maximale qui ne dépasse pas 500 mW, le rayon de couverture est ainsi petit, ceci est avantageux pour les régions qui exigent une capacité importante en terme de trafic. En augmentant le nombre de canaux disponibles dans les secteurs ayant un besoin en terme de trafic (villes par exemple) en augmentant le nombre de stations et ainsi la capacité est augmentée mais le nombre de stations de base va être beaucoup plus important.

❖ WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

C'est une famille de normes, certaines encore en chantier, définissant les connexions à haut-débit par voie hertzienne. WiMAX utilise des technologies hertziennes destinées principalement à des architectures point-multipoint ce qui fait que le WiMAX est une technologie bien convenable pour réaliser des BLRs.

La fréquence utilisée porte pratiquement sur la portion 2-11 GHz, même si le WiMAX définit une bande de fréquence entre 2 et 66 GHz. La norme de référence est 802.16 REVd. La largeur de canal varie entre 1,75 MHz et 20 MHz en fonction des bandes de fréquence. L'efficacité spectrale : 3bit/s/Hz avec la modulation la plus efficace. Les techniques MIMO pourraient permettre de multiplier ce chiffre par 2. (MIMO : Techniques consistant à utiliser plusieurs antennes en émission et en réception, à la station).

3-2)- Solution de HUAWEI pour la BLR

Dans cette partie on va décrire l'organisation générale et l'architecture des éléments du réseau CDMA2000 de Maroc Telecom proposé par l'équipementier Huawei.

3-2-1- Structure générale du réseau CDMA 2000

La structure illustrée sur la figure 3.4 [1] se compose d'un réseau d'accès radio BSS qui gère les liaisons radio et la mobilité, il permet aux terminaux d'accéder aux réseaux téléphoniques commutés à travers le LE et de bénéficier des services de données fournis par le réseau internet via le PDSN. Et un réseau cœur, qui a pour rôles de créer, router les connexions, d'accéder aux réseaux externes et la gestion des comptes usagers.

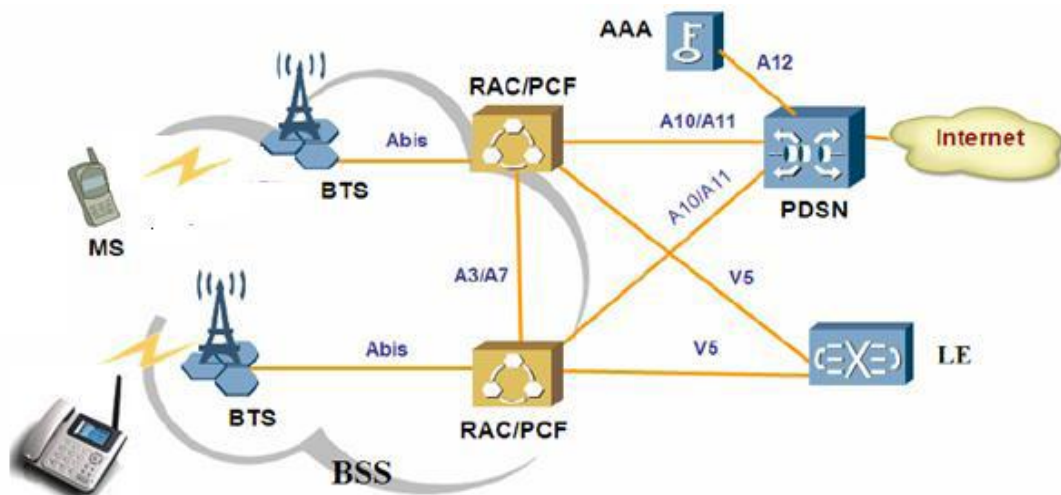


Figure 3.4 - Structure du réseau CDMA2000

3-2-2- Sous- système radio

C'est la partie du réseau allant du répartiteur de l'opérateur (LE) jusqu'à l'abonné. Physiquement, il s'agit de tous les équipements, installations et même les antennes et interfaces reliant ces parties, elle est constituée principalement d'une BTS et un RAC (Radio Access Controller).

3-2-3- Raccordement avec le réseau fixe

La station de base : dans l'objectif d'améliorer la boucle locale radio de Maroc Telecom, la qualité de service et de s'adapter avec l'extension de la capacité, une nouvelle BTS est implémentée dans plusieurs zones au niveau du territoire marocain, c'est la BTS3606CE. Elle supporte les deux technologies, CDMA2000 1x et EV-DO, elle offre une large couverture et une grande capacité en divisant cette dernière sur différentes porteuses dans le même secteur et par la suite la couverture restera large. Elle peut fonctionner avec plusieurs bandes de fréquences : 410MHz, 450MHz (utilisées actuellement par Maroc Telecom), 800 MHz, 1900 MHz.

La BTS 3606CE montre un certain nombre de caractéristiques en matière de capacité. Elle arrive à supporter un nombre maximal de 1536 «Channel Element» (CEs) (le nombre maximal d'utilisateurs qui peuvent communiquer simultanément sous la couverture de la même BTS) pour la voie montante et descendante respectivement. CE est une unité de traitement qui peut supporter l'appel d'un et un seul utilisateur, elle est équivalent au canal vocal de 12.2kbps. Chaque secteur dans la BTS3606CE arrive à supporter 6 porteuses. La structure logique de la BTS 3606CE nous permet de mieux comprendre le fonctionnement et le rôle de différents sous systèmes. Elle nous donne une idée claire sur les relations entre les différents modules de la BTS et le reste du réseau à savoir la BSC et les antennes (conclu celle du GPS utilisé pour la synchronisation).

3-2-4- Avantages de la BLR

La boucle locale radio permet aux opérateurs de télécommunications d'éviter les investissements du déploiement d'infrastructures filaires jusqu'à l'abonné. A travers le monde, le marché de la boucle locale radio est porté par l'ouverture à la concurrence du marché des télécommunications, ceci encourage l'apparition de nouveaux opérateurs ne disposant pas de BLR. Dans les pays émergents, de tels systèmes sont susceptibles d'accélérer le déploiement des infrastructures indispensables à l'activité économique.

Actuellement, les technologies radio deviennent une solution de rechange au raccordement téléphonique filaire en permettant un déploiement rapide et à coût raisonnable tout en offrant des services aussi perfectionnés que ceux proposés par les réseaux filaires : voix, Internet à haut débit et vidéocommunication. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un lien radio dans tout le chemin de l'abonné jusqu'au centre de commutation pour réaliser la boucle locale radio, le lien radio est souvent utilisé dans la dernière partie de la boucle.

Le lien complet jusqu'au centre de commutation est réalisé moyennant d'autres liens qui peuvent être des câbles métalliques, des fibres optiques ou des faisceaux hertziens.

En résumé La boucle locale radio présente essentiellement les avantages suivants pour les opérateurs de réseaux publics :

- La capacité d'atteindre des régions à accès difficile par câble (montagnes déserts...).
- Le coût de déploiement très faible comparé à celui des autres technologies (pas besoin de travaux de génie civil).
- La flexibilité et la rapidité d'installation.
- Le faible coût de maintenance.
- La possibilité de profiter de la mobilité offerte par la radio.

Plusieurs systèmes radio sont utilisés pour réaliser la boucle locale radio. Ces systèmes peuvent être des réseaux sans fils, des systèmes cellulaires utilisés pour la téléphonie mobile ou bien des systèmes utilisant les hautes fréquences et nécessitant une visibilité directe entre l'abonné et le point de distribution. Ces systèmes sont différents par leur mode de fonctionnement, leur qualité vocale, leur flexibilité et facilité de déploiement, leur bande de fréquence et leur capacité à offrir des services multimédia. Cependant, les besoins de plus en plus exigeants en termes de services multimédia et par conséquent en débit de transmission de données ont poussé au développement des systèmes offrant d'une part une qualité vocale équivalente ou meilleure que celle de la boucle locale traditionnelle et d'autre part des débits de transmission assez élevés satisfaisant les besoins multimédia des abonnés.

3-3)- Transmission

3-3-1- Liens de transmission

Liens physiques et liens logiques

Le lien Abis entre la BTS et le BSC est classifié en lien logique et lien physique :

Lien logique C'est le lien virtuel qui transfère des messages de commande, des données de service et des données de maintenance entre la BTS et le BSC.

Lien physique C'est un lien qui supporte plusieurs liens logiques. La composition des liens physiques change avec le mode de gestion du réseau (topologie du réseau).

Classification des liens logique

L'interface Abis supporte trois types de liens logiques :

- Lien logique pour la transmission du trafic de données.
- Lien logique pour la transmission du trafic de signalisation.
- Lien logique pour la transmission du trafic de maintenance O&M.

L'ensemble des liens physiques ou logiques, assure la transmission des données selon des modes de transmission.

3-3-2- Modes de transmission

La gestion du réseau de transmission, ce fait selon plusieurs modes, on distingue trois catégories :

- La transmission en bande dédiée.
- La transmission partielle ATM.
- La transmission en bande partagée.

➤ La transmission en bande dédiée

La transmission en bande dédiée signifie que chaque BTS occupe un ou plusieurs liens de transmission vers le BSC.

➤ La transmission partielle ATM

La transmission partielle ATM signifie que plusieurs BTSs partagent un ou plusieurs liens de transmission vers le BSC. Chaque BTS occupe des times slots prédéfinies pour ses transmissions et une largeur de bande fixe. Ainsi, la BTS partage les liens avec d'autres équipements qui utilisent ce type de transmission.

➤ **La transmission en bande partagée**

La transmission en bande partagée signifie que plusieurs BTSs partagent un ou plusieurs liens de transmission vers le BSC. Pour ce mode, la largeur de bande physique est partagée entre les différentes transmissions, de cette façon on peut indiquer la largeur de bande occupée par chaque BTS dans le BSC.

La transmission en bande dédiée est employée pour le mode de gestion du réseau en étoile. La transmission partielle ATM ou la transmission en bande partagée est employée pour le mode de gestion du réseau en arbre ou chaîné.

3-3-3- Modes de connexions

➤ **Lien UNI**

Le lien UNI, User Network Interface, se rapporte à un simple lien physique qui transporte le trafic de cellules ATM.

- Le mode UNI est recommandé, si seulement un E1 est exigé entre le BSC et la BTS, ce qui permet d'augmenter l'efficacité de transmission.
- Si plus qu'un E1 est exigé entre le BSC et la BTS, le mode IMA est recommandé.

➤ **Lien partiel ATM**

Le principe de transmission sur le lien partiel ATM est le même que celui du lien UNI. Le lien partiel ATM emploie une fraction de slot (combinée de tout les slots à l'exception du slot 0 du lien E1) comme lien physique pour transmettre la cellule ATM, pour quelques systèmes le slot 16 du lien E1 ne peut pas être employé, cependant, le BSC supporte actuellement le slot 16. Une BTS de configuration (O1) avec une petite capacité, n'a pas besoin de la largeur de bande entière du lien E1. Plusieurs BTSs peuvent être mise en cascade et configurées selon une connexion partielle ATM pour bénéficier de la bande de transmission restante. Un lien E1 est suffisant dans une transmission partielle ATM, ce qui permet de gagner en largeur de bande de transmission.

➤ **Lien IMA Group**

Les fonctions de multiplexage inverse pour ATM, IMA (Inverse Multiplex ATM) sont comme suit:

- Distribuer le trafic, de cellules, à grande vitesse sur différents liens physiques à vitesse réduite, à l'émission.
- Combiner le trafic sur les liens physiques à vitesse réduite, sur un seul trafic de cellules, à la réception.

L'efficacité de transmission sur le lien IMA est réduite par rapport à celle sur le lien UNI.

Quand on a besoin de plusieurs E1 ou bien une expansion dynamique de la largeur de bande entre le BSC et la BTS, le mode IMA est le meilleur à configurer.

Un lien IMA se compose de huit E1 au plus. Si certains liens E1 tombent en panne, le lien peut continuer à transmettre l'information, figure 3.5 [1], sauf qu'on aura une réduction de la largeur de bande disponible.

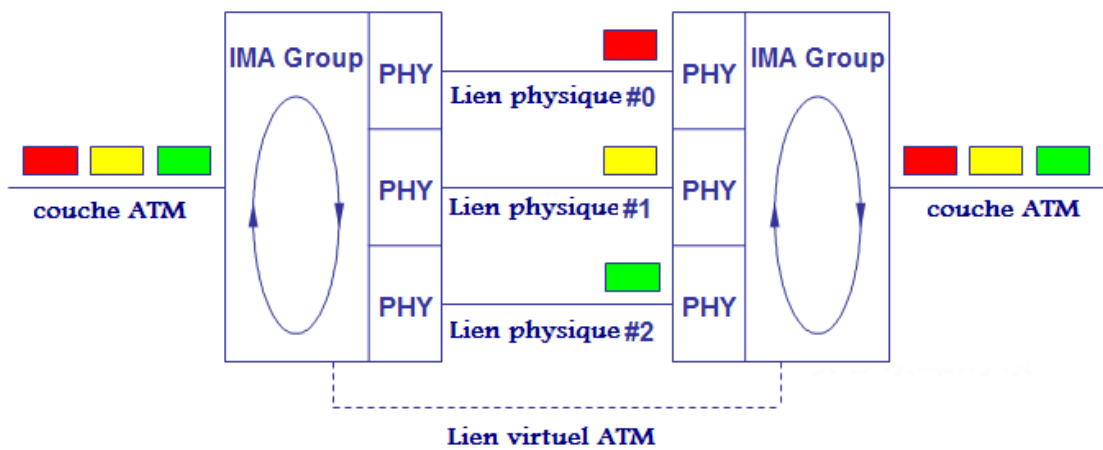


Figure 3.5 - Multiplexage et démultiplexage de cellules ATM (IMA group)

Chapitre 4

Planification et Dimensionnement de la BLR de la DRT de FES

Dans ce dernier chapitre on étudiera le déploiement du réseau CDMA2000 de Maroc Telecom après avoir intégrer de nouvelles BTS dans le réseau existant, via la planification et le dimensionnement de la BLR de la région de FES.

Premièrement, on parlera de la méthodologie de la planification et le déploiement de la BLR.

Ensuite, on estimera la capacité des cartes 1x et EV-DO en suivant le processus de dimensionnement , et d'ailleurs c'est le but de notre projet de fin d'étude.

4-1)- Déploiement et planification de la partie BSS

4-1-1- Déploiement du réseau CDMA2000 de Maroc Telecom

Le déploiement de la boucle locale radio de Maroc Telecom est un projet qui a été lancé en Mars 2006, et qui est aujourd'hui toujours en cours d'élaboration. Notre stage, étant d'une durée de quatre mois, ne nous a pas permis d'assister à toutes les phases de ce projet, néanmoins nous avons choisi de donner un aperçu sur les étapes qui ont eu lieu avant notre intégration dans cette équipe. La politique des opérateurs consiste à ne jamais monopoliser leurs marchés par un seul équipementier afin de profiter des différents avantages de chacun. Cette politique est adoptée par Maroc Telecom dans le projet CDMA2000, on trouve donc que la moitié nord du pays est servie par l'équipementier Huawei et l'autre partie (Sud) par ZTE. La partie de Huawei du projet CDMA de Maroc Telecom est montrée sur la figure 4.1 [11].

Ce projet a vu un nombre croissant des abonnés, ce qui demande une stratégie pour répondre aux besoins et améliorer la qualité de service, et pouvoir par la suite proposer plus de services aux utilisateurs. Dans cette perspective l'équipementier Huawei a décidé de déployer la boucle locale radio sur quatre grandes phases illustrées dans le tableau 4.1 [1].

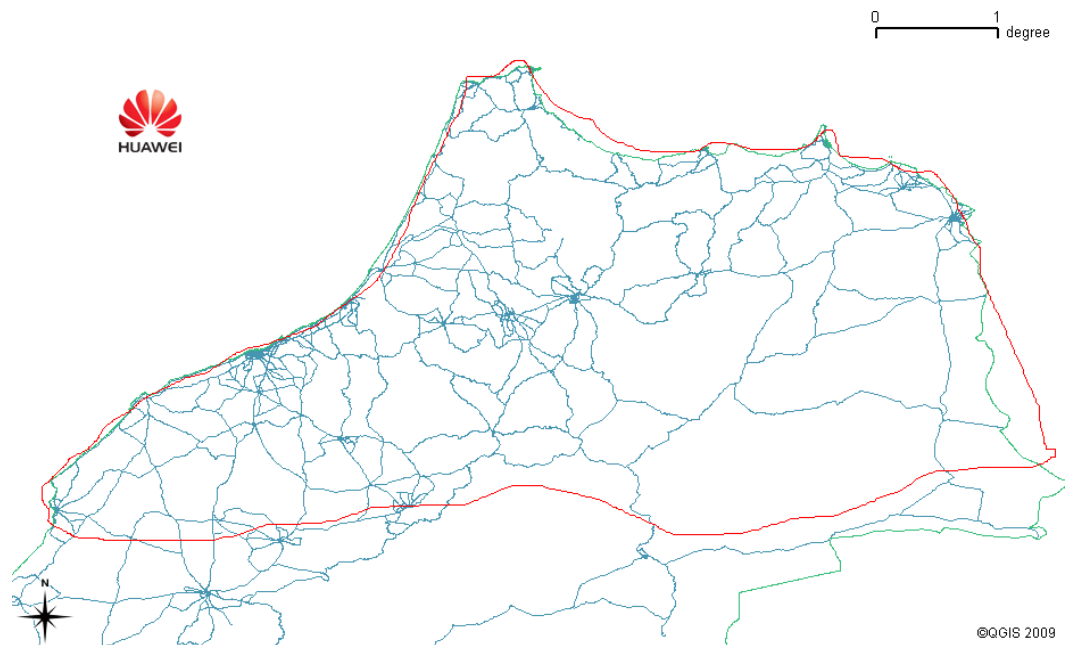


Figure 4.1 - Partie de Huawei du projet CDMA

Phases du projet	Technologie	Type des BTS	Nombre de BTS	Nombre de BSC
1	1x	3612	33	2
2	1x	3606	226	3
3	1x EV-DO	3606	300	5
4	1x EV-DO	3606CE	30	4

Tableau 4.1: Phases de déploiement de la BLR

4-1-2- Méthodologie de la Planification Radio

La planification est la première étape de la mise en œuvre d'un réseau. Elle est indispensable et critique puisqu'il est la base de tous les travaux qui vont avoir lieu par la suite en se basant sur les données de l'équipe de la planification. Elle se compose de plusieurs parties de collection d'information, d'analyse et de simulation qui sont bien détaillés par la suite. La planification radio constitue un facteur déterminant pour la qualité du service et le retour sur investissement du projet, dont les performances déterminent la qualité de service de tout le réseau. La planification radio de Huawei est orientée client, recherchant l'équilibre entre couverture réseau, capacité, qualité et coûts, et répondant aux exigences des différents types de clients et de services.

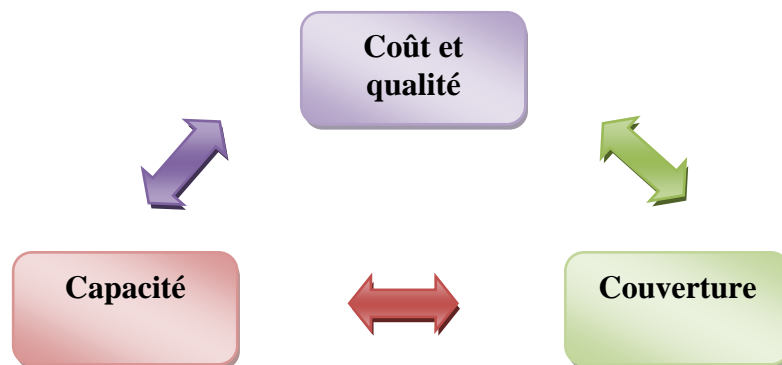


Figure 4.2 - Dualité capacité, couverture et qualité

➤ **Planification de la couverture**

La planification de la couverture est la clé principale de la planification et l'optimisation du réseau CDMA2000. La couverture du réseau est liée étroitement à la capacité du réseau et les stratégies de l'opérateur. On va décrire dans cette partie la procédure utilisée par Huawei, cette procédure consiste à calculer de manière optimale la charge d'un système cellulaire CDMA2000.

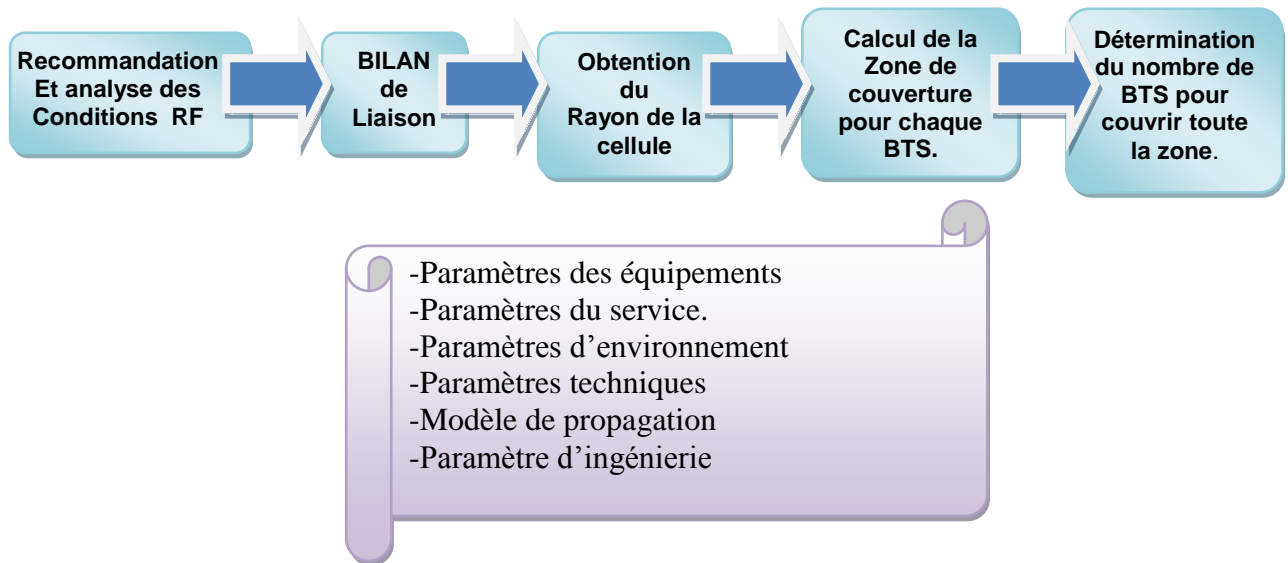


Figure 4.3 - Procédure de la planification de la couverture

➤ **Planification des codes PNs**

Dans un système CDMA2000 chaque BTS est identifiée par un code qui est une séquence pseudo aléatoire de 2^{15} chips, on dispose une seule séquence dans le réseau, cette séquence sera décalée de 64 chips au minimum afin d'obtenir plusieurs codes, ce qui va donner $2^{15}/64 = 512$ différents codes. Le terminal reçoit des signaux de plusieurs cellules en même temps et si le retard de propagation compense le déphasage entre les codes utilisés par les cellules, le terminal risque de démoduler un signal qui n'est lui pas destiné, dans ce cas le terminal signale une erreur de synchronisation causant ainsi une coupure d'appel. En effet, la distance minimale entre deux secteurs utilisant le même code PN peut être obtenu en calculant la distance parcourue par 64 chips.

$$64 \text{ chip} \longrightarrow 64 \times (3 \times 10^8 / 1.2288 \text{Mchip}) = 15.6 \text{Km}$$

En réalité, dû à la complexité de l'environnement de propagation radio, la distance calculée ci-dessus séparant deux séquences PN identiques n'est pas suffisante.

Pour cette raison on introduit le paramètre PILOT_INC qui détermine la séparation minimale entre deux CO-PNs (même PN) qui est PILOT_INC multiplié par 64chips. Ainsi le nombre de séquences PN réellement disponibles sera : $512/PILOT_INC$. Si le nombre de cellules dépasse extrêmement le nombre de séquences PN disponibles. La réutilisation des codes PN est obligatoire, pour cette raison une planification rigoureuse des codes PN est exigée pour les réseaux CDMA2000. Dans les zones rurales où le rayon de la cellule est assez grand, la limite inférieure du PILOT_INC est 4, dans ce cas, le nombre des séquences PN disponibles est 128 et la distance nécessaire pour séparer deux secteurs qui utilisent le code PN est de 62 KM. Le fait que les BTSs CDMA sont toutes synchronisées, la date de référence est **Avril/1980/00 :00**, on peut savoir la séquence générée dans un instant t sachant que la période de la régénération d'une séquence est $1/1.2288Mchps=0.8138\mu s$.

Le nombre de codes disponibles dans un secteur est $126/3=42$ codes (Normalement on dispose 128 mais ce nombre n'est pas divisible par 3).

➤ Les CO-PN Offset

On suppose qu'un mobile se trouve au bord de la cellule 2 et il est servi par la BTS2.

La distance entre le MS et la BTS numéro 2 et 1 est respectivement Y et X chips. La BTS 1 est identifiée par la séquence PN 1 alors que la BTS 2 a la séquence PN 2. Dans cet exemple, les deux séquences ont le même offset PN. La figure 4.4 illustre la situation [12].

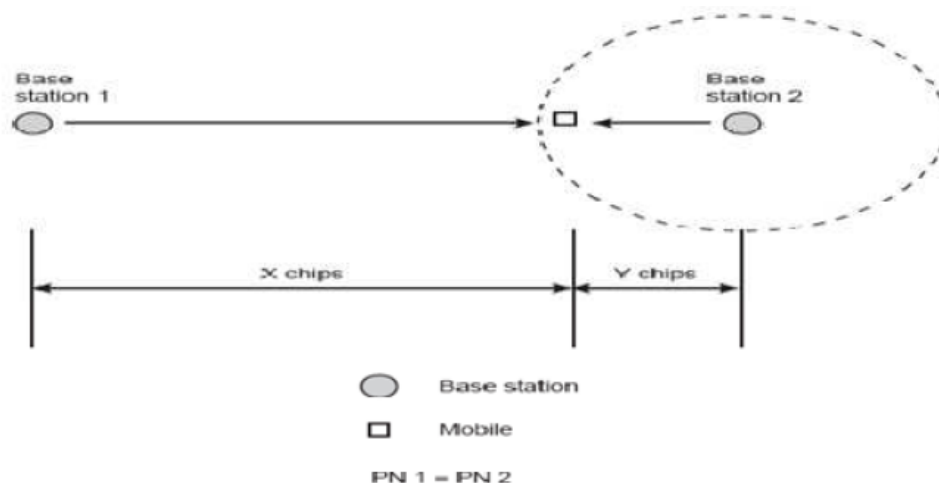


Figure 4.4 - Deux séquences ont le même offset

Dans la figure 4.5 [12], les séquences PN des deux BTS sont représentées dans le domaine du temps. Elles sont alignées depuis sa transmission des stations de base, car elles ont le même offset PN.

Pourtant, la séquence PN 1 parcourt la distance X avant d'être reçue par le mobile alors que la séquence PN 2 parcourt Y chips avant d'être reçue.

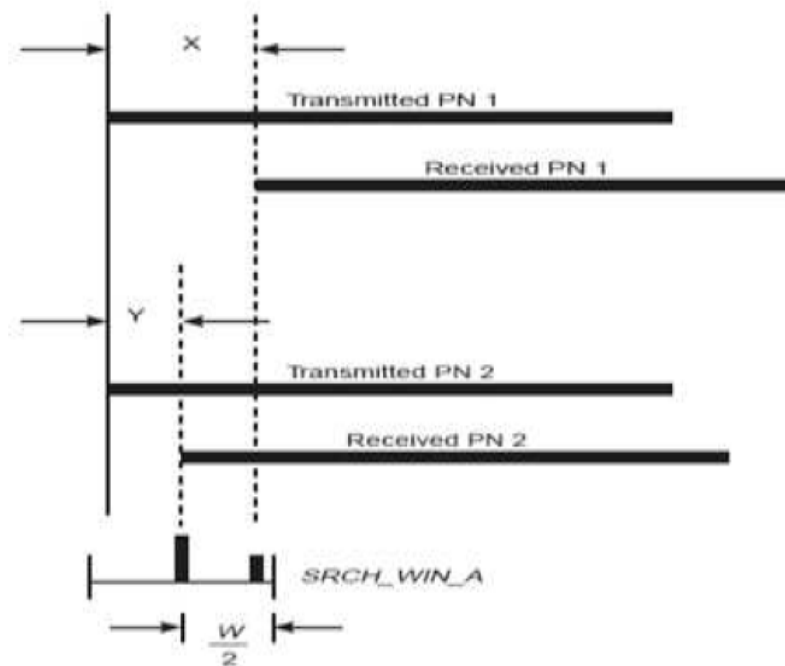


Figure 4.5 - Domaine de temps de deux séquences PN

A la réception, le mobile utilise la fenêtre de recherche « search window » pour interpréter et recevoir le canal pilote. Le mobile est servi par la station de base 2, mais si la séquence de la BTS 1 tombe dans la fenêtre de recherche, le mobile va interpréter ce signal comme étant un multi-trajet de la PN séquence 2, et il va combiner les deux signaux. Ce qui va provoquer le phénomène d'interférence, car les deux signaux n'ont pas la même information. C'est le **phénomène d'Aliasing** on a conclu une condition nécessaire pour éviter ce problème :

$$X \geq Y + W/2$$

Si on prend Y comme étant le rayon R (en chips) de la cellule 1, et $X + Y = D$

La distance (en chips) entre les deux BTS, alors on peut écrire :

$$X - Y \geq W/2$$

$$D \geq W/2 + 2Y$$

$$X - Y + D \geq W/2 + X + Y$$

$$D \geq W/2 + 2R$$

Et tant qu'un chip correspond à la distance 244,14m, on peut représenter la condition par la distance réelle d entre les deux stations de base. Soit $D = 244.14 \times d$.

Donc on obtient la condition suivante : $d \geq 244,14 (W/2 + 2R) \geq 244 (W/2 + 2R)$

Soit $d \geq 122 (W + 2r)$

Où d est en mètre, r est le rayon de station de base 1 (home station de base) en mètre et W est la taille de `SRCH_WIN_A` en chips.

Ajoutons que cette condition de séparation n'est pas le seul moyen pour éviter l'aliasing, on peut aussi utiliser la puissance du signal pilot reçu pour séparer deux pilots qui ont le même PN offset (décalage PN).

➤ Les PN-Offsets adjacents

Si deux stations de base utilisent les séquences PN adjacents (les séquences PN sont séparées par `PILOT_INC` \times 64 chips), quelle condition faudra-t-il en tenir compte pour éviter le phénomène d'aliasing ?

En réservant, les mêmes notations utilisées dans la partie précédente et ajoutant que les deux PN (PN1 et PN2) sont séparés par ($I = \text{PILOT_INC} \times 64$) chips.

On a conclu que:

$$X + Y \leq W/2 \quad \text{Ou} \quad X + Y \leq I - W/2 + 2Y \quad D \leq I - W/2 + 2R$$

Tant qu'un chip correspond à une distance de 244m, la condition de la distance physique d entre deux stations de base qui utilise les PN séquence adjacent.

$$d \leq 244I - 122W + 2r$$

Où on rappelle que d est en mètre, r est le rayon de couverture de station de base 2,

W est la taille de `SRCH_WIN_A` en chips et $I = (\text{PILOT_INC} \times 64)$ chips.

➤ Approches de la planification

Première approche :

Si N est le nombre de cellules dans un motif, alors celui ci est de la forme suivante

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad \text{Où } i \text{ et } j \text{ sont des entiers positifs.}$$

L'identification des cellules CO-PN, figure 4.6 [7] doit suivre les étapes suivantes :

- Se déplacer de i cellules en se positionnant sur un coté de l'hexagone.
- Tourner de 60 degrés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et avancer de j cellules.

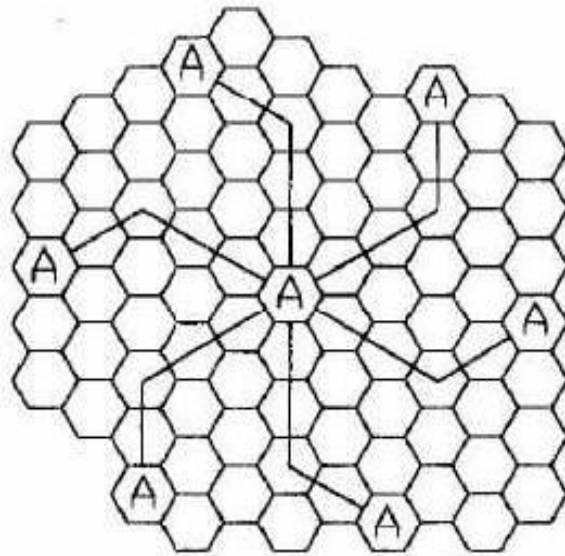


Figure 4.6 - Identification des cellules PN

La figure 4.7 [7] illustre un exemple de la première approche :

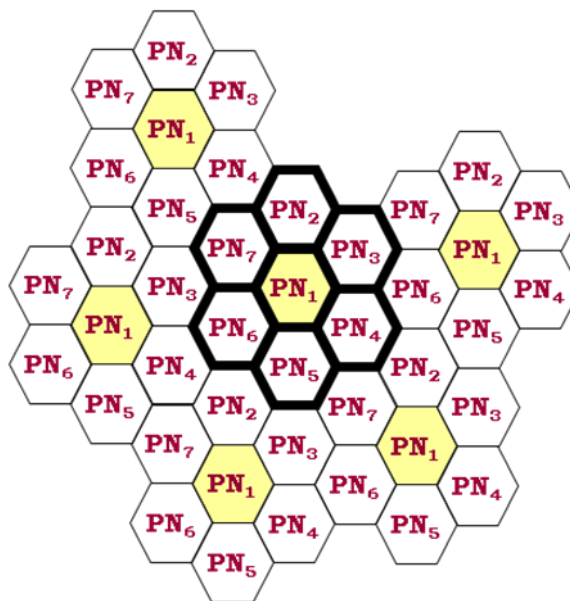


Figure 4.7 - Exemple de l'approche 1

Deuxième approche :

Huawei adopte une approche qui se base sur l'expérience plutôt que sur un calcul mathématique. Prenons un motif de 42 cellules, qui sera divisé par la suite en plusieurs sous-motifs (il n'y a aucune règle pour déterminer le nombre de sous-motifs ainsi que le nombre de cellules qu'ils contiennent). Dans le cas pratique, les cellules sont mises dans 4 sous motifs comportant chacun 10 à 11 cellules.

La figure 4.8 [12] illustre La distribution des cellules au sein de chaque sous motif :

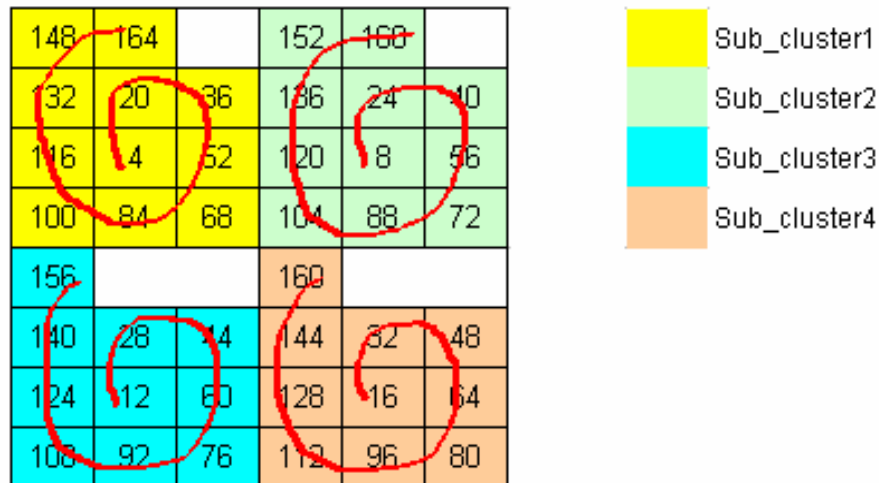


Figure 4.8 - Distribution des cellules dans un motif

Sub_cluster 1											
Sector 1	4	20	36	52	68	84	100	116	132	148	164
Sector 2	172	188	204	220	236	252	268	284	300	316	332
Sector 3	340	356	372	388	404	420	436	452	468	484	500
Sub_cluster 2											
Sector 1	8	24	40	56	72	88	104	120	136	152	168
Sector 2	176	192	208	224	240	256	272	288	304	320	336
Sector 3	344	360	376	392	408	424	440	456	472	488	504
Sub_cluster 3											
Sector 1	12	28	44	60	76	92	108	124	140	156	
Sector 2	180	196	212	228	244	260	276	292	308	324	
Sector 3	384	364	380	396	412	428	444	460	476	492	
Sub_cluster 4											
Sector 1	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	
Sector 2	184	200	216	232	248	264	280	296	312	328	
Sector 3	352	368	384	400	416	432	448	464	480	496	

Tableau 4.2 : Distribution des codes PN selon les Sub-cluster

Le premier secteur 1 prend l'offset N° 0 est égal à 4, pour arriver au prochain secteur 1 on décale par 4 et ainsi de suite, on regroupe les codes selon des sub-clusters qui contiennent les quatre premiers secteurs 1, comme le montre le tableau 4.2 [12].

Pour trouver le code PN des secteurs 2 et 3 il suffit de se décaler de $4 \times 42 = 168$ avec le code du secteur 1. $4 = \text{INC_PILOT}$ et 42 : nombre de codes disponibles pour les attribuer à un secteur.

4-1-3-Planification radio

La procédure de planification radio adoptée dans le projet de la boucle locale radio de Maroc Telecom est légèrement différente de la procédure normale déjà expliquée dans 4-1-2, ceci s'explique par le fait que l'opérateur propose des endroits dont il possède déjà une infrastructure existante (pylône, transmissions ...). Souvent le client propose des sites GSM afin de minimiser les coûts de l'installation d'une nouvelle infrastructure.

Durant ce projet nous avons été chargés d'établir une planification radio de la région de Fès. Pour ce faire, nous commencerons par l'établissement d'une simulation de la couverture, puis par refaire une planification des PN de toute la région (redistribution des PN), afin de garantir une bonne qualité de service tout en minimisant les interférences entre cellules.

➤ Collecte des informations

Cette étape est la plus importante pour assurer un bon départ du projet, elle consiste à collecter les différentes informations d'aide à la planification et au dimensionnement du réseau. Parmi ces informations on trouve les coordonnées GPS des sites existants, la densité des abonnés, le taux de blocage du réseau, le trafic alloué par personne.

Le tableau 4.3 illustre les informations sur les sites en question :

Région	Site Name	Villages	Nombre d'utilisateurs	Type de service
FES	MRIRT RELAIS	EL HAMMAM	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	GSM LAANACEUR	LAANACEUR	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	GSM S.Y.Ouyoussef	SIDI YAHYA OU YOUSSEF	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	GSM Agoudim	AGOUDIM	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	BTS ADREJ	EL ADREJ	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	GSM SAKA	SAKA	200	1xRTT + 1xEV-DO

FES	KSABI GSM	KSABI, TAGHAZOUT, ZABZAT (Not covered), AMERSID	800	1xRTT + 1xEV-DO
FES	AIT OUMGHAR AMRT	AIT OUMGHAR	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	GSM LAMRIJA	LAMRIJA, AIN FRITISSA (Not covered)	400	1xRTT + 1xEV-DO
FES	Traiba	TRAIBA	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	Oulad Daoud bts	OULAD DAOUD	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	Tanzdane	Sidi AMAR	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	GSM Ain Marchouch	Bouarouss	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	EIBouazzaouiyyine	Tnine Boukhayyou	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	Jbelltto	O. MIMOUNE, AIN BOUALI	400	1xRTT + 1xEV-DO
FES	Dar el Hamra	Dar el Hamra	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	AIN TEMGANAY	AIN TEMGANAY	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	OULAD ALI	OULAD ALI	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	SK.Larbaa	SK.Larbaa(Laajajra)	200	1xRTT + 1xEV-DO
FES	Ait Hammi	Aghbalou Aqorar	200	1xRTT + 1xEV-DO

Tableau 4.3: Informations sur les villages

Les statistiques effectuées sur ces villages sont : un utilisateur effectue un appel pendant chaque une heure et chaque appel dure 3 min, il y a aussi le fait que les utilisateurs peuvent

effectuer des appels à travers les téléboutiques, on a trouvé que pendant une heure vingt personnes effectuent des appels qui durent 3 min pour chacun d'eux.

Donc on peut déduire le trafic/personne= $(1 \times 3 \text{min} \times 60) / 3600 \text{s} = 0.05 \text{erlang}$

Et le trafic/téléboutique= $(20 \times 1 \times 3 \text{min} \times 60) / 3600 \text{s} = 1 \text{erlang}$.

En plus de cela, on doit disposer des informations suivantes ainsi les paramètres d'ingénierie illustrés dans le tableau ci-dessous.

La probabilité qu'un utilisateur entre en soft Handoff : 40%.

Fréquence	Modèle de propagation	Configuration de l'antenne	Diagramme de rayonnement
450MHz	Okomura-Hata	Tri-sectorielle	Voir annexe E

Tableau 4.4 : Paramètres utilisées par Huawei dans la BLR

4-1-3-1- Planification de la couverture

➤ Bilan de liaison

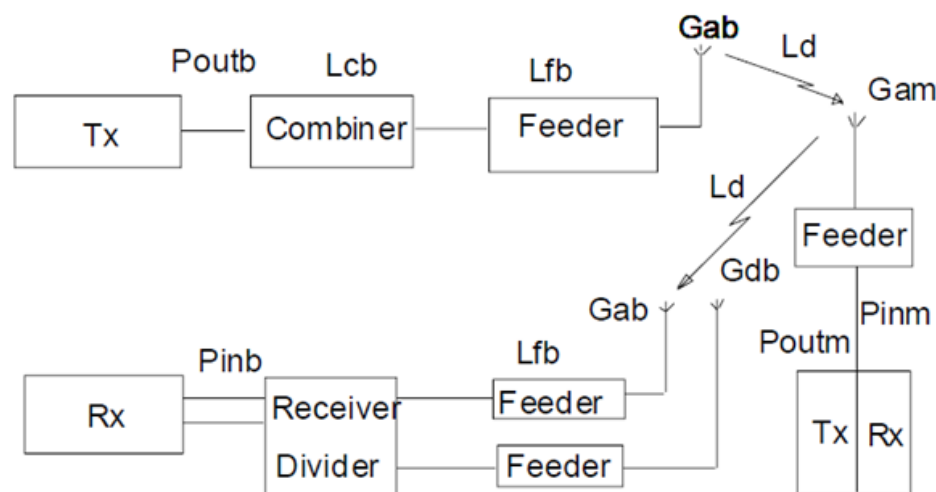


Figure 4.9 - Equilibre de la liaison

P_{outb} : puissance de la BTS

L_{cb} : les pertes dans le combinéur

L_{fb} : perte dû au feeder

P_{outm} : puissance d'émission du MS

P_{inb} : la sensibilité au niveau BTS

G_{ab} : gain de l'antenne BTS

G_{am} : gain de l'antenne MS

G_{db} : gain de l'antenne dû à la diversité

P_{inm} : la sensibilité au niveau MS

L_d : les pertes de la transmission dans l'espace libre

Le modèle de propagation adopté dans le réseau CDMA2000 est Okumara - Hata :

L'expression des pertes L s'écrit sous la forme :

$$L = 69.5 + 26.16 \times \log(f) - 13.82 \times \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \times \log(h_b)) \times \log(d)$$

Avec $a(h_m) = [1.1 \times \log(f) - 0.7] \times h_m - [1.56 \times \log(f) - 0.8]$

Donc $L_d = L - 2 \times \log_{10}^2\left(\frac{f}{28}\right) - 5.4$

f : la fréquence en Mhz

d : la distance entre le MS et la BTS en Km

h_b : la hauteur de la station de base par rapport au sol en mètre.

h_m : la hauteur de la station mobile(MS) par rapport au sol en mètre.

Pour notre cas, les valeurs avec lesquelles on va travailler sont :

$f=450\text{MHz}$; $h_b=1.5\text{m}$; $h_m=40\text{m}$

Donc $a(h_m)=-0.011\text{db}$

et

$L_d = 108.5 + 34.4 \times \log(d)$

Calcul des pertes dans le lien montant :

Poutm (dbm)	23
Pinb (dbm)	-127
Gab (db)	15
Gam (db)	0
Gdb (db)	3
Lcb (db)	4
Lfb (db)	3
P.I.R.E au niveau BTS (dbm)	-138
P.I.R.E au niveau MS (dbm)	23
L_d (db)	161

Tableau 4.5 : Pertes dans le lien montant

On a $Pinb = P.I.R.E_BTS - Lcb - fb + Gab + Gdb$

donc $P.I.R.E_BTS = Pinb + Lcb + Lfb - Gam - Gab$

$P.I.R.E_MS = Poutm + Gam$ on peut déduire les pertes $L_d = P.I.R.E_MS - P.I.R.E_BTS$

Après avoir calculé les pertes on peut déduire le rayon de la cellule CDMA en se basant sur cette formule :

$$L_d = 108.5 + 34.4 \times \log(d)$$

On trouve $d \approx 30\text{Km}$

Calcul des pertes dans le lien descendant:

Poutb (dbm)	43
Pinm (dbm)	-110
Gab (db)	15
Gam (db)	0
Lcb (db)	4
Lfb (db)	3
P.I.R.E au niveau BTS (dbm)	51
P.I.R.E au niveau MS (dbm)	-110
L'_d (db)	161

Tableau 4.6 : Pertes dans le lien descendant

$$\text{P.I.R.E_BTS} = \text{Poutb} - \text{Lfb} - \text{Lcb} + \text{Gab} \quad \text{Et} \quad \text{P.I.R.E_MS} = \text{Pinm} - \text{Gam}$$

Donc les pertes

$$L'_d = \text{P.I.R.E_BTS} - \text{P.I.R.E_MS}$$

On remarque que $L'_d = L_d$ donc la liaison de la transmission est en équilibre, figure 4.9 [14].

Remarque :

En pratique, on juge que le signal sera bien reçu si la sensibilité au récepteur (coté utilisateur) est -90dbm, dans ce cas, le rayon de la cellule est de 10km.

Dans ce qui suit, nous allons détailler la simulation qu'on a fait pour la région de Fès en se basant sur les coordonnées GPS des villages à couvrir, ainsi que ceux des pylônes déjà existants dans toute la région, ceci est adopté afin d'optimiser le temps et le coût des travaux du génie civile. Après avoir tourné la simulation sous le logiciel ATOLL (Annexe I) tout en considérant les paramètres d'ingénierie mentionnés dans la partie précédente, nous avons abouti aux résultats illustrés par les figures 4.10 et 4.11:

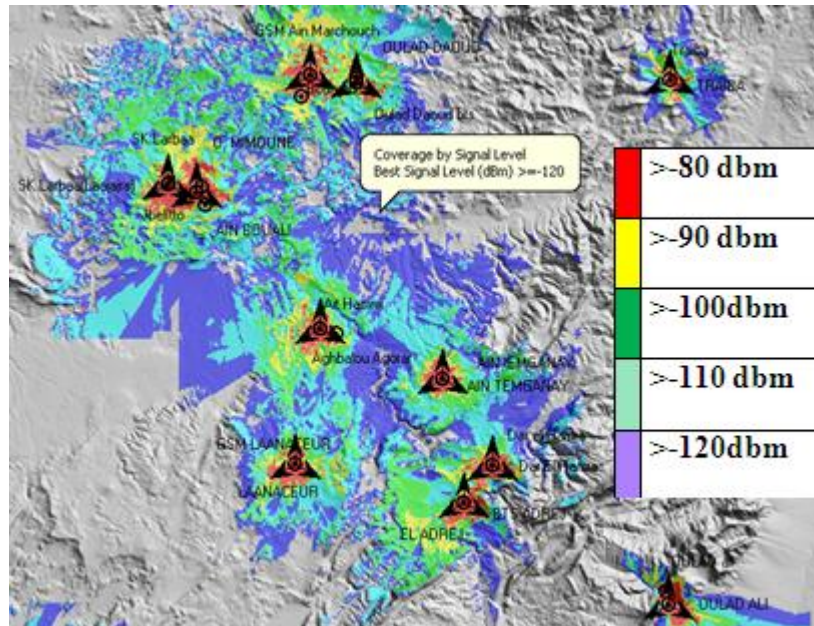


Figure 4.10 - Simulation N° 1 de la couverture

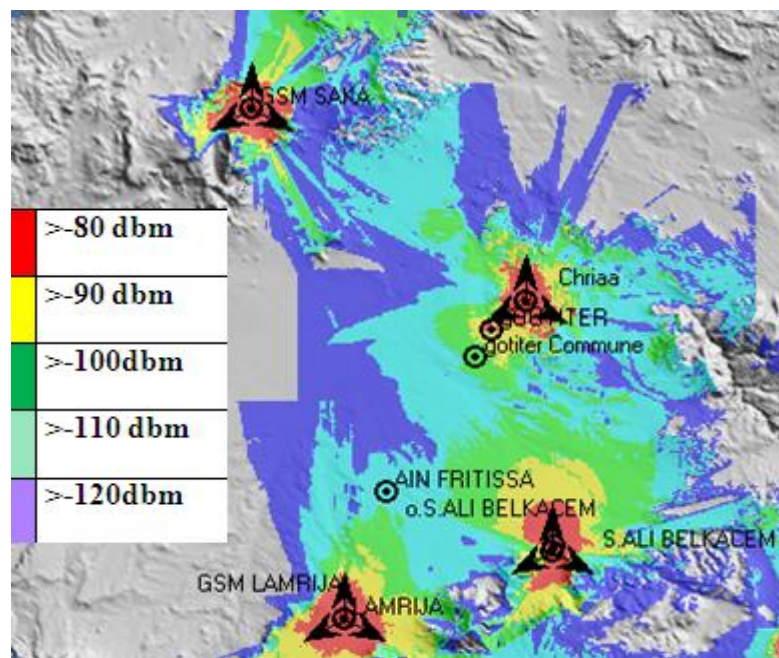


Figure 4.11 - Simulation N° 2 de la couverture

L'objectif de la simulation est de faire arroser le village par un niveau de signal supérieur à -90dBm afin de garantir une meilleure qualité de service.

4-1-3-2- Planification des codes PNs

Les PNs sont des ressources limitées, donc une bonne planification est exigée par les normes de qualité dans le but d'augmenter la qualité de service du réseau. Huawei adopte une approche qui se base sur l'expérience plutôt que sur un calcul mathématique, et afin d'être plus efficace, les normes de qualité de Huawei exige de refaire une planification globale de tout le réseau et ce dans chaque extension. Dans notre cas, nous utilisons cette méthode (4-1-2 Planification des PNs) pour planifier les PNs de la région de Fès. Pour ce faire on va utiliser les PNs illustrés dans le tableau 4.2 [12]. Après avoir attribué tous les PNs, reste à les reconfigurer dans le centre de gestion et de maintenance du réseau. Les tableaux ci-dessous illustrent les PNs attribués aux sites en question.

BTS name	AIN MARCHOUCH	EL BOUAZOUYINE	JBEL ITTO	DAR EL HAMRA	SK LARBAA
PN	4	36	52	84	164

Tableau 4.7: Affectation des codes PN pour le sub-cluster 1

BTS name	GSM SAKA	TRAIBA	OULED DAOUD	AIN TEMGHANY	AIT HAMMI
PN	8	40	88	120	160

Tableau 4.8: Affectation des codes PN pour le sub-cluster 2

BTS name	MRIRT RELAI	GSM LAANACEUR	GSM S.YOUSSEF	GSM AGOUDIM	TANZDANE
PN	12	44	92	124	156

Tableau 4.9: Affectation des codes PN pour le sub-cluster 3

BTS name	BTS ADREJ	KSABI GSM	AIT OUMGHAR	GSM LAMRIJA	OULED ALI
PN	16	48	96	128	160

Tableau 4.10: Affectation des codes PN pour le sub-cluster 4

4-2)- Dimensionnement de la partie BSS

4-2-1- Processus de dimensionnement

Le dimensionnement est l'étape qui vient juste après la planification, et qui consiste à calculer le nombre des cartes et des liens nécessaires à implémenter dans la BTS et le BSC pour répondre aux exigences de l'opérateur en matière de la capacité et la qualité de service.

➤ Dimensionnement de la BTS

Le dimensionnement de la BTS, demande la collection d'un ensemble d'informations nécessaires pour le bon fonctionnement du réseau tout entier.

- ✓ Les services offerts (1x, 1x EV-DO)
- ✓ Une estimation de la capacité de la zone couverte par la BTS.
- ✓ Le trafic qu'il faut allouer à chaque utilisateur
- ✓ La probabilité d'occupation de réseau
- ✓ La configuration des antennes (O1, S1/1/1, S2/2/2.....)

Après la collection des ces informations, on déduit le trafic total par BTS et en utilisant la table d'Erlang B sachant que la probabilité d'occupation est de 2%, on obtient le nombre des circuits CEs nécessaire par BTS. On a besoin de savoir le nombre de CE, il est indispensable pour la détermination du nombre et le type des cartes de HECM et HCPM.

Carte HCPM : elle supporte 285 CE en RL et 256 CE en FL.

Carte HECM : elle supporte 192 CE.

➤ Dimensionnement du RAC

Après avoir dimensionné les BTS, l'étape suivante et de dimensionner le reste du réseau de tel sorte qu'il sera capable de supporter le trafic entrant et sortant dans toutes ces composantes et ces interfaces. Ainsi, le RAC, étant le point où se concentre le trafic de toutes les BTS, devrait être capable de gérer ce trafic dans le souci du bon fonctionnement du réseau. Or le RAC contient des sous-parties dont l'existence et le nombre dépend de la capacité à gérer par ce RAC. Ces parties sont le CIPS, le CRPS et le CSWS. Les deux configurations possibles pour le RAC sont:

- **Configuration petite capacité (40,000 Abonnés)**

- Trafic supporté: $900 \text{ Erlang} \times 4$
- Canaux sur l'Interface Um : $1,350 \text{ TCE} \times 4$ (TCE: unité de traitement de la carte CFMR).
- Transcodeur (TC): $1,024 \times 4$ Unités de transcodage (intégré dans la carte CEVC).
- Suppresseur d'écho (EC): $1,024 \times 4$ appels simultanés.
- Nombre maximal de porteuses : 96×4
- Capacité de liens BTS : $32 \text{ E1} \times 4$
- Capacité de liens PSTN : $32 \text{ E1} \times 4$
- Nombre de circuits d'interface V5 : 960×4
- Nombre de connexions PPP : 60,000
- Débit de service de données offert : 40Mbps

- **Configuration de capacité large capacité (Plus de 160,000 Abonnés)**

Pour une capacité large, CSWS est utilisé.

- Trafic supporté: $900 \text{ Erlang} \times 16$
- Canaux sur l'Interface Um : $1,350 \text{ TCE} \times 16$
- Transcodeur (TC): $1,024 \times 16$
- Suppresseur d'écho (EC): $1,024 \times 16$
- Nombre maximal de porteuses : 96×16
- Capacité de liens BTS : $32 \text{ E1} \times 16$
- Capacité de liens PSTN : $32 \text{ E1} \times 16$
- Nombre de circuits d'interface V5 : 960×16
- Nombre de connexions PPP: fixé selon le besoins réels

L'étape suivante est la détermination du nombre des cartes CFMR à utiliser dans les deux CIPS (voix et données), elles sont responsables du traitement des données. Cette carte doit être bien dimensionnée, d'une part, pour le bon fonctionnement du réseau, et d'autre part pour ne pas faire des dépenses inutiles.

➤ **Dimensionnement des interfaces**

◆ **L'interface Abis**

Pour cette interface, il existe 32 times slots dans les E1. Deux des times slots sont utilisés pour supporter la signalisation, donc il y a 30 times slot disponibles. Le débit de chaque time slot est de 64Kbps. Alors le débit d'un lien E1 est de 1.92Mbps.

◆ **L'interface A10/A11**

D'après la configuration du RAC, il est indispensable de connecter chaque RAC sur les deux PDSN du réseau et avec le même nombre d'E1 pour garder l'équilibre. Le calcul du nombre d'E1 dans l'interface A10/A11 se base sur le trafic global supporté par le RAC. D'après le nombre de BTS, nous sommes en mesure de calculer le trafic total sur le RAC. Puisque le débit de chaque secteur est de 3,1Mbps, Alors, si N est le nombre des BTS, le débit total est $N \times 3 \times 3,1 \text{ Mbps}$.

◆ **L'interface V5**

Le nombre m des liens E1 entre le RAC et le LE se déduit en calculant le nombre N des circuits total à gérer par le RAC et comme chaque E1 contient 32 time slots dont deux sont destinés pour la signalisation et les trente qui restent pour la voix alors le nombre des E1 entre le RAC et le LE est :

$$m = N/30$$

4-2-2- Dimensionnement des équipements et des interfaces

4-2-2-1- Le réseau 1xRTT (service voix et donnée)

➤ **Dimensionnement de l'interface Um**

Procédure :

- Détermination du trafic total E
- En déduire le trafic par secteur $E/3$.
- Détermination du nombre de Walsh à partir de la table d'erlang B avec un taux de blocage de 1%.
- En déduire le nombre de porteuse nécessaire pour écouler le trafic en se basant sur le tableau 4.12 [8].
- Détermination du nombre de CE nécessaire pour écouler le trafic E à partir de la table d'erlang B avec un taux de blocage de 0.1%.

Informations sur la BTS :

1)

	Maximum de Walsh
Omni-sectoriel	51 walsh/secteur
Tri sectoriel	43 Walsh/secteur

Tableau 4.11 : Nombre des Walsh codes disponibles/secteur

2)

Type de configuration	CEs ressources
RC4	64/CSM500 (reverse link)
	32/CSM500 (forward link)

Tableau 4.12 : Nombre de CE disponible dans une cellule

Site name	Trafic total	Nombre de walsh/secteur (1%)	Nombre de CE (0.1%)	Débit/BTS (bit/s)
MRIRT RELAIS	15	11	28	277.6
GSM LAANACEUR	15	11	28	277.6
GSM S.Y.Ouyoussef	15	11	28	277.6
GSM Agoudim	15	11	28	277.6
BTS ADREJ	15	11	28	277.6
KSABI GSM	45	23	65	392.8
AIT OUMGHAR AMRT	15	11	28	277.6
GSM LAMRIJA	25	15	40	316
GSM SAKA	15	11	28	277.6
Traiba	15	11	28	277.6
Oulad Daoud bts	15	11	28	277.6
Tanzdane	15	11	28	277.6
GSM Ain Marchouch	15	11	28	277.6
EIBouazzaouiyine	15	11	28	277.6
Jbelltto	25	15	40	316
Dar el Hamra	15	11	28	277.6
AIN TEMGANAY	15	11	28	277.6
OULAD ALI	15	11	28	277.6
SK.Larbaa	15	11	28	277.6
Ait Hammi	15	11	28	277.6

Tableau 4.13 : Dimensionnement des BTS

Le débit par BTS est calculé par la formule suivante : $D = S \times v \times R + A + B$

S : Trafic total (erl) v : facteur de charge pour la voix (0.4) R : débit de traitement de la voix (9.6kbit/s)

A : débit de la signalisation B : débit de la maintenance A=B=110kbit/s

Pour les données on doit assurer un débit de 153.6kbit/s, donc nous sommes dans l'obligation d'utiliser des codes de Walsh de longueur $SF=W/R=8$ avec W: débit chip 1,2288Mchip/s.

En plus, le traitement de la donnée se fait d'une manière implicite, c'est comme on utilise plusieurs ressources de la voix avec un débit de traitement de 9.6 kbit/s, on déduit le facteur d'étalement qui détermine la longueur des codes utilisés pour étaler le spectre : $SF=W/R=128$.

En respectant la notion des codes OVSF, figure 4.12 [14], cela veut dire afin de préserver l'orthogonalité, lorsqu'on va partir d'un code de longueur 8 pour arriver à un code de longueur de 128 on ne doit pas utiliser les codes qui viennent ci-dessous de ce code, donc on va perdre $128/8=16$ codes.

D'après la configuration précédente, on dispose 43 Walsh codes (figure 4.11 [8]), lorsqu'on perd 16 codes, le reste sera 27, on remarque que ce nombre de code est suffisant pour écouler le trafic de la voix.

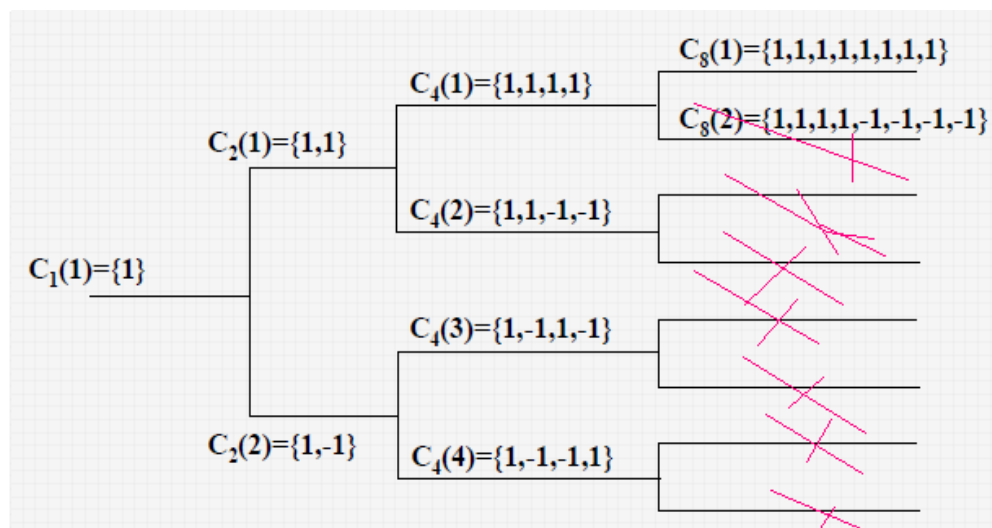


Figure 4.12 - Principe d'utilisation des codes OVSF

➤ Dimensionnement de l'interface Abis

Le débit de chaque E1 est de 2Mbit/s, car un E1 véhicule 32 times slots avec un débit de 64kbit/s pour chacun, donc chaque BTS sera liée avec le BSC par un seul E1 pour circuler le trafic et la signalisation.

On peut vérifier aussi par cette formule : $NE1 = N_{\text{secteur}} \times N_{\text{channel}} / CE1$

Avec N_{secteur} : nombre de porteuse dans un site, dans notre cas on a 3 porteuses.

N_{channel} : nombre de canaux dans une porteuse égal à 40 pour CDMA 1xRTT

$CE1$: la capacité d'un lien E1, chaque lien E1 supporte 120 canaux voix

Donc $NE1 = 3 \times 40 / 120 = 1$

Dans notre projet on travaille avec des BTS de type 3606CE, la carte qui s'occupe du traitement de la voix et des données en CDMA2000 1X est HCPM, pour notre cas on aura besoin d'une seule carte HCPM car elle est largement suffisante.

➤ Dimensionnement du BSC de FES

Le dimensionnement de la capacité des BTS n'est pas suffisant. En effet, il faut s'assurer que le réseau est capable de supporter le trafic (voix et données) entrant et sortant dans toutes ces composantes et ces interfaces. Dans notre cas, nous allons utiliser un seul CRPS et deux CIPS, vu qu'on dispose d'une petite capacité d'abonnés dans les zones rurales de Fès. Un châssis CRPS qui se comporte comme une partie de commande du RAC ne peut supporter que quatre châssis CIPS, et puisqu'on n'utilise qu'un seul CIPS pour la voix et un autre pour le service de donnée, nous n'aurons pas besoin des autres CIPS.

L'étape suivante est la détermination du nombre des cartes CFMR à utiliser dans le CIPS, cette carte est responsable du traitement des données et grâce à elle on détermine la capacité du RAC. Donc elle doit être bien dimensionnée, afin d'assurer un bon fonctionnement du réseau d'une part, et d'autre part pour ne pas faire des dépenses inutiles pour l'opérateur Maroc Telecom. Pour ce faire, on a besoin d'un ensemble de calculs basé sur des paramètres qui sont fixé par Huawei pour ce type de réseau.

- ✓ La probabilité qu'un utilisateur entre en soft-Handoff est de 40%.
- ✓ La probabilité d'occupation est fixée à 2% pour tout le calcul.

La configuration d'un RAC :

Carte CFMR : 450TCE Carte CEVC : 256TC
 CIPS : 642 CIC CAIE CIC: $32 \times 30 = 960$

C X I E / C B I E	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
F	F	F	I	E	E	M	M	E	E	L	S	S	I	A	
M	M	M	W	V	V	U	U	V	V	C	P	P	W	I	
R	R	R	F	C	C	X	X	C	C	B	U	U	F	E	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Figure 4.13 - Disposition des cartes du Châssis CIPS pour la technologie 1xRTT

Le RAC de FES gère 20 BTS, il y a une seule liaison E1 entre chaque BTS et le RAC, le trafic total entrant au RAC est : 350 erlang

Soit N le nombre d'utilisateurs permettant de se connecter au même temps, en CDMA 1xRTT $N=43$, ce qui donne un trafic de 33 erl.

On obtient le nombre de porteuses gérées par le RAC : $350/33=11$ porteuses.

Le nombre total de CE est : $11 \times 43=473$

Avec un pourcentage de 40% de handoff on aura $473 \times (1+40\%)=663CE$

Une carte CFMR supporte 450 TCE, figure 4.13 [9].

Une carte CEVC supporte 256 TC.

Donc on aura besoin de 2 cartes CFMR et 2 cartes CEVC.

Pour les CEVC de décodage de la voix, le *soft-handoff* n'est pas pris en considération puisque le décodage de la voix n'est effectué qu'après l'établissement de la connexion.

Vérification :

2 CFMR TCE: $2 \times 450=900TCE$, l'utilisateur a la possibilité de changer le secteur, donc le nombre vrai est de $900 / (1+40\%)=642TCE$

Or chaque porteuse peut supporter 40 appels simultanés, donc un RAC peut supporter jusqu'à $642/40=16$ porteuses.

On peut déduire le trafic total supporté par un RAC : **erl (40,2%) $\times 16=31 \times 16$ qui est 496 erl.**

4-2-2-2- Le réseau CDMA2000 EV-DO (service donnée)

➤ Dimensionnement de l'interface Um

√ Estimation du trafic dans le lien montant

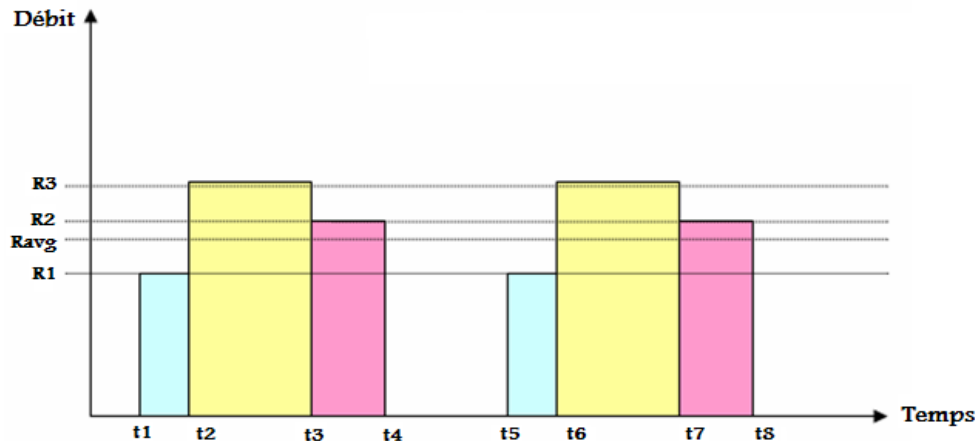


Figure 4.14 - Relation entre le téléchargement des utilisateurs et le débit

Supposons que la figure 4.14 [14] montre la procédure de téléchargement des données par un utilisateur dans les heures chargées, BH (Basy Hour). L'utilisateur télécharge les données à partir du moment t_1 jusqu'au moment t_2 et de t_5 à t_6 à un débit de R_1 , de t_2 à t_3 et de t_6 à t_7 à un débit de R_3 et de t_3 à t_4 et de t_7 à t_8 à un débit de R_2 . Le Throughput du lien descendant, FL, Forward Link dans les heures chargées par utilisateur (bps) est :

$$FL_BH_Troughput_par_utilisateur = \frac{BH_Troughput_par_utilisateur(bps)}{3600\ s}$$

$$= \frac{(t_2 - t_1 + t_6 - t_5) \times R_1 + (t_3 - t_2 + t_7 - t_6) \times R_3 + (t_4 - t_3 + t_8 - t_7) \times R_2}{3600\ s}$$

Donc le débit moyen dans le lien descendant est :

$$= \frac{(t_2 - t_1 + t_6 - t_5) \times R_1 + (t_3 - t_2 + t_7 - t_6) \times R_3 + (t_4 - t_3 + t_8 - t_7) \times R_2}{t_4 - t_1 + t_8 - t_5}$$

Les caractéristiques des communications mobiles montrent que les utilisateurs communiquent avec de différentes vitesses de déplacement.

Comme les systèmes CDMA2000 1x, la capacité des systèmes 1xEV-DO est liée à la vitesse de déplacement.

Distribution des utilisateurs		Distribution des utilisateurs par Service	WEB	VOIP
Vitesse (km/h)	0	FL BH Throughput par utilisateur (bps)	100	100
Pourcentage des utilisateurs avec la vitesse 0 km/h (%)	90	Pourcentage des utilisateurs Du service (%)	70	30
Vitesse (km/h)	3	FL BH Throughput par utilisateur (bps)	100	100
Pourcentage des utilisateurs avec la vitesse 3 km/h (%)	10	Pourcentage des utilisateurs du service (%)	70	30
Pourcentage des utilisateurs (%)			70	30

Tableau 4.14 : Pourcentage de distribution des utilisateurs

Le pourcentage des utilisateurs est calculé par la formule ci-dessous :

$$\sum(\text{Pourcentage des utilisateurs avec la vitesse}(\%) \times \text{pourcentage des utilisateurs du service}(\%))$$

FL_BH_Throughput_par_utilisateur (bps) : indique la moyenne du throughput par utilisateur dans les heures chargées du lien descendant.

$$FL_BH_Throughput_par_utilisateur \text{ (bps)} = \frac{\text{Totale_telechargement_dans_heure_chargée}(\text{bit})}{3600 \text{ s}}$$

	WEB	VOIP
Débit moyen dans le RL (kbps)	26.95	7.2

Tableau 4.15 : Moyenne des débits dans la voie montante

		WEB	VOIP
0 km/h	Nbre Erlang par utilisateur dans HC (mE)	3.710575139	13.88888889
	Débit moyen par utilisateur (kbps)	26.95	7.2
	Throughput par utilisateur dans HC (bps)	100	100
	Pourcentage des utilisateurs du service (%)	70	30
3km /h	Nbre Erlang par utilisateur dans HC (mE)	3.710575139	13.88888889
	Débit moyen par utilisateur (kbps)	26.95	7.2
	Throughput par utilisateur dans HC (bps)	100	100
	Pourcentage des utilisateurs du service (%)	70	30
Throughput mixte par utilisateur dans HC^2 (bps)		100	

Tableau 4.16 : Volume du trafic à différentes vitesses

$$\text{Nombre Erlang par utilisateur dans heure chargée(mE)} = \frac{\text{Throughput par utilisateur dans heure chargée(bps)}}{\text{Débit moyen par utilisateur(kbps)}}$$

Throughput mixte par utilisateur dans HC(bps)

$$= \sum (\text{pourcentage des utilisateurs avec la vitesse} \times \text{pourcentage des utilisateur du service} \times \text{Throughput par utilisateur dans HC})$$

		WEB	VOIP
0km/h	Nbre d'Erlang par utilisateur dans l'heure chargée (mE)	2.337662338	3.75
3 km/h	Nbre d'Erlang par utilisateur dans l'heure chargée (mE)	0.25974026	0.41666667
Nbre moyen d'Erlang dans HC (mE)		6.764069264	

Tableau 4.17: Trafic des utilisateurs à différentes vitesses

NbreErlang dans heure chargée (mE) = (Pourcentage des utilisateurs avec la vitesse

×Pourcentage des utilisateurs du service ×NbreErlang par utilisateur dans heure chargée)

√ Estimation du trafic dans le lien descendant

	WEB	VOIP
Débit moyen dans le FL (kbps)	40	9.6

Tableau 4.18 : Moyennes des débits des utilisateurs dans la voie descendante

		WEB	VOIP
0 km/h	Nbre Erlang par utilisateur dans HC (mE)	25	104.1666667
	Débit moyen par utilisateur (kbps)	40	9.6
	Throughput par utilisateur dans HC (bps)	1000	1000
	Pourcentage des utilisateurs du service (%)	70	30
3km /h	Nbre Erlang par utilisateur dans HC (mE)	25	104.1666667
	Débit moyen par utilisateur (kbps)	40	9.6
	Throughput par utilisateur dans HC (bps)	1000	1000
	Pourcentage des utilisateurs du service (%)	70	30
Throughput mixte par utilisateur dans HC ² (bps)		1000	

Tableau 4.19 : Distribution du trafic des utilisateurs

		WEB	VOIP
0km/h	Nbre d'Erlang par utilisateur dans l'heure chargée (mE)	15.75	28.125
3 km/h	Nbre d'Erlang par utilisateur dans l'heure chargée (mE)	1.75	3.125
Nbre moyen d'Erlang dans HC (mE)		49.96266234	

Tableau 4.20 : Distribution du trafic des utilisateurs à différentes vitesses

La moyenne du trafic dans les heures chargées est la somme des trafics générés aux différentes vitesses et pour les différents services. Pour le lien montant, le trafic moyen par utilisateur est de 6.76mE, et pour le lien descendant il est égal à 49.96 mE, donc on peut déduire le throughput par BTS par les deux relations :

$$\text{Troughput_par_BTS (erlang)} = (\text{Nombre d'utilisateurs par BTS} \times 6.76) / 1000$$

pour le sens montant

$$\text{Troughput_par_BTS (erlang)} = (\text{Nombre d'utilisateurs par BTS} \times 49.96) / 1000$$

pour le sens descendant.

Le nombre de CE sera déterminé à partir du Troughput par BTS en utilisant la table d'Erlang B avec un taux de blocage de 2%, les résultats sont illustrés dans le tableau 4.21 :

site name	Troughput/BTS(RL) erl	Troughput/BTS(FL) erl	Nbre de CE (RL)	Nbre de CE (FL)
MRIRT RELAIS	1.352813853	9.992532468	5	17
GSM LAANACEUR	1.352813853	9.992532468	5	17
GSM S.Y.Ouyoussef	1.352813853	9.992532468	5	17
GSM Agoudim	1.352813853	9.992532468	5	17
BTS ADREJ	1.352813853	9.992532468	5	17
KSABI GSM	5.411255411	39.97012987	10	50
AIT OUMGHAR AMRT	1.352813853	9.992532468	5	17
GSM LAMRIJA	2.705627706	19.98506494	7	28
GSM SAKA	1.352813853	9.992532468	5	17
Traiba	1.352813853	9.992532468	5	17
Oulad Daoud bts	1.352813853	9.992532468	5	17
Tanzdane	1.352813853	9.992532468	5	17
GSM Ain Marchouch	1.352813853	9.992532468	5	17
ElBouazzaouiine	1.352813853	9.992532468	5	17
Jbelltto	2.705627706	19.98506494	7	28
Dar el Hamra	1.352813853	9.992532468	5	17
AIN TEMGANAY	1.352813853	9.992532468	5	17
OULAD ALI	1.352813853	9.992532468	5	17
SK.Larbaa	1.352813853	9.992532468	5	17
Ait Hammi	6.764069264	49.96266234	5	17

Tableau 4.21 : Dimensionnement des BTS pour le service EV-DO

➤ **Dimensionnement du lien Abis**

Le débit maximum de l'EV-DO Revision A est de 3.1 Mbit/s, c'est une valeur théorique qui n'est pas atteinte en réalité.

Pour une configuration S (1, 1,1), le throughput total de tous les secteurs est $3 \times 3.1 = 9.3 \text{ Mbit/s}$, or un lien E1 peut supporter jusqu'à 2Mbit/s, donc 5 liens E1 seront suffisants pour véhiculer le volume de trafic dans le lien Abis.

Dans notre cas on implémentera une seule carte HECM dans la BTS.

➤ **Dimensionnement du BSC**

Pour dimensionner le RAC nous devons connaître le trafic qui circule à travers le BSC. C'est-à-dire le trafic qui provient des BTS et allant vers elles.

Après avoir calculé le trafic total circulant, il faut prendre en considération le soft handoff, pour cela il faut prendre un pourcentage de 40%.

Le nombre total des utilisateurs géré par le BSC de FES est 5000, le trafic total circulant est 283.63erl, avec l'effet de Hand off on aura $283.63 \times (1+0.4) = 397 \text{ erl}$

Dans chaque secteur des BTS 59 utilisateurs peuvent se connecter en même temps sur le service 1xEV-DO, si les circuits sont dédiés alors on doit avoir 59 circuits.

Avec une probabilité de perte de 2 % et en utilisant la table d'erlang B on a un trafic de 48,7Erlang.

Ce trafic est le trafic moyen dans une porteuse.

Alors le nombre de porteuse qu'on devrait avoir est $397/48.7 = 9$

Le nombre de CE est $9 \times 59 = 531$, en considérant l'effet du hand-off on aura un nombre de CE égal : 744 CE, donc on peut déduire le nombre des cartes CFMR.

On devrait implémenter 2 cartes CFMR dans le CIPS donnée, figure 4.15 [9].

C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
B	F	F	F	F	F	F	M	M	F	F	F	S	S	F	A
I	M	M	M	M	M	M	U	U	M	M	M	P	P	M	I
E	R	R	R	R	R	R	X	X	R	R	R	U	U	R	E
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Figure 4.15 - Disposition des cartes du Châssis CIPS pour la technologie 1x EV-DO

➤ Dimensionnement du lien A10/A11

La configuration du RAC est faite de telle sorte que la moitié des utilisateurs se connectent sur le nouveau PDSN tandis que les autres se connectent sur l'ancien.

Cette configuration permet d'utiliser les PDSN de façon équitable.

Il existe un routeur dans chaque RAC, et quatre routeurs au niveau du site **SOEKARNO**, deux d'entre eux contiennent chacun 12 ports E1, et sont branchés à l'ancien PDSN. Les deux autres routeurs, d'une capacité de 56 ports E1 chacun, sont branchés au nouveau PDSN. Ce qui fait que le total des E1 sur le site **SOEKARNO** est de 130 E1. Ce nombre est extensible, et ces E1 sont destinés pour être connectés aux différents RAC. D'après la configuration du RAC, il est indispensable de connecter chaque RAC sur les deux PDSN et avec le même nombre d'E1, afin de garder l'équilibre.

Mais vu la nature des routeurs de **SOEKARNO**, cet équilibre ne peut être maintenu à cause de la différence du nombre des ports disponible dans les routeurs connectés à chaque PDSN.

En augmentant le nombre d'E1, le routeur de l'ancien PDSN sera saturé. Ce qui mettra toute la pression sur le nouveau PDSN.

Le calcul du nombre des E1 dans l'interface A10/A11 se base sur le trafic global dans le RAC, dans notre cas le débit total est : $20 \times (3 \times 3.1) = 186 \text{ Mbit/s}$

Donc le nombre des E1 à implémenter sur chaque interface A10/A11 sera $186/2=93$

➤ Dimensionnement de l'interface V5

Le nombre des liens E1 de l'interface V5 se calcule par la relation suivante : $m=N/30$

Avec N : le nombre des circuits gérés par le BSC de FES est égal à 504 CE.

Donc le nombre des liens E1 est 17.

4-3)- Qualité de service dans le réseau CDMA2000

4-3-1- Optimisation d'un réseau CDMA2000

Dans tout système, la mesure des performances est primordiale pour le bon suivi des opérations d'exploitation et de maintenance. Ainsi, l'évaluation des performances du réseau d'accès radio CDMA, permet à l'opérateur, d'identifier les problèmes du réseau que le système de gestion automatique d'anomalies de l'OMC n'arrive pas à détecter. L'information recueillie tient compte de plusieurs aspects du réseau, afin qu'après analyse détaillée de la mesure, on puisse procéder à

une optimisation des paramètres du réseau. Ces mesures donnent ainsi des idées au sujet de la charge dans les cellules radio, des congestions dans le système, des performances de Handovers, et au sujet de beaucoup d'autres aspects. Des contrôles de performance réguliers doivent être effectués après la mise en marche du réseau et continuellement. Ces contrôles comprennent aussi bien l'évaluation de données statistiques rassemblées dans les opérations d'exploitation et de maintenance du centre de l'OMC, que les mesures directes au moyen des drives test. En effet, les alarmes de l'OMC ne fournissant pas toutes les informations requises pour un meilleur diagnostic de l'état du réseau, les indicateurs de performances sont visualisés chaque 24 heures pour un suivi journalier et toutes les heures pour un suivi 'temps réel'. Ainsi, dans ce chapitre, nous commencerons par lister les principaux indicateurs clés de performance KPI pris en compte lors de l'optimisation du réseau, nous mettrons le point, par la suite, sur les drives tests vu leur rôle important dans le maintien de la qualité de service, pour enfin élaborer un cycle d'optimisation en se basant sur les KPI et sur les informations extraites du Drive Test.

Le suivi du réseau CDMA est fait en permanence grâce aux indicateurs de performances. Ces indicateurs sont très variés et touchent à toutes les composantes du réseau. Les indicateurs les plus utilisés sont présentés ci-dessous. En fait, le but de cette partie est de définir les indicateurs de performances clés du sous-système radio, cependant le plus important sera de les corrélérer pour en tirer de précieuses informations sur la qualité, les performances, la capacité du réseau etc.

4-3-2- Indicateurs de performance du réseau (KPI) [16]

Il existe plusieurs KPI qui reflètent la performance du réseau, nous citerons ici les plus importants :

Call Setup Success Rate

Le CSSR représente le taux d'établissement d'appel, le rapport entre le nombre d'appels réussis et le nombre des tentatives d'appels :

$$\text{CSSR} = \frac{\sum \text{SuccessNum}}{\sum \text{RequestNum}} \times 100\%$$

Access Failure Rate

L'AFR représente le pourcentage des tentatives d'appels qui ont échouées, c'est le rapport entre le nombre de tentative d'appels échoués sur le nombre total des tentatives d'appel :

$$AFR = \frac{\sum AccessFailureNum}{\sum RequestNum} \times 100\%$$

Drop Call Rate (DCR)

Le DCR mesure le pourcentage des MS qui ont eu des interruptions d'appels anormales : Le MS a réussi à établir l'appel, mais suite à un problème (Radio, Transmission...), il y a eu une coupure d'appel. Le DCR est le rapport des coupures TCH sur le nombre d'appels effectivement terminé :

$$DCR = \frac{\sum DropNum}{\sum RequestSuccessNum} \times 100\%$$

Call Setup Time (CST)

Le CST représente le temps nécessaire pour l'établissement de l'appel.

Packets Lost Rate (UL and DL)

Le PLR représente le taux des paquets perdus sur le nombre total des paquets envoyés, il est mesuré pour les deux sens : uplink et en downlink.

Mobile Rx Power

Il représente la puissance reçue par le mobile.

Mobile Tx Power

Il représente la puissance transmise par le mobile.

Composite EcIo

Le EcIo représente le taux de l'énergie par chip sur les interférences, le mobile le reçoit sur le canal pilot.

C/I

Le C/I représente le taux de l'énergie par carrier sur les interférences, il mesure la puissance du canal pilot.

Rx RLP Throughput

Il représente le débit reçu par le mobile sur le lien descendant.

Frame error rate (FER)

Le FER représente le taux d'erreur par trame.

Intra BSC Soft Hand-off Success Rate

Il représente le taux de succès des Soft Hand-off au sein de la même BSC :

$$\text{Intra BSC Soft Hand-off Success Rate} = \frac{\sum \text{SuccessSoftHandOff}}{\sum \text{SoftHandOf}} \times 100\%$$

Inter BSC Soft Hand-off Success Rate

Il représente le taux de succès des Soft Hand-off entre différentes BSC :

$$\text{Inter BSC Soft Hand-off Success Rate} = \frac{\sum \text{SuccessSoftHandOff}}{\sum \text{SoftHandOf}} \times 100\%$$

Intra BSC Hard Hand-off Success Rate Il représente le taux de succès des Hard Hand-off au sein de la même BSC : Intra BSC Soft

$$\text{Hand-off Success Rate} = \frac{\sum \text{SuccessHardHandOff}}{\sum \text{HardHandOf}} \times 100\%$$

Inter BSC Hard Hand-off Success Rate Il représente le taux de succès des Soft Hand-off entre différentes BSC :

$$\text{Inter BSC Soft Hand-off Success Rate} = \frac{\sum \text{SuccessHardHandOff}}{\sum \text{HardHandOf}} \times 100\%$$

Conclusion Générale

Au terme de ce projet de fin d'études, on a tout d'abord mis en lumière les caractéristiques de la technique CDMA ainsi que la Boucle Locale Radio de Maroc Telecom, puis on a redimensionné le réseau CDMA2000 après avoir intégré de nouvelles BTS dans le réseau existant.

Par ailleurs, à travers ce rapport nous ne prétendons pas avoir couvert toutes les notions liées au domaine, mais bien sûr, nous avons essayé d'aller au long des notions dont nous avons eu réellement l'expérience pratique de proche ou de loin. Toutefois, le projet est toujours en cours d'élaboration, d'autres notions et connaissances nous attendent et encore d'autres outils dont dispose le département RAN de Huawei, attendent toujours l'expertise de nouveaux ingénieurs.

En effet, après avoir analysé les paramètres d'ingénierie utilisés dans ce type de réseau, nous avons constaté une distribution arbitraire des PN, cette dernière influence sur le travail d'ingénieur de planification d'une manière négative ce qui nous pousse à penser à des algorithmes qui peuvent faciliter la tâche. Ainsi, positionner la technologie CDMA2000 comme un potentiel évolutif qui permet d'élaborer la base des futurs réseaux mobiles en vue de supporter les services et applications évolués.

Ce stage nous a été très instructif, dans la mesure où il nous a permis de côtoyer le domaine professionnel, et d'enrichir nos connaissances théoriques et pratiques relatives au domaine des technologies d'accès radio. D'une part, il nous a permis de découvrir une nouvelle technologie « CDMA2000 » assez importantes dans le domaine de la télécommunication, d'autre part on a pu suivre de près les étapes de la mise en place d'un site BTS « HUAWEI », en commençant par la planification, le dimensionnement, ensuite le déploiement et enfin l'optimisation d'un réseau d'accès CDMA2000.

Annexes

Annexe A - Déroulement de stage

Le stage a démarré le 01 Mars 2010 jusqu'au 01 Juillet 2010 au sein de l'équipe CDMA de Huawei. Le déroulement du stage est illustré dans le graphe suivant :

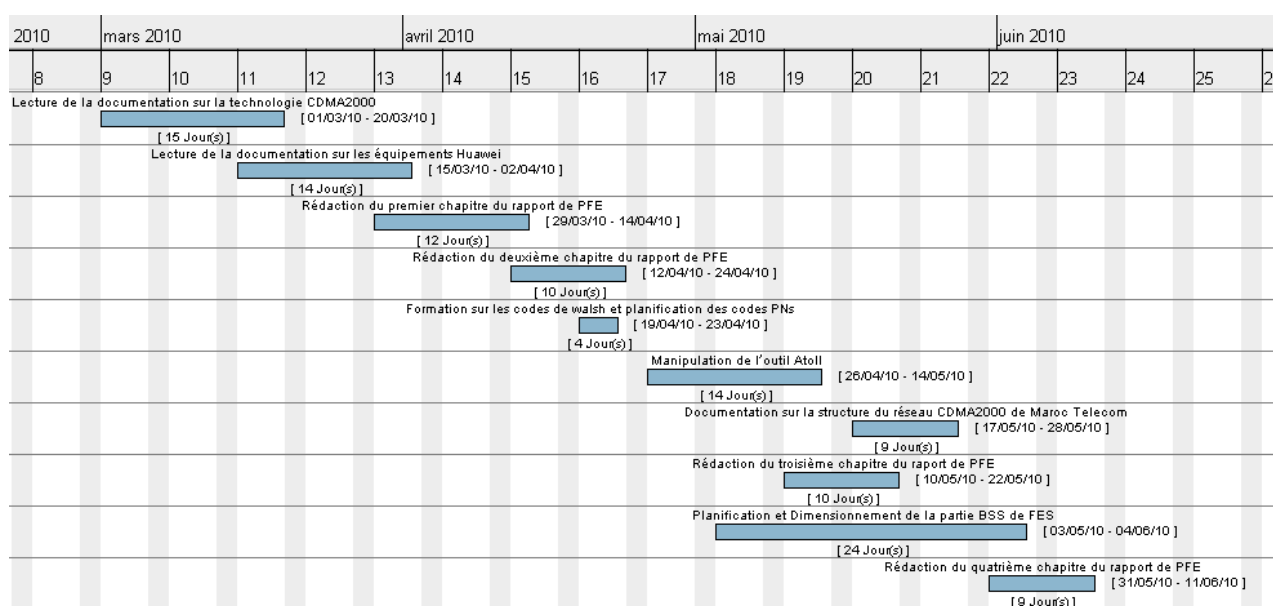


Figure A.1 – Diagramme de Gantt

Annexe B - Etapes de la mise en place d'un réseau CDMA2000

Le déploiement du réseau CDMA2000 est un projet qui a débuté en Mars 2006, l'opérateur Maroc Télécom a adopté la solution CDMA2000 proposée par l'équipementier HUAWEI Technologies pour desservir les zones rurales dont les conditions géographiques ne permettent pas l'utilisation du filaire. Dans ce paragraphe on va décrire en bref les différentes étapes nécessaires pour la mise en place de ce réseau.

La figure B.1 donne une aperçue sur la succession des étapes déjà citées :



Figure B.1 – Etapes de projet

1. Signature de contrat

Cette étape représente le point de départ du projet, le contrat se définit comme une convention formelle ou informelle, passée entre les deux parties (Maroc Telecom et Huawei Technologies) ou davantage, ayant pour objet l'établissement d'obligations à la charge ou au bénéfice de chacune de ces parties.

2. Planification

Le but de cette étape est d'évaluer le nombre de sites nécessaires pour garantir les exigences, en termes de couverture et qualité de service de l'opérateur, et de déterminer les équipements nécessaires en évaluant leurs charges et leurs capacités requises.

3. Site Survey

C'est une étape d'inspection. Après que les équipes de planification ont sorti les paramètres nécessaires, des équipes de vérification sont mobilisés pour s'assurer de la compatibilité des sites aux données de la planification. C'est une étape préliminaire à toute intervention.

Elle consiste à vérifier l'adaptation de la zone où est planifiée l'installation de la BTS ou du BSC et de prendre les mesures nécessaires à l'installation. De vérifier notamment la disponibilité de l'énergie et la transmission.

4. Livraison des équipements

La plupart des tâches d'installations matérielles sont sous-traités par des sociétés d'installations à fin de réduire les besoins en gestion des ressources Cette étape de livraison des équipements HUAWEI se fait à partir des dépôts de Maroc Telecom au profil de ces sociétés.

5. L'installation de matériel

C'est le travail des sous traitants, il inclut l'installation des BTS, et des BSC.

6. Configuration de matériel

Après avoir installer les équipements et vérifier leur qualité et performance d'installation. Et après que la disponibilité de transmission est assurée entre la BTS et le BSC l'installation software a eu lieu.

7. Commissioning

Cette tâche est assignée aux sous traitants de la société HUAWEI Consiste à la mise en service des différents équipements installés.

8. Acceptance

Cette étape Consiste à s'assurer du bon fonctionnement du site installé, cette vérification nécessite la présence des trois partie : Maroc Telecom, HUAWEI Technologies, et le sous traitant du site.

9. Maintenance

Dans une durée de deux ans après l'étape d'Acceptance (sur contrat), et dans le cas de problème de défaillance d'un équipement dans un site, la société HUAWEI prend en charge la réparation ou la substitution du matériel en question.

La vérification de l'installation, la configuration et les tests de la mise en service sont des tâches qui impliquent des connaissances nécessaires à l'ingénieur d'implémentation ou de suivies techniques.

ANNEXE C – Comparaison entre CDMA 1x et CDMA EV-DO

	CDMA2000 1x EV-DO	CDMA2000 1x
Multiple access mode	Forward time division + code division; reverse code division	Forward and reverse CDMA
Service characteristics	Support packet data service	Support both voice service and packet data service
Peak forward rate	2.4576Mbps	307.2kbps
Chip rate/carrier	1.2288Mcps/1.25MHz	1.2288Mcps/1.25MHz
Encoding code	Turbo coding	Convolutional coding and Turbo coding
Modulation mode	Forward QPSK, 8-PSK and 16-QAM; reverse BPSK	Forward QPSK and reverse HPSK
Frame length	26.667ms	5ms, 20ms, 40ms and 80ms
Power control	Forward link: transmit with maximum power and there is no power control. Reverse link: open and closed loop power control	Forward link : closed loop power control and fast forward power control Reverse link : open and closed loop power control
Handoff	Forward link : virtual (softer) soft handoff Reverse link : soft handoff, softer handoff and hard handoff	Both forward and reverse links: soft handoff, softer handoff and hard handoff

Tableau C.1 : Comparaison entre la technologie CDMA2000 EV-DO et CDMA2000 1x [10]

ANNEXE D - Description et fonctionnement de la BTS 3606CE

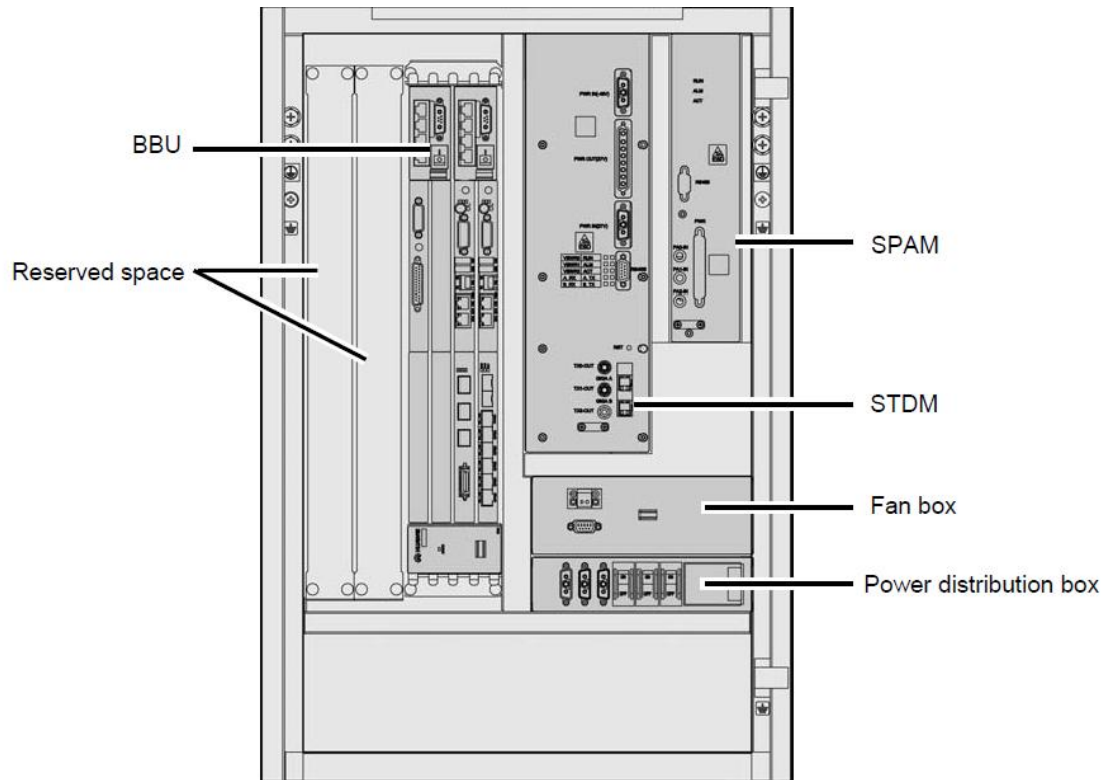


Figure D.1: Description des composants de la BTS 3606CE [13]

Composant	Description
SPAM	Amplifier le signal de sortie modulé RF par le STDM et surveille la puissance.
STDM	Recevoir et envoyer des signaux radios pour établir la communication entre le réseau d'accès et le MS.
FAN	Gérer les ventilateurs de la dissipation de la chaleur.
BBU3900	Améliorer la gestion des ressources, il effectue la maintenance et surveille l'environnement pour la BTS.
DC-PDU	Module d'alimentation, il supporte une entrée DC et plusieurs sorties DC

Tableau D.1: Fonctions des composants principales de la BTS 3606CE [13]

Module	Description	Fonction
CMPT	Module de traitement et de la transmission.	Traiter et assurer la transmission des données entre la BTS et le BSC, ainsi il contrôle et gère toute la BTS.
HCPM	Module de traitement des canaux 1X.	Traiter les données pour le service 1X.
HECM	Module de traitement des canaux EV-DO	Traiter les données pour le service EV-DO.
UTRP	Unité de traitement universelle pour l'extension de la transmission.	Fournir une connexion entre le BBU3900 et le BSC.
UBRI	Unité universelle pour l'extension de l'interface radio.	Partage des codes PNs, ainsi la distribution des données en bande de base.
UEIU	Unité d'interface avec l'environnement.	Fournir un port de control d'environnement pour le BBU 3900.
UELP	Unité de la protection d'E1/T1 contre les surtensions.	Fournir une protection des signaux E1/T1 contre les surtensions.
UFLP	Unité de la protection de FE/GE contre les surtensions.	Fournir une protection des signaux FE contre les surtensions.
FAN	Ventilateurs de BBU3900.	Responsable de la dissipation de la chaleur pour le BBU3900.
UPEU	Unité d'interface avec l'environnement et fournir une alimentation universelle.	Convertir -48 V DC ou +24V DC à +12 V DC et fournir un port des signaux de control de l'environnement pour le BBU3900.
USCU	Carte satellite et horloge universelles.	Fournir des ports d'entrées pour les signaux externes (y compris le signal d'horloge du satellite) ainsi un signal d'horloge de synchronisation pour le BBU3900 et le module RF connecté au BBU3900.

Tableau D.2: Description des composants de BBU3900 [13]

ANNEXE E – Diagramme de rayonnement

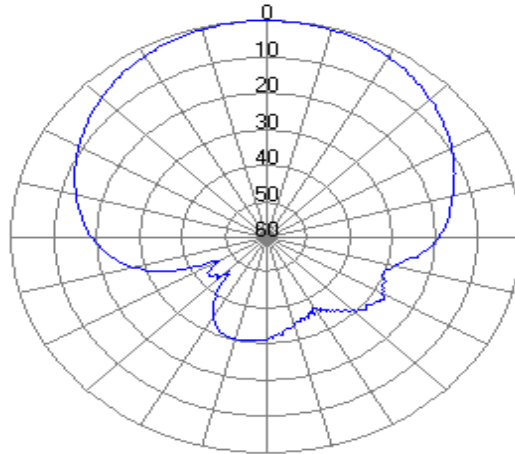


Figure E.1 : Diagramme horizontale [1]

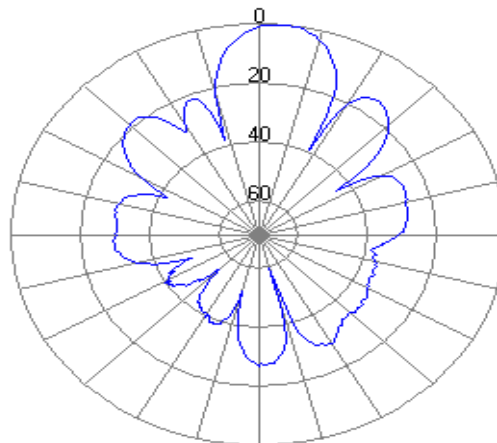


Figure E.2 : Diagramme vertical [1]

ANNEXE F – Architecture d'une station de base

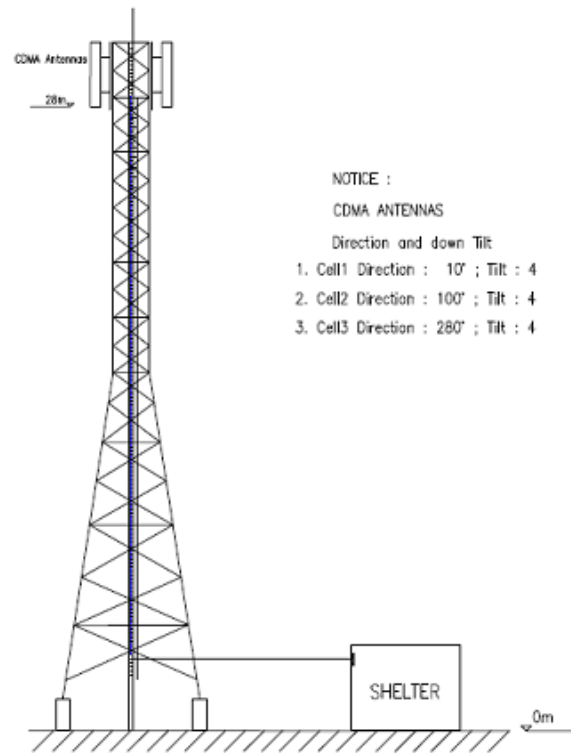


Figure F.1 – Antenne et Cabinet de la BTS [8]

Annexe G - BTS configurations

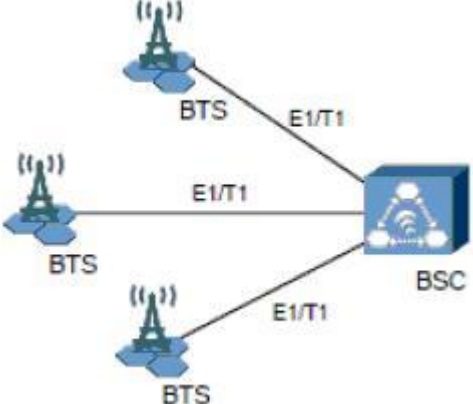
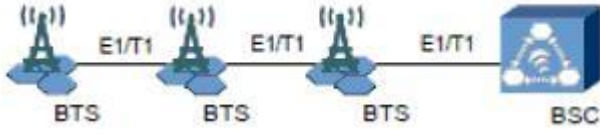
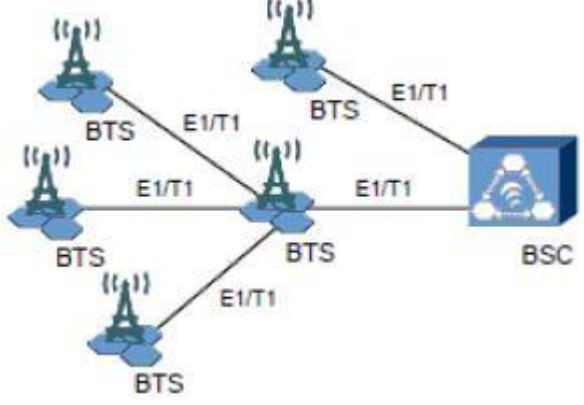
Caractéristiques	Configurations
<ul style="list-style-type: none"> • Applicable dans des occasions bien précises (milieux dense-urbains) • Lorsque un grand nombre d'abonné ou un trafic élevé dans tous les sites. • Facilité d'expansion et de maintenance. • Gourmande en termes de ressources en transmission 	 <p>Configuration en étoile</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Applicable dans la zone faiblement peuplées (suburbain) • On ne peut pas excéder trois BTS en série. • Optimisation des ressources en transmission. 	 <p>Configuration en chaîne</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Applicable dans des larges zones faiblement peuplées (milieux ruraux). • On ne peut pas excéder trois BTS en série. • Elle demande moins de ressources en transmission que celle en étoile. 	 <p>Configuration en arbre</p>

Tableau G.1 : Différentes configurations des BTS [1]

ANNEXE H – Architecture interne du RAC

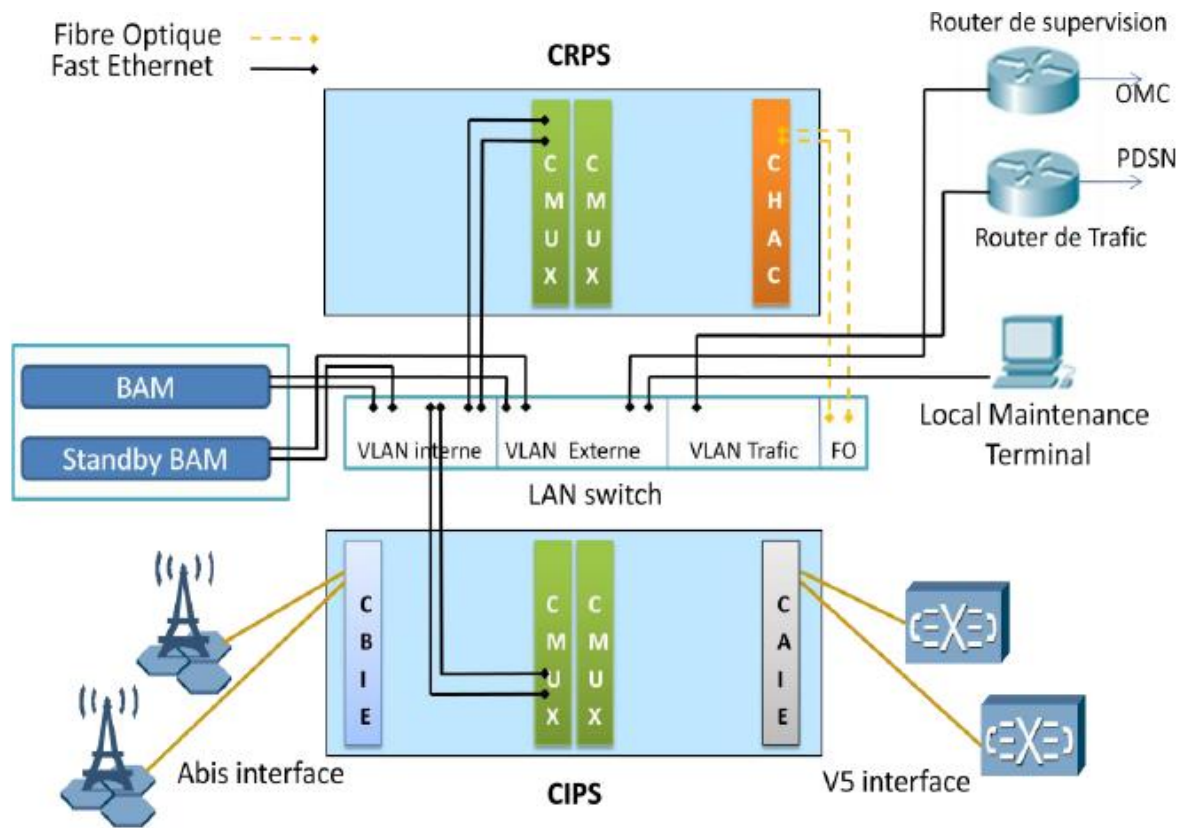


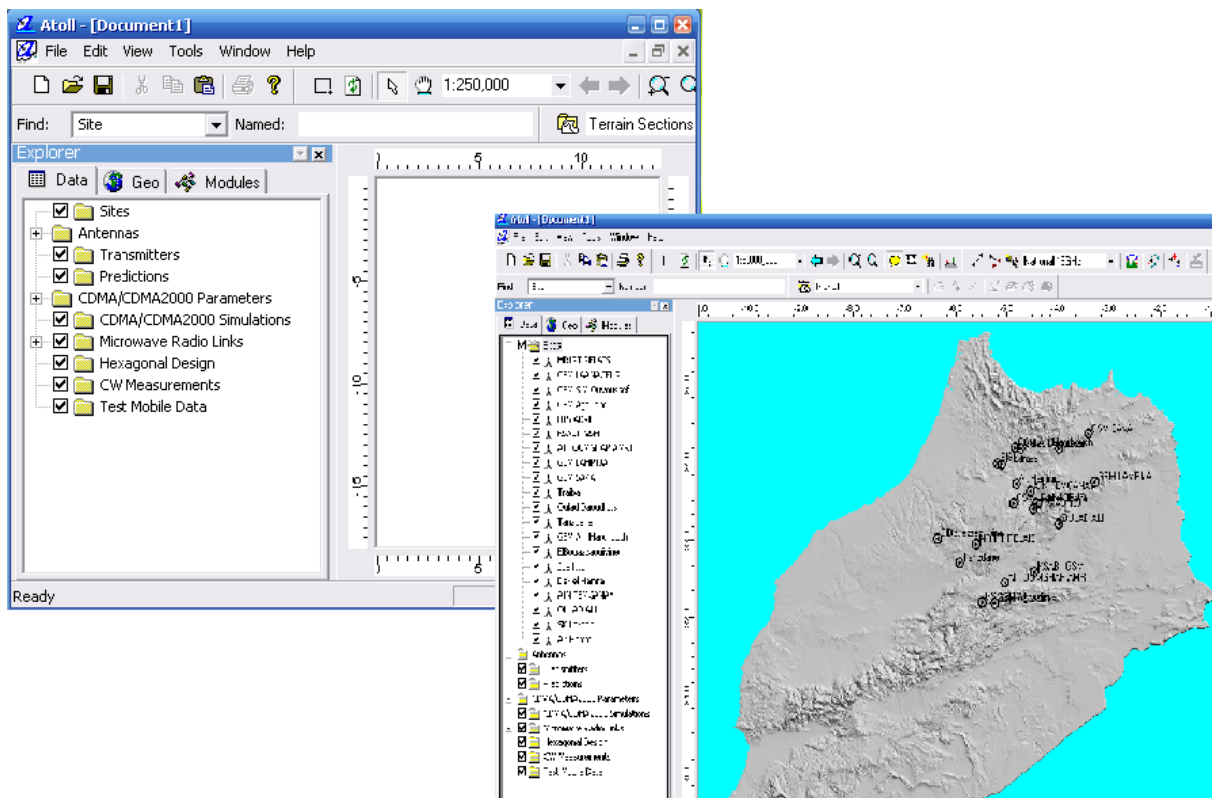
Figure H.1 - Architecture interne du RAC6610 [9]

ANNEXE I – ATOLL

ATOLL est un environnement de planification radio multi technologies, Fonctionnant sous Windows, il soutient les opérateurs mobiles durant toute la durée de vie du réseau, dès le design initial jusqu'à la densification et l'optimisation. Il supporte les technologies suivantes :

- GSM/GPRS/EDGE/TDMA
- UMTS/HSDPA
- CdmaOne/CDMA 2000 1xRTT et 1xEV-DO
- TD-SCDMA
- Faisceaux hertziennes

ATOLL permet la simulation de couverture en se basant sur une interface graphique intuitive, son utilisation et sa prise en main est relativement aisée. Il dispose de Quatre niveaux hiérarchiques imbriqués : Carte Numérique, Type d'antenne, Modèle de propagation, type de terminaux.



Glossaire

AAA Authentification, Authorization and Accounting
ARIB Association of Radio Industries and Business
ACK Acquittement
AMRT Accès Multiple à répartition de Temps
AMRC Accès Multiple à répartition de Code
ATM Asynchronous Transfer Mode
BTS Base Transmitter Station
BSC Base Station Controller
BSS Base Station Sub-system
CAA Commutateur à Autonomie d'Acheminement
CL Commutateur Local
CDMA Code Division Multiple Access
CIPS CDMA Integrated Processing Subrack
CRPS CDMA Resource and Packet Subrack
CMPT CDMA Main Processing Transmission Unit
CFMR CDMA Radio Frame Process
CSWS CDMA Switching Subrack
DECT Digital Enhanced Cordless Telephone
DRC Data Rate Control
DRT Direction Regionale de Telecommunication
ETSI European Telecommunications Standards Institute
EV-DO Evolution-Data Only
FDMA Frequency Division Multiple Access
FR Frame Relay
GPRS General Packet Radio Service
GSM Global System for Mobile
H-ARQ Hybrid Automatic Repeat reQuest
HA Home Agent
HLR Home Location Register
HDR High Data Rate
HCPM HERT Channel Processing Module
HECM HERT Enhance Channel Processing Module
IS-95 Interim Standard 95
IMA Inverse Multiplex ATM
LE Local Exchange
MSC Mobile Switching Center
MS Mobile Station
MIC Modulation d'Impulsion Codée
MAC Medium Access Control
MIMO Multiple In Multiple Out
OMC Operation and Maintenance Center
OML Operation and Maintenance Link
PCF Packet Control Function
PDSN Packet Data Serving Node

PPP Point to Point Protocol
PN Pseudo Noise
PHS Personal Handy phone System
RA Reverse Activity
RPC Reverse Power Control Channel
RRI Reverse Rate Indicateur
RAC Radio Access Controller
RAKE Récepteur en râteau
RTT Radio Transmission Technology
RRC Radio Ressources Control
RNIS Réseau Numérique à Intégration de Services
SF Spreading Factor
SPAM standalone power amplifier module
STDM standalone transceiver duplex filter module
TIC Technologies de l'information et de la communication
TDM Time Division Multiplexing
TDMA Time Division Multiple Access
TDD Time Division Duplexing
UMTS Universal Mobile Telecommunication System
UTRP Universal Extension Transmission Processing Unit
UBRI Universal Baseband Radio Interface Unit
UEIU Universal Environment Interface Unit
UELP Universal E1/T1 Lightning Protection Unit
UFLP Universal FE/GE Lightning Protection Unit
UPEU Universal Power and Environment Interface Unit
USCU Universal Satellite Card and Clock Unit
UE User Equipement
UNI User Network Interface
VLR Visitor Location Register
VoIP Voix sur IP
WLL Wireless Local Loop
WIMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

www.Mcours.com
Site N°1 des Cours et Exercices Email: contact@mcours.com

Bibliographie

- [1] Documentation de Huawei, CDMA2000 Principe (NSS) ISSUE1.2, 2009.
- [2] Pierre, S., Réseaux et systèmes informatiques mobiles, fondements, architecture et applications, Presses Internationales Polytechnique, 2003.
- [3] GARG, V. K., « Is-95 cdma and cdma 2000 cellular/pcs systems implementation », Pearson Education, 2004.
- [4] Povey, H., « Overview of cellular cdma », 291-302, , p. 40, may 1991.
- [5] Proceedings of the IEEE, Feb. 2004, vol. 92, no. 2, pp. 271-294.
- [6] Introduction to cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems, Version 2.0. Date: September 6, 2005
- [7] Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, Mars 2004.
- [8] Huawei Technologies, Technical Support : BTS3606CE, Aout 2009.
- [9] Huawei Technologies, Technical Support : RAC6610, 2008.
- [10] SAMUEL C.YANG, 3G CDMA2000 Wireless System Engineering, 2004.
- [11] Scott Baxter CDMA2000 System Performance, 2002.
- [12] Huawei Airbridge RAC6610 Radio Access Controller, 2009.
- [13] Notice d'information WLL Version 2.9 17 avril 2003.
- [14] Guide to CDMA 1X Capacity-Coverage Hybrid Planning -0613-B-1[1].3, 2003.
- [15] LA BOUCLE LOCALE RADIO, Jonathan GILLES, 2006.
- [16] Rapport de PF

