



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

ALLAOUI Redouane

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Migration vers la 4G, et l'impact
sur le réseau IP/MPLS de
l'opérateur INWI**

Encadré par :

Pr ES-SBAI Najia

Mr AMHAUCHE Aaziz (Dimension Data)

Soutenu le **1 juillet 2015**, devant le jury composé de :

Pr N.ES-SBAI..... : Encadrant

Pr F.ERRAHIMI..... : Examineur

Pr H.GHNNIOUI..... : Examineur

Dédicaces

A mes chers parents

Nullle dédicace ne saurait exprimer l'amour, la reconnaissance et le respect que j'ai toujours éprouvé à votre égard.

Ce travail est le fruit des énormes sacrifices que vous avez consenti pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.

Puisse Dieu, le tout puissant, vous procurer santé, bonheur et longue vie.

A mes chers frère & sœurs

Ceux qui font ma force et ma fierté.

Votre amour et soutien continus ont eu le plus grand effet sur mon parcours, je vous souhaite tout le bonheur du monde.

A tous les membres de la famille

Pour leurs prières, leur soutien et leurs encouragements.

A mes amis

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Je dédie ce travail ...

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ALLAH, Le tout puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ce travail.

Au terme de ce projet, je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Aaziz AMHAOUCHE mon encadrant externe, pour ses efforts, ses conseils, son bon sens d'orientation et son soutien constant qui ont contribué à mener à bien ce projet.

Je profite de l'occasion d'exprimer ma grande reconnaissance à Monsieur Soufian NAITMBARK, Mlle Souad MESKINE pour le soutien, la disponibilité, dont ils ont fait preuve à mon égard durant toute la période du stage.

Mes profonds remerciements s'adressent également à Mme ES-SBAI Najia qui a fait l'honneur d'accepter d'être mon encadrante pédagogique. Pour cela, ainsi que pour tous ses précieux conseils et recommandations qui ont été d'une grande utilité, je lui exprime ma profonde gratitude.

Je remercie également Mme Fatiha MRABTI pour ces conseils et sa précieuse aide, ainsi à tout l'ensemble du corps professoral de la FSTF pour tous les efforts qu'il a fourni durant tout mon parcours universitaire.

Je tiens à remercier vivement toute l'équipe de déploiement et intégration Réseau, ainsi que tous ceux à qui j'ai eu l'honneur de faire connaissance durant la période du stage, pour leur encouragement et leur bon sens de collaboration.

Mes vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur et l'amabilité d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail.

Merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce projet.

Résumé

S'il y a un secteur qui connaît une évolution permanente, c'est bien celui de la téléphonie mobile. Et malgré le succès qu'a connu la technologie 3G en répondant à la demande des utilisateurs en termes de débit, aujourd'hui elle se trouve incapable de garder le rythme en raison du développement exponentiel des applications qui demande de plus en plus de débit.

Face à ce constat, et afin que l'opérateur INWI soit en mesure de garder sa position concurrentielle sur le marché, il est obligé de déployer le nouveau réseau LTE qui est plus performant que son antécédent et cela en exploitant le maximum possible des ressources existantes.

C'est dans ce cadre que s'inscrit mon projet de fin d'étude, qui consiste à proposer une solution optimale de la migration vers la 4 G du réseau de l'opérateur INWI, en mettant l'accent sur l'impact qui provoquera cette migration sur le réseau de transmission.

Abstract

If there is a sector that know a permanent evolution, this is well the one of the mobile communication. Although the success of 3G technology by spreading requests of growth rate users, but now it's unable to keep pace due to exponential growth of application, that demand more and more throughput.

To deal with this, and that the INWI operator be able to maintain his competitive market position, obliges it to deploy the new LTE network that is more perform than its antecedent. And to do that by exploiting the maximum of existing resources.

In this context that my project study are inscribed, which is to provide an optimal solution to migrate INWI operator network to the 4G, and focusing on the impact that provide migration on the transmission network.

Sommaire

<i>Dédicaces</i>	0
<i>Remerciements</i>	2
<i>Résumé</i>	3
<i>Abstract</i>	4
<i>Sommaire</i>	5
<i>Glossaire</i>	7
<i>Liste des figures</i>	10
<i>Liste des tableaux</i>	12
Introduction générale	13
Chapitre 1 : Contexte général du projet	14
I. Présentation de l'entreprise d'accueil : Dimension Data	15
1. Dimension Data au Maroc	15
II. Présentation du projet	16
1. Contexte général du projet	16
2. Planification du projet	17
Chapitre II : Généralités sur le réseau 3G et 4G	18
I. Etude du réseau UMTS	19
1. Fonctionnement	19
2. Architecture du réseau UMTS	20
2.1. Le réseau d'accès UTRAN	20
2.2. Le réseau cœurs	21
II. Etude du réseau LTE	22
1. Fonctionnement	22
1.1. OFDMA/SC-FDMA	22
1.2. MIMO	23
1.3. Les fréquences utilisés en LTE	23
2. Architecture du réseau LTE	25
2.1. Le réseau d'accès E-UTRAN	25
2.2. Le réseau cœurs EPC	26
III. Réseau de transmission IP/MPLS	28

1. Norme MPLS-----	28
2. Topologie du réseau MPLS-----	29
3. Principe de fonctionnement-----	30
Chapitre III : Migration vers la 4G du réseau de l'opérateur INWI-----	32
I. Etude de l'existant-----	33
4. La topologie du réseau de transport existant-----	33
2. Les équipements existants dans les sites-----	35
3. Les contrôleurs de station de base existants-----	41
II. Plan de migration vers la 4G-----	42
1. SWAP d'antennes-----	43
2. Station de base BTS3900-----	44
2.1. Les Radios (RFU)-----	44
2.2. Carte de traitement des données LTE (LBBP)-----	45
3. Contrôleur de station de base-----	46
III. Impact de la migration sur le réseau IP/MPLS-----	47
1. Conception de la nouvelle architecture-----	47
2. Implémentation de l'architecture IP/MPLS sur GNS3-----	49
Chapitre IV : Plannification de la couverture du réseau LTE-----	57
I. Dimensionnement de la couverture LTE-----	58
1. Pré-planification-----	58
2. Planification orienté couverture-----	59
3. Planification orienté capacité-----	64
4. Nombre d'e-NodeB-----	67
II. Planification par ATOLL-----	68
1. Problématique-----	68
2. Simulation des scénarios-----	70
3. Paramétrage des sites-----	77
Conclusion générale-----	81
Bibliographie-----	82
Annexe A-----	84
Annexe B-----	85
Annexe C-----	88
Annexe D-----	90

Glossaire

A

AuC: Authentication Center

B

BBU: Baseband Unit

BSC: Base Controller Station

BTS: Base Transceiver Station

C

CDMA: Code Division Multiple Access

CE: Customer Edge

CS: Circuit Switching

D

DCDU: Direct Current Distribution Unit

DRFU: Double Radio Frequency Unit

E

E-UTRAN: Evolved UTRAN

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution

EIR: Equipment Identity Register

EPC: Evolved Packet Core

F

FDD: Frequency Division Duplexing

FDMA: Frequency Division Multiple Access

G

GGSN: Gateway GPRS Support Node

GMSC: Gateway Mobile Switching Centre

GO: Gsm Only

GPRS: General Packet Radio Service

GRFUGSM: radio Frequency Unit

GSM: Global System for Mobile Communications

GU: Gsm Umts

H

HLR: Home Location Register

HSS: Home Subscriber Server

L

LBBP: LTE Baseband Processing Unit

LDP: Label Distribution Protocol

LER: Label Edge Router

LMT: Local Maintenance Terminal

LSR: Label Switching Router

LTE: Long Term Evolution

M

MBSC: Multiple Base Station Controller

MBTS: Multiple Base Transceiver Station

MIMO: Multi-Input Multi-Output

MME: Mobility Management Entity

MPLS: Multi-Protocol Label Switching

MRFU: Multi-Mode Radio Frequency Unit

MS : Mobile Station

MSC: Mobile Switching Center

O

OAM: Operation And Maintenance

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OMC: Operation and Maintenance Center

P

PE: Provider Edge

PMU: power monitoring unit

PS: Packet switching

R

RAN: Radio Access Network

RD: Route Distinguisher

RF: Radio Frequency

RFU: Radio Frequency Unit

RNC: Radio Network controller

RT: Route Target

S

SC-FDMA: Single Carrier Orthogonal Frequency Division Multiple Access

SGSN: Serving GPRS Support Node

SGW: Serving Gateway

SPM: Standard Propagation Model

SRAN: Single Radio Access Network

T

TDD: Time Division Duplexing

TDM: Time Division Multiplexing

TDMA: Time Division Multiple Access

U

UE: User Equipment

UMMT: Unified MPLS for mobile Telecommunication

UMPT: Universal Main Processing and Transmission unit

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UO: Umts Only

UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network

V

VLAN: Virtual Local Area Network

VLR: Visitor Location Register

VPN: Virtual Private Network

VRF: Virtual Routing and Forwarding

W

WBBP: WCDMA Baseband Processing unit

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access.

WRFU: WCDMA Radio Frequency Unit

Liste des figures

Figure 1: Dimension Data à travers le monde.....	15
Figure 2 : Organigramme Dimension Data Temara.....	16
Figure 3 : Diagramme de GANTT du projet	17
Figure 4 : Architecture du réseau globale UMTS [2]	20
Figure 5 : Représentation de l'OFDMA et SC-FDMA	23
Figure 6 : Système MIMO de N antennes.....	23
Figure 7 : Architecture générale du réseau LTE	25
Figure 8 : Architecture d'E-UTRAN [5].....	26
Figure 9 : Architecture du réseau cœurs.....	27
Figure 10 : Emplacement du protocole MPLS dans le modèle OSI	29
Figure 11 : Topologie du réseau MPLS	29
Figure 12 : Principe de fonctionnement du réseau MPLS	30
Figure 13 : Schéma synthétique du fonctionnement de l'UnsolicitedDownStream	31
Figure 14 : Schéma synthétique du fonctionnement du Downstream on Demand	31
Figure 15 : Stratégie de l'approche Single RAN [10]	33
Figure 16 : Topologie du réseau de transport existant	34
Figure 17 : Acheminement du trafic.....	35
Figure 18 : Equipements existants dans un site	35
Figure 19 : Rayonnement des Antennes sectorielles	36
Figure 20 : Antennes bi-bandes sectorielles	36
Figure 21 : COMBINERS du site	37
Figure 22 : Feeder, connecteur et Jumper	37
Figure 23 : Structure du cabinet de la BTS3900	38
Figure 24: Emplacement des cartes de la BBU.....	39
Figure 25 : Structure logique du MBSC	41
Figure 26 : Sous-cabinet du BSC6910	42
Figure 27 : Equipements du réseau cœur (3G et 4G).....	43
Figure 28 : Les ports d'antennes Penta	44
Figure 29 : Emplacement des radios de la 4G dans la BTS3900.....	45
Figure 30 : Emplacement de la carte LBBP dans la BBU.....	45
Figure 31 : Interface d'accueil du logiciel LMT	46
Figure 32 : Liaison entre BTS3900 et BSC6910.....	47
Figure 33 : Architecture du réseau de la 2G/3G/4G [21]	48
Figure 34 : Approche UMMT [21].....	48
Figure 35 : Nouvelle architecture après migration vers la 4G.....	49
Figure 36 : Plan de communication réseau accès/cœurs.....	49
Figure 37 : Architecture du réseau IP/MPLS sur GNS3.....	50
Figure 38 : VRF créés sur PE1 et PE2	52
Figure 39 : Activation du MPLS.....	53
Figure 40 : Implémentation des protocoles	53
Figure 41 : Implémentation des protocoles	54
Figure 42 : Activation de l'EIGRP sur le routeur PE1	54
Figure 43 : Configuration du MP-BGP	54
Figure 44 : Redistribution EIGRP vers BGP	55

Figure 45 : Redistribution BGP ver EIGPR.....	55
Figure 46 : Test de connectivité entre les CE	55
Figure 47 : Traçage de la route entre PE	55
Figure 48 : Test de tolérance aux pannes.....	56
Figure 49 : Processus de planification	58
Figure 50 : Variation du SINR en fonction de nombre de bloque ressource [13]	61
Figure 51 : Comparaison des modèles de propagation (zone urbain et urbain dense)	63
Figure 52 : Différentes configurations des antennes par site [15]	63
Figure 53 : Démarche de planification orientée capacité	64
Figure 54 : Données sur les sites existants(1)	69
Figure 55 : Données sur les sites existants(2)	69
Figure 56 : la zone « Rabat Ville » sur ATOLL	70
Figure 57 : Positionnement des sites existants	70
Figure 58 : Simulation des niveaux de signal au début	71
Figure 59 : Simulation des niveaux du signal final	72
Figure 60 : Histogramme des niveaux de signal	73
Figure 61 : Simulation des zones de chevauchement du début.....	73
Figure 62 : Simulation des zones de chevauchement après changement des paramètres	74
Figure 63 : Simulation finale des zones de chevauchement	75
Figure 64 : Histogramme des zones de chevauchement	75
Figure 65 : Simulation de la couverture par transmetteur après changement des paramètres	76
Figure 66 : Simulation final de la couverture par transmetteur	77
Figure 67 : Zone de couverture pour chaque bande de fréquence	77

Liste des tableaux

Tableau 1 : Bandes de fréquences utilisées en LTE.....	24
Tableau 2 : Bandes de fréquences attribuées à chaque opérateur.	25
Tableau 3: Différentes cartes de la BBU.....	40
Tableau 4 : Plan d'adressage des différentes interfaces des routeurs	52
Tableau 5 : paramètres du bilan de liaison	59
Tableau 6 : Paramètres de la sensibilité du récepteur.....	60
Tableau 7 : nombre de ressource blocs en fonction de la largeur de la bande [5].....	60
Tableau 8 : IM en fonction de la charge de la cellule [14]	61
Tableau 9 : Exemple de trafic des services [16]	65
Tableau 10 : Paramètres de la capacité d'une cellule.....	67
Tableau 11 : Paramètres utilisés pour la planification orienté couverture [15]	67
Tableau 12 : Kay Map de la simulation des niveaux de signal	72
Tableau 13 : Kay Map de la simulation des zones de chevauchement.....	73
Tableau 14 : Sous-bandes utilisées pour la planification	76
Tableau 15 : Paramétrage des anciens sites	80
Tableau 16 : Paramétrage des nouveaux sites.....	80

Introduction générale

Le secteur des télécommunications est en évolution continue, notamment en ce qui concerne les systèmes de communication mobiles qui ne cessent de progresser de manière exponentielle. Ce marché étant extrêmement concurrentiel, ses acteurs doivent être en mesure d'accompagner leur croissance et s'inscrire constamment dans une démarche de renouvellement que ce soit au niveau de leur système de fonctionnement ou au niveau des offres proposées à leurs clients.

Afin de répondre à la demande croissante du haut débit, et pour surpasser les limitations de la 2G et la 3G en termes de débit, il a fallu déployer une nouvelle technologie.

De ce fait, l'opérateur INWI, y compris les autres opérateurs (Meditel et Maroc Telecom), voit nécessaire de déployer la 4G, qui va permettre aux utilisateurs mobiles d'accéder à leurs services en termes de disponibilité et de flexibilité. C'est dans ce cadre que s'inscrit mon sujet de stage, en effet, on m'a confié la tâche d'élaborer un plan de migration optimal vers la 4G pour le compte de l'opérateur INWI et d'étudier par la suite l'impact de cette migration sur le réseau de transport.

Ce rapport est organisé en quatre chapitres: dans le premier chapitre, nous présentons la société d'accueil « Dimension Data », puis nous listons les tâches qui m'ont été confiées. Dans le second chapitre, nous parlons des aspects techniques des normes de téléphonie mobile L'UMTS et LTE. Ensuite, le troisième chapitre sera consacré à la migration vers la technologie 4G. Après nous déterminons les paramètres d'installation de la 4G au niveau des sites déjà existant, ainsi que les nouveaux sites ajoutés, à l'aide du logiciel « ATOLL ». Et finalement nous étudions l'impact de la migration sur le réseau de transmission de l'opérateur.

Chapitre 1

Contexte général du projet

Introduction

Ce premier chapitre sera consacré à une vue générale du contexte du projet, nous commençons par une présentation de la société d'accueil et son domaine d'activité, ensuite nous décrirons le projet et les différents étapes de son déroulement.

I. Présentation de l'entreprise d'accueil : Dimension Data

Dimension Data est un groupe spécialisé dans les infrastructures réseaux et Telecom, et qui fournit des services et des solutions qui aident les clients à planifier, construire, soutenir et maintenir leur infrastructures télécoms. Elle a été fondée il y a 32 ans en Afrique de Sud.

Dimension Data opère aujourd'hui dans 51 pays répartis à travers 5 zones géographiques clés : Moyen-Orient, Afrique, Amérique du Sud et de Nord, Europe, Asie et Australie. Chacune de ces unités d'affaire régionales fonctionne sous l'égide de Dimension Data Group Head Office situé à Johannesburg (voir figure 1).

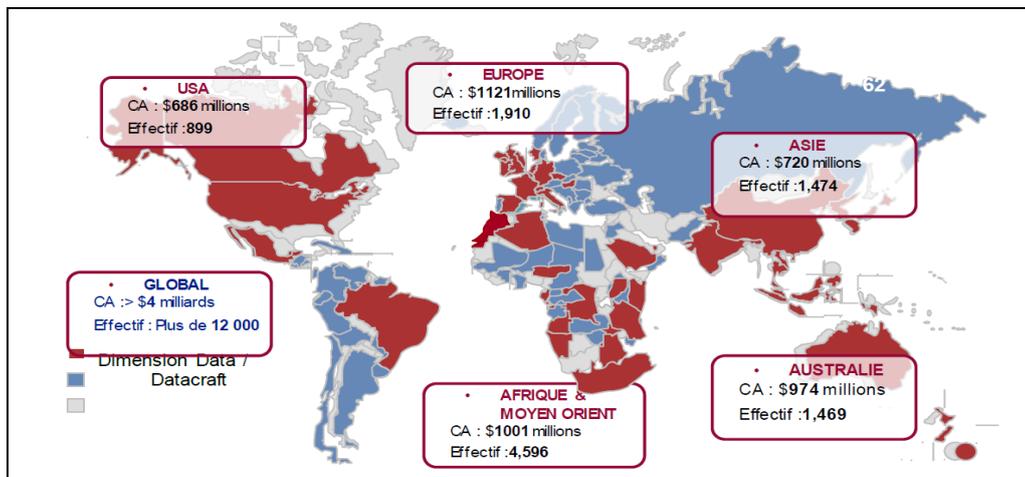


Figure 1: Dimension Data à travers le monde

1. Dimension Data au Maroc

Dimension Data Maroc a été créé au Maroc le 1^{er} novembre 2009, en marge d'une participation dans « la Télédistribution et la communication ». Elle vient d'offrir une participation à hauteur de 51% dans le capital de la société marocaine TELECOM (Telecom est une société de service dans la télécommunication créé en 1999).

Dimension Data est devenu un acteur majeur des télécommunications au Maroc. Ses principaux clients sont :

- Opérateur Télécom : INWI, Meditel et Maroc Telecom.
- Équipementier Télécom : Huawei, Nokia, Alcatel, Motorola, Harris, Ericsson et Siemens.
- Administration publique : Gendarmerie Royale, Marine Nationale, Force Armées Royales, Autoroute du Maroc et la RTM.

Afin d'assurer une bonne prestation des services à ses clients, Dimension Data est basé sur l'interaction des différentes directions données sur la figure 2 ci-dessous :

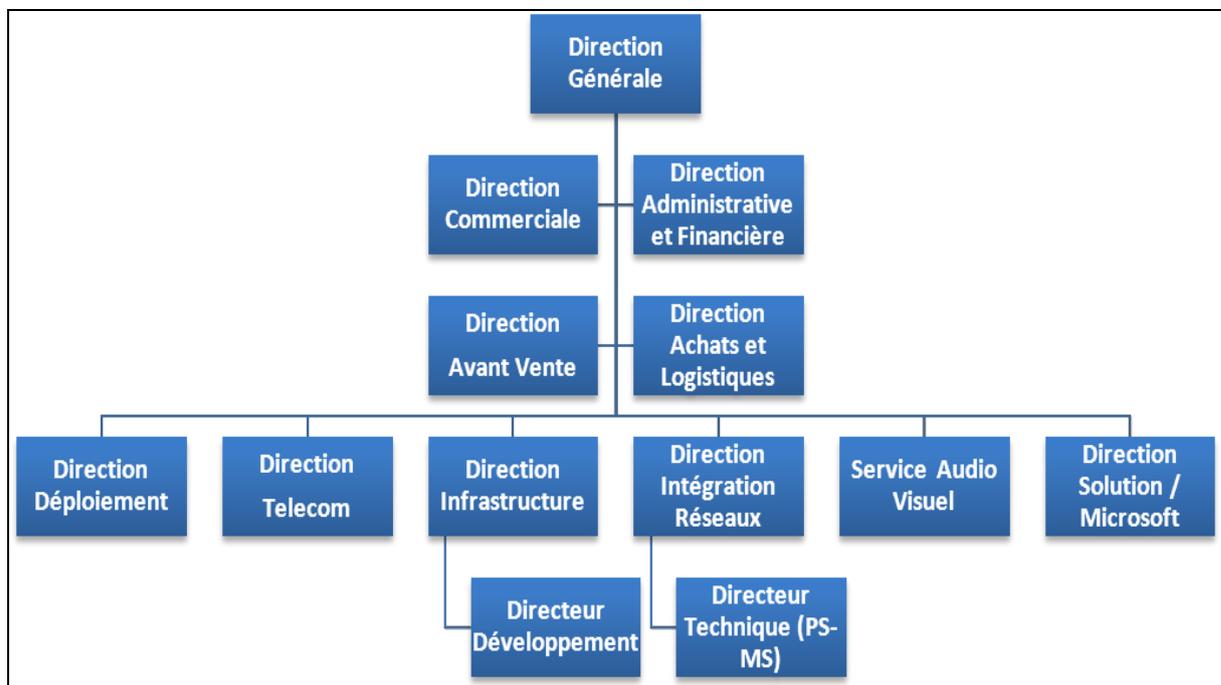


Figure 2 : Organigramme Dimension Data Temara

II. Présentation du projet

1. Contexte général du projet

Afin d'accroître sa position concurrentielle vis-à-vis des autres, INWI doit être en mesure d'offrir en permanence un réseau performant et de s'assurer de la qualité des services en souscrivant aux dernières modalités du secteur radio mobile. Pour ce faire INWI opte pour la migration vers la nouvelle technologie LTE pour le déploiement du très haut débit.

Le problème qui se pose est que le déploiement de la technologie 4G nécessite un nouveau réseau avec une nouvelle architecture mais sans détruire les réseaux existants car il y a des clients qui utilisent toujours les 2G et 3G.

2. Planification du projet

Mon projet de fin d'étude a été effectué au sein du département réseaux pour une période de quatre mois. Les tâches demandées sont les suivantes :

- Documentation du réseau 3G et 4G
- Etude des équipements existants de l'opérateur INWI
- Solution de migration
- Planification de la couverture du réseau 4G
- Etude du réseau de transmission IP/MPLS existant.
- Implémentation du réseau IP/MPLS sur GNS3.

Pour le bon déroulement du projet il a fallu tenir compte du délai et des ressources, pour se faire les tâches à réaliser ont été planifiées selon le diagramme de GANTT suivant:

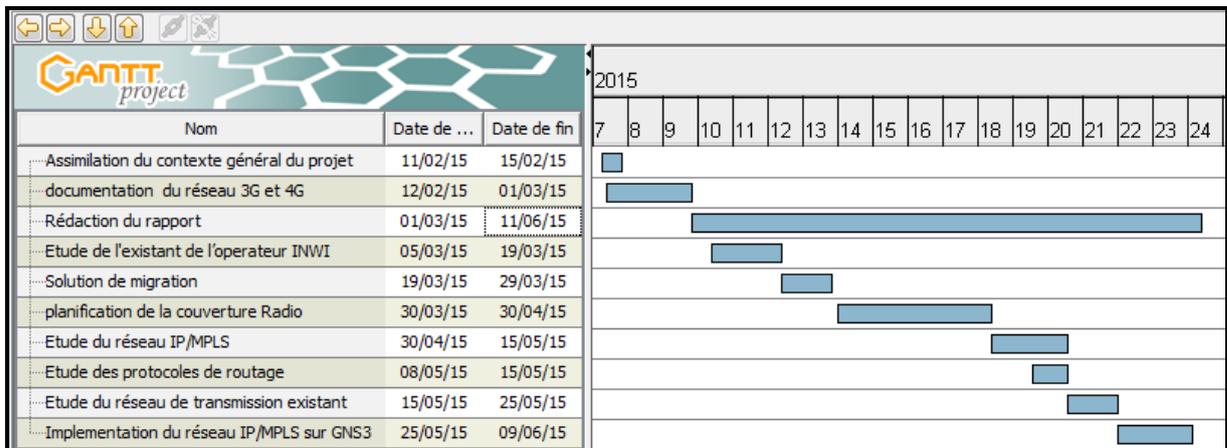


Figure 3 : Diagramme de GANTT du projet

Nous n'avons pas pu respecter le planning établi à 100% en raison d'indisponibilité permanente des ressources et la complexité de certaines tâches, nous pourrions dire que le planning a été respecté à environ 75%.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'environnement de stage à savoir la société d'accueil Dimension Data. Ensuite nous avons donné le contexte général du projet, les tâches à effectuer et le diagramme de Gantt pour les élaborer.

Chapitre II

Généralités sur les réseaux 3G et 4G

Introduction :

La télécommunication mobile est un domaine qui a connu de grandes évolutions, tout a commencé par un réseau analogique de première génération (1G), ensuite tout a été numérisé par le passage au réseau de la deuxième génération GSM (2G). Pour contourner le problème de monopolisation qu'a connu ce dernier un autre réseau a été mis en place appelé GPRS (3G), il a été conçu pour augmenter le débit de transmission de données. Et pour répondre à la demande croissante du débit d'autres réseaux ont été conçus comme l'UMTS et le LTE. Ces derniers seront traités dans ce chapitre.

I. Etude du réseau UMTS

La technologie UMTS (Universal Mobile Télécommunications System) est une technologie de téléphonie mobile numérique de troisième génération qui vient se combiner aux réseaux GSM et GPRS. Le principal intérêt de la technologie 3G réside dans l'augmentation considérable des débits et ceci en exploitant une bande de fréquence plus large.

1. Fonctionnement

L'UMTS fonctionne sur la bande de fréquences 1900-2000 MHz. La Conférence administrative mondiale des radiofréquences a défini les bandes de fréquences qui peuvent être utilisées pour les systèmes de troisième génération. La CEPT (European Conference of Postal And Telecommunications Administrations) a précisé la répartition des deux modes d'accès retenus dans ces bandes [10]:

- ❖ 1 900 à 1 920 MHz: TDD (20MHz).
- ❖ 1 920 à 1 980 MHz: FDD (60 MHz)UpLink.
- ❖ 2 010 à 2 025 MHz: TDD (15MHz).
- ❖ 2 110 à 2 170 MHz: FDD (60MHz) DownLink.

L'UMTS a adopté une technique d'accès appelé W-CDMA ou CDMA large bande, supportant des débits pouvant atteindre jusqu'à 2 Mbit/s. l'accès multiple étant obtenu grâce à un élargissement spectral à séquence pseudo-aléatoire, cet élargissement conduit à une largeur du canal de 5 MHz, ce qui est à l'origine du nom Wide-band CDMA [1].

Le système W-CDMA apporte, par rapport aux systèmes de deuxième génération (GSM et EDGE) plusieurs avantages à savoir :

- Une plus grande bande passante disponible pour l'utilisateur.
- Grande souplesse dans l'allocation des ressources nécessaires et dans le déploiement du réseau.
- Simplicité de la planification cellulaire, car ce sont les séquences de codage qui différencient les communications, et non pas les fréquences porteuses.

2. Architecture du réseau UMTS

L'architecture UMTS présentée sur la figure 4 ci-dessous est constituée d'une partie radio appelée UTRAN et d'une partie réseau de base appelée Core Network.

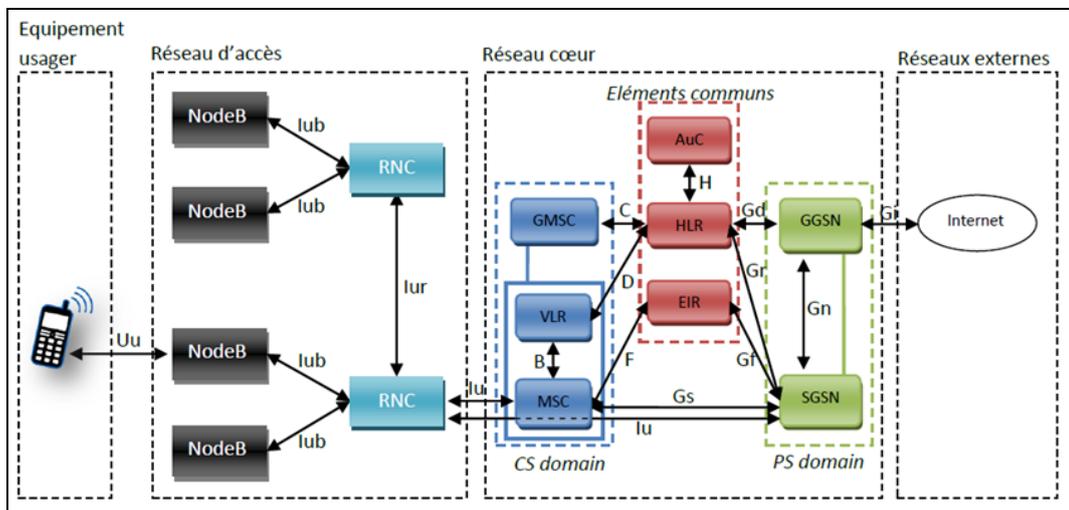


Figure 4 : Architecture du réseau globale UMTS [2]

2.1. Le réseau d'accès UTRAN

Le réseau d'accès UTRAN fournit à l'équipement usager les ressources radio et les mécanismes nécessaires pour accéder au réseau cœur. Il est composé de deux entités: la station de base NodeB (l'équivalence de la BTS en 2G) et le contrôleur de station de base RNC (l'équivalent de la BSC en 2G).

- **NodeB:** Il gère la couche physique de l'interface air c'est-à-dire le codage du canal et l'adaptation de débit, il gère aussi le contrôle de puissance. Le NodeB a pour rôle principal d'assurer les fonctions de réception/transmission radio
- **RNC:** Le RNC contrôle et gère les ressources radio (établissement, maintien et libération des canaux radio), alloue des codes pour de nouveaux liens radio ainsi que d'autres

fonctions liées à la mobilité notamment le Handover.

2.2. Le réseau cœurs

Le réseau cœur constitue la partie la plus intelligente du réseau UMTS. Il est responsable du traitement des données reçues du réseau d'accès UTRAN, ainsi que la signalisation nécessaire pour le routage des appels vers la cible. Le réseau cœur regroupe plusieurs entités physiques interconnectées entre elle via des interfaces dans le but de réaliser des fonctions spécifiques telles que la gestion de la localisation des utilisateurs, la gestion des services.

Les éléments qui constituent le réseau cœur sont répartis en trois catégories :

❖ Les éléments du domaine circuit :

- MSC : (commutateur du réseau mobile) Il gère toutes les communications avec les mobiles sous sa couverture, la transmission des messages courts et l'exécution du Handover lorsqu'il y'est impliqué.
- GMSC : (Gateway MSC) c'est une passerelle entre le réseau mobile et le réseau fixe RTC.
- VLR : est une base de données dans laquelle sont stockées les informations relatives aux utilisateurs d'une région particulière.

❖ Les éléments du domaine paquet :

- SGSN : c'est un routeur permettant de gérer les terminaux d'une zone. Il présente l'interface de transit des paquets par la passerelle GGSN.
- GGSN : C'est une passerelle connectant, et acheminant les paquets entre le réseau UMTS et les autres réseaux de données. C'est lui qui est chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion.

❖ Les éléments communs :

- HLR : c'est une base de données dans laquelle sont stockées toutes les informations relatives aux abonnés. On y trouve les IMSI, les numéros de téléphone classiques à douze chiffres, ainsi que des informations de chiffrement et la localisation courante de l'abonné.

- AuC : il remplit la fonction de protection des communications. Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et chiffrer les communications.
- EIR : est une base de données qui contient des informations relatives aux types d'équipement ainsi que tous les codes d'identité d'équipement des téléphones mobiles autorisés dans une zone de service donnée.

II. Etude du réseau LTE

Il s'agit d'une nouvelle technologie qui vient d'être déployée au Maroc, c'est une évolution des réseaux GSM/UMTS qui spécifie la prochaine génération du système d'accès mobile à large bande.

Les intérêts majeurs qu'a apportée la 4G par rapport à son antécédent 3G réside dans, l'augmentation considérable du débit qui peut atteindre 100Mps en DownLink et 50Mps en UpLink, diminution de latence, et permet d'offrir plus de capacité et une mobilité qui peut aller jusqu'à 500Km/h.

1. Fonctionnement

Pour atteindre tous ces objectifs, la LTE se base essentiellement sur deux technologies : la technologie OFDMA/SC-FDMA comme technique d'accès, et la technologie MIMO pour les systèmes émission/réception.

1.1. Technologie OFDMA/SC-FDMA

OFDMA/SC-FDMA sont des techniques de multiplexage fréquentielle et temporelle utilisées en DL/UL, qui consiste à subdiviser le canal de transmission en plusieurs sous-canaux, ou sous-porteuses, et de répartir le signal à transmettre sur ces sous-porteuses, qui sont attribués à différents utilisateurs. Cela permet de profiter d'une diversité fréquentielle grâce à laquelle une mauvaise fréquence pour un utilisateur est susceptible d'être bonne pour un autre [3]. Sur la figure 5, nous présentons ces techniques de multiplexage.

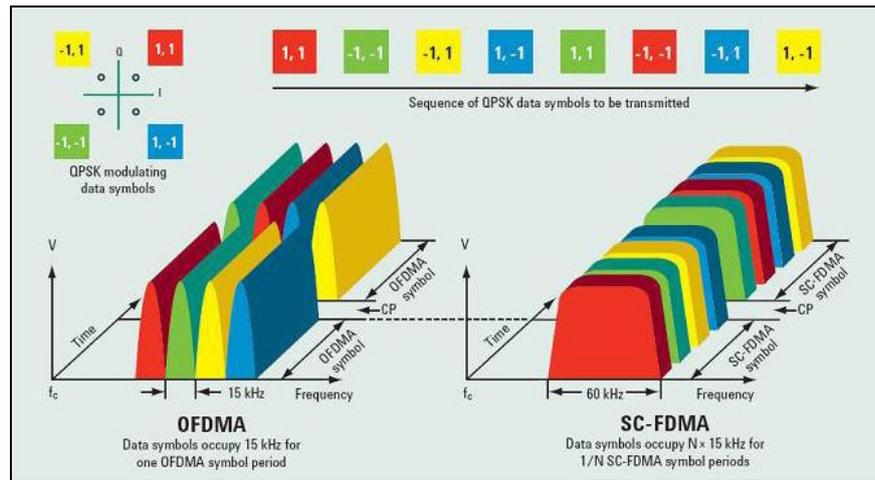


Figure 5 : Représentation de l'OFDMA et SC-FDMA

1.2. Technologie MIMO

Multi-Input Multi-Output, est un réseau d'antennes permettant la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur. Grâce à l'apport de la diversité spatiale ils permettent d'améliorer la qualité du lien en s'affranchissant des évanouissements des canaux par multiplexage spatial, ils permettent aussi, d'augmenter le débit d'information sans augmenter la bande passante ou la puissance de transmission [4].

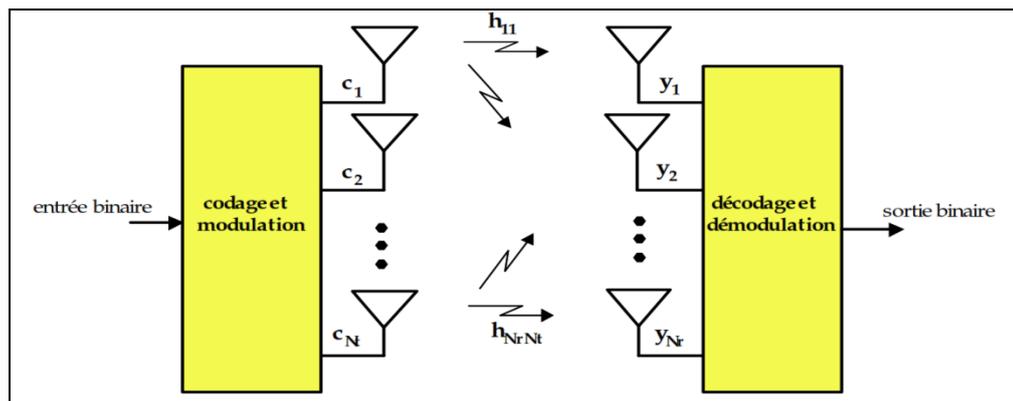


Figure 6 : Système MIMO de N antennes

1.3. Les fréquences utilisées en LTE

La technologie LTE offre une quarantaine de bandes de fréquences, elles sont présentées sur le tableau suivant [5] :

N° de Bande	Bande en UL MHz	Bande en DL MHz	Espacement entre UL et DL	Mode de Duplexage
1	1920 - 1980	2110 - 2170	130 MHz	FDD
2	1850 - 1910	1930 - 1990	20 MHz	FDD
3	1710 - 1785	1805 - 1880	20 MHz	FDD
4	1710 - 1755	2110 - 2155	355 MHz	FDD
5	824 - 849	869 - 894	20 MHz	FDD
6	830 - 840	875 - 885	35 MHz	FDD
7	2500 - 2570	2620 - 2690	50 MHz	FDD
8	880 - 915	925 - 960	10 MHz	FDD
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	60 MHz	FDD
10	1710 - 1770	2110 - 2170	340 MHz	FDD
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9	23 MHz	FDD
.....
33	1900 - 1920	1900 - 1920	N/A	TDD
34	2010 - 2025	2010 - 2025	N/A	TDD
35	1850 - 1910	1850 - 1910	N/A	TDD
36	1930 - 1990	1930 - 1990	N/A	TDD
37	1910 - 1930	1910 - 1930	N/A	TDD
38	2570 - 2620	2570 - 2620	N/A	TDD
39	1880 - 1920	1880 - 1920	N/A	TDD
40	2300 - 2400	2300 - 2400	N/A	TDD

Tableau 1 : Bandes de fréquences utilisées en LTE

En ce qui concerne les bandes qui seront utilisées au Maroc, le chef du gouvernement a validé, le mercredi 18 mars 2015, la proposition de l'ANRT d'offrir trois licences 4G aux trois opérateurs INWI, MEDITEL et MAROC TELECOM. « Les trois soumissionnaires ont proposé des offres de qualité, avec des engagements d'investissements devant contribuer au

développement des infrastructures de télécommunications nationales », indique l'ANRT dans son communiqué de presse [6].

Selon une étude sur dossier de chaque opérateur, L'ANRT a attribué les bandes de fréquences selon le tableau suivant [7]:

	Licence attribuée	Bande 800 MHz		Bande 1800MHz	Bande 2.6GHz
		Phase 1	Phase 2		
Maroc Telecom	Licence B	[801-806] [842-847]	[801-811] [842-852]	[1725-1735] [1820-1830]	[2520-2540] [2640-2660]
Medi Telecom	Licence A	[796-801] [837-842]	[791-801] [832-842]	[1775-1785] [1870-1880]	[2540-2560] [2660-2680]
WanaCorporate	Licence C	[806-811] [847-852]	[811-821] [852-862]	[1750-1760] [1845-1855]	[2500-2500] [2620-2640]

Tableau 2 : Bandes de fréquences attribuées à chaque opérateur.

2. Architecture du réseau LTE

Comme les autres réseaux cellulaires, l'architecture du réseau LTE est composée de deux sous-réseaux : le réseau d'accès et le réseau cœur [8].

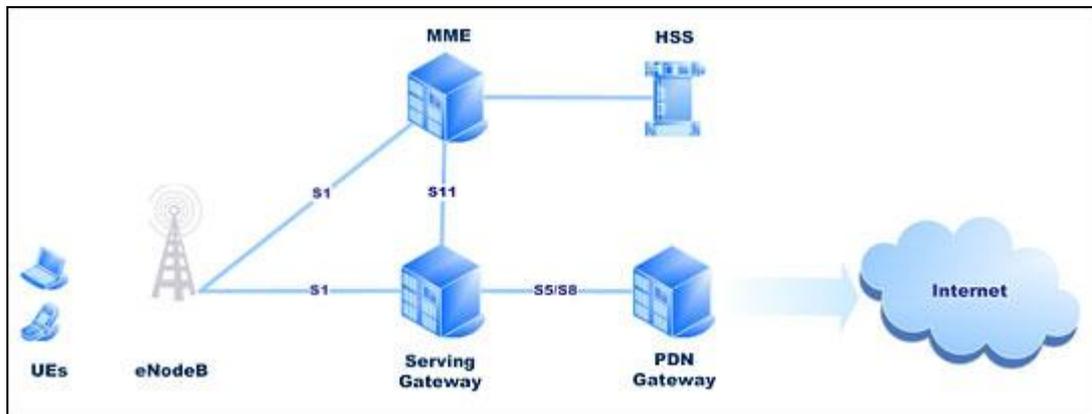


Figure 7 : Architecture générale du réseau LTE

2.1. Le réseau d'accès E-UTRAN

Le réseau d'accès est constitué d'une seule entité appelé E-NodeB (Evolved NodeB) qui remplace à la fois, le NodeB et le RNC dans les systèmes 3G, elle est responsable de la communication avec le terminal, la gestion de la mobilité radio, le chiffrement et la compression des entêtes IP des données usager et de la répartition des fonctions de concentration de trafic avec les entités du réseau cœur [9].

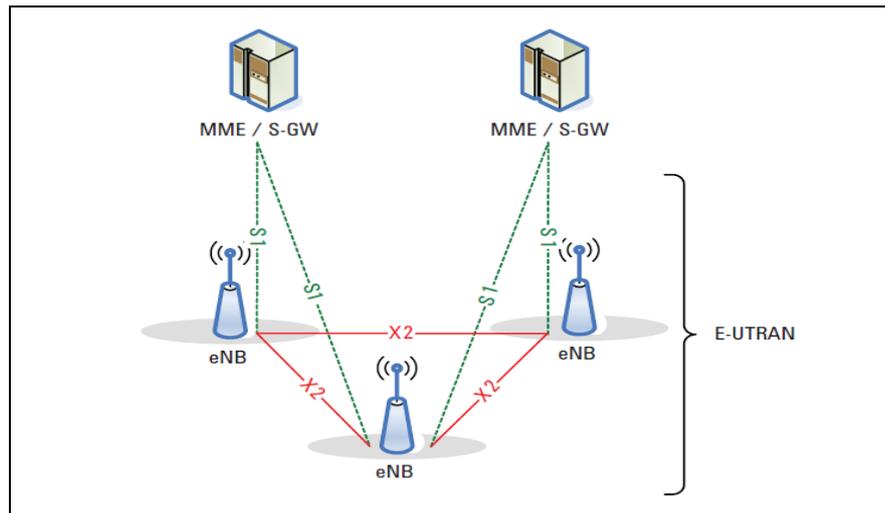


Figure 8 : Architecture d'E-UTRAN [5]

E-UTRAN dispose d'une interface S1 qui relie l'E-NodeB et le réseau cœur et d'une interface X2 qui relie les E-NodeB adjacents.

Quand un terminal passe d'un E-NodeB à un autre, de nouvelles ressources lui sont allouées sur ce dernier, or le réseau continue à transmettre ses données vers l'ancien E-NodeB tant qu'il n'a pas été informé du changement. Afin de minimiser la perte de ses paquets de données, l'ancien E-NodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel E-NodeB qui les remet à l'UE.

2.2. Le réseau cœur EPC

Le réseau cœur de la 4G ne contient qu'un seul domaine de commutation: la commutation par paquet. Il se caractérise par sa simple architecture que nous présentons sur la figure ci-dessous [5]:

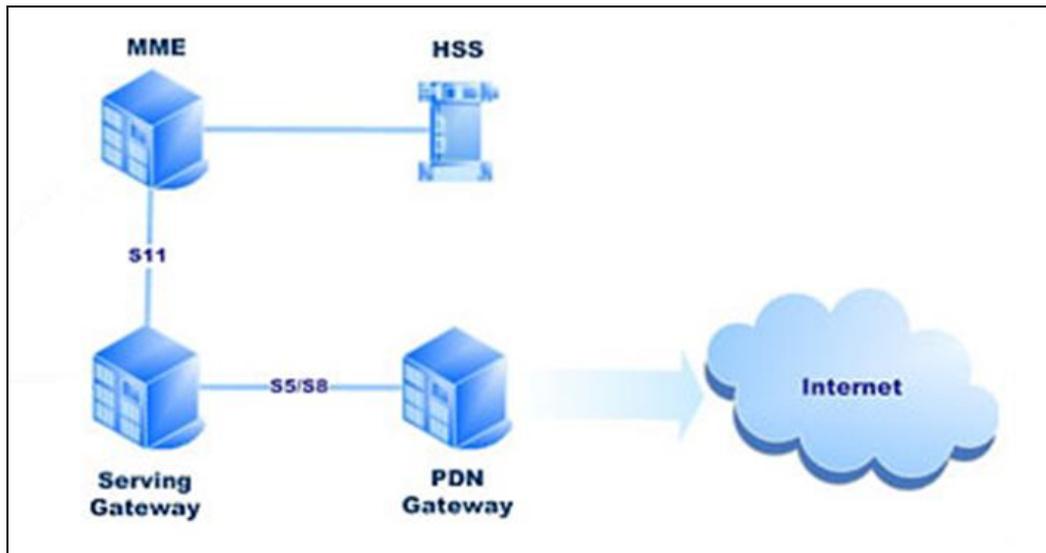


Figure 9 : Architecture du réseau cœur

Le réseau cœur évolué EPS est composé de quatre principales entités:

✓ **Mobility Management Entity (MME)**

L'entité de gestion de mobilité, MME est le nœud principal de contrôle du réseau d'accès

LTE/SAE (System Architecture Evolution), Il réalise un ensemble de fonctions telles que:

- La signalisation: gestion de la mobilité des terminaux (attachement, détachement, mise à jour de localisation).
- L'authentification: le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.
- Gestion de la liste de Tracking Area: chaque MME est chargé d'un ensemble de zones de localisation groupées dans une liste nommée : Tracking Area. A chaque fois que l'UE se trouve dans une zone non prise par son MME, il met à jour sa localisation.
- Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G: si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.

✓ **Serving Gateway (SGW)**

Il permet de réaliser plusieurs fonctions à savoir:

- Il permet de router les paquets sortants au PDN GW, et relaie les paquets entrants à l'e-NodeB.
- Point d'encrage lors de l'exécution du Handover.

- Point de contrôle et d'interception légale des flux média.
- Marquage des paquets dans les sens montant et descendant.
- ✓ ***PDN Gateway (PGW)***

La passerelle LTE/SAE PDN fournit la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant ainsi la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE. L'UE peut avoir une connexion simultanée à plus d'un PGW pour accéder à plusieurs PDNs.

✓ ***Home Subscriber Server (HSS)***

C'est une base de données évoluée qui remplace le HLR et l'AuC, elle contient les informations de souscription pour les différents réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE.

III. Réseau de transmission IP/MPLS

Les réseaux cellulaires ont connu des évolutions majeures en termes de débit offert. Afin de répondre à ces besoins, l'opérateur se trouve en obligation d'avoir un réseau de transport performant, qui a en charge le transport des données du réseau d'accès au réseau cœurs, avec une meilleure qualité de service (QoS). Pour se faire le réseau de transport IP/MPLS a été mis en place.

1. Norme MPLS

MPLS (Multi-Protocol Label Switching) est une norme de protocole proposée par l'IETF (Internet Engineering Task Force), l'organisme de normalisation d'Internet pour l'ensemble des architectures et des protocoles de haut niveau. Un réseau MPLS est une topologie basée sur le protocole MPLS, qui sert à commuter les paquets à base d'une étiquette (appelé label) affectée à ce dernier dès son entrée au réseau. Ce label est situé entre la couche 3 (couche réseau) et la couche 2 (couche liaison) du modèle OSI, il combine donc l'intelligence du routage IP et la rapidité de la commutation [18]. La figure suivante présente l'emplacement du protocole MPLS dans le modèle OSI :

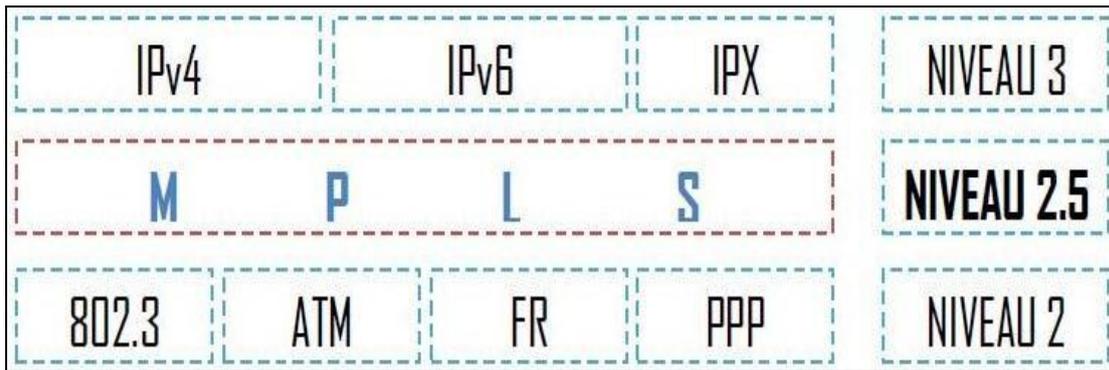


Figure 10 : Emplacement du protocole MPLS dans le modèle OSI

L'objectif principal du MPLS est d'accroître la vitesse de traitement des datagrammes dans l'ensemble des équipements intermédiaires.

2. Topologie du réseau MPLS

Le réseau MPLS est composé de deux types de routeurs : les LSR et les LER, la figure ci-dessous illustre la topologie du réseau MPLS.

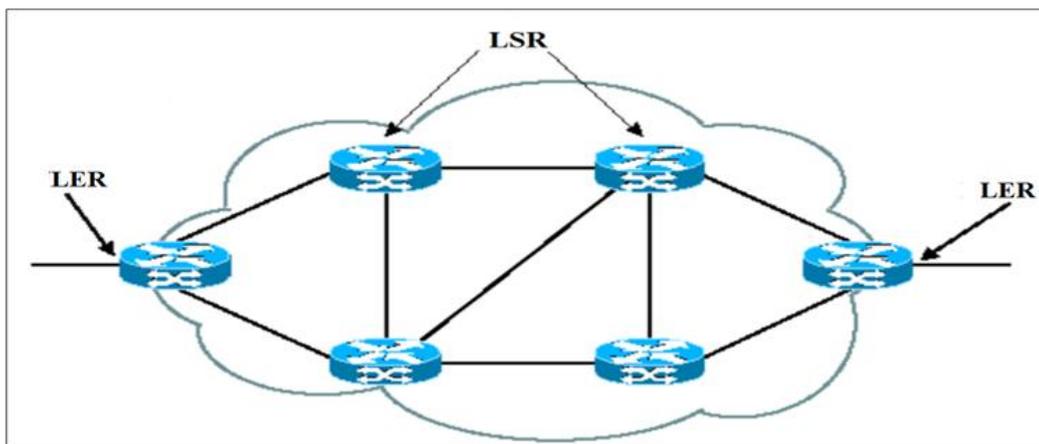


Figure 11 : Topologie du réseau MPLS

Les LSR sont les routeurs de cœur capables de supporter le MPLS et les ELSR, et ILSR sont des routeurs à l'extrémité permettant de faire la transition entre le domaine MPLS et les autres réseaux [18].

- LSR : (Label Switching Router) est un routeur du cœur du réseau MPLS effectuant la commutation des paquets selon les labels, et qui joue un rôle essentiel de la mise en place du chemin des paquets. Chaque LSR reçoit un paquet labélisé, change son label avec un autre, indiquant le prochain LSR censé recevoir le paquet, et l'envoyer sur l'interface appropriée [19].
- LER : (Label Edge Router) est un routeur d'accès au réseau MPLS, qui possède à la fois deux interfaces différentes, une interface traditionnelle de l'IP, et une autre connectée au

réseau MPLS. Lorsqu'un paquet arrive sur l'interface IP, le LER lui affecte un label selon le chemin optimal calculé. Et à la sortie du réseau MPLS le LER enlève les labels aux paquets, et les transmet au destinataire sous forme de paquet IP [19].

3. Principe de fonctionnement

Le principe de base du MPLS consiste à établir un chemin, appelé LSP (Label Switched Path), entre deux machines du bord du réseau.

Les routeurs de l'extrémité reçoivent les paquets en provenance des réseaux extérieurs, consultent leurs tables de routage afin de leur affecter un label. Selon la valeur de ce label, le choix du chemin à emprunter sera déterminé.

Ensuite, les routeurs du Core MPLS permutent les labels tout au long du réseau sans avoir recours à la consultation de la table de routage, ce qui accélère l'acheminement des paquets.

A l'arrivée à l'autre bout du réseau MPLS, le LSR retire le Label du paquet et l'envoi à sa destination [20]. Sur la figure 12 est illustré le principe de fonctionnement du réseau MPLS :

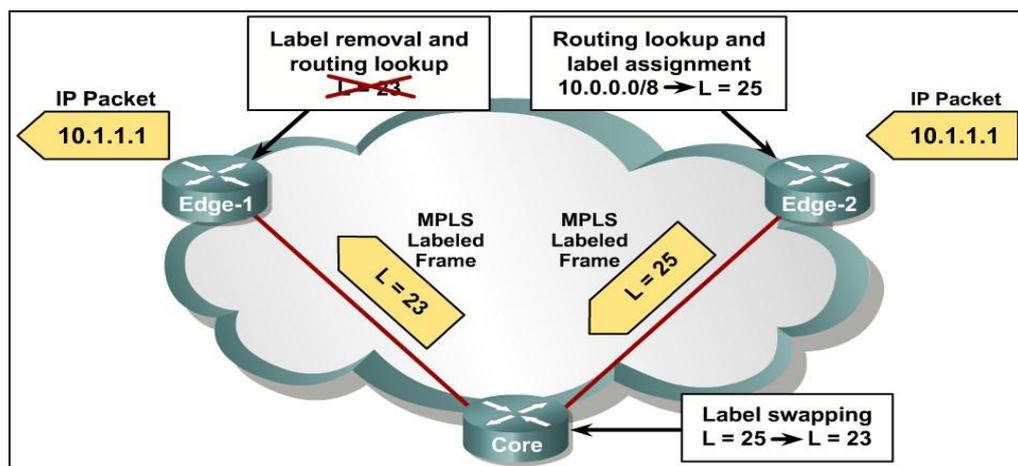


Figure 12 : Principe de fonctionnement du réseau MPLS

Les paquets entrants au réseau MPLS sont classifiés en des classes appelées FEC (Forwarding Equivalent Class), à chaque FEC est associé un label, et selon ce FEC le chemin sera défini tout au long du réseau. La classification des paquets dans des FEC se fait à base de différents paramètres (adresse IP source, adresse IP destination, débit et délai).

Afin d'associer à chaque FEC un label, le réseau MPLS s'appuie sur des protocoles de distribution de label (LDP ou RSVP-TE). Il existe deux modes de distribution des labels [20]:

- Unsolicited Down Stream : lorsqu'un routeur associe un label à une FEC, il informe tous les voisins de cette nouvelle association, et cela d'une manière automatique.

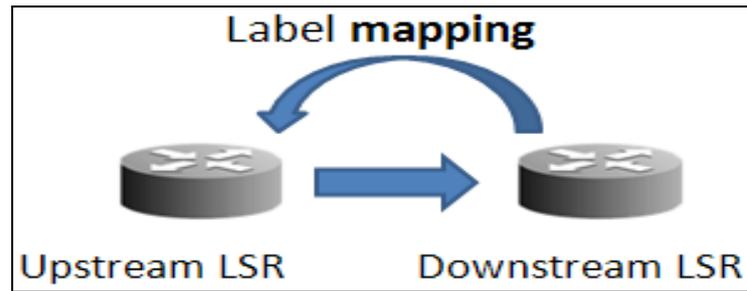


Figure 13 : Schéma synthétique du fonctionnement de l'UnsolicitedDownStream

- Down Stream On Demand : lorsqu'un routeur trouve un paquet qui n'est pas encore associé à un FEC, il envoie une demande à ces voisins, appelée « request », pour lui fournir le label correspondant à cette FEC. Si ces voisins ne disposent pas de cette requête, ils transmettent le « request » au LSR suivant.

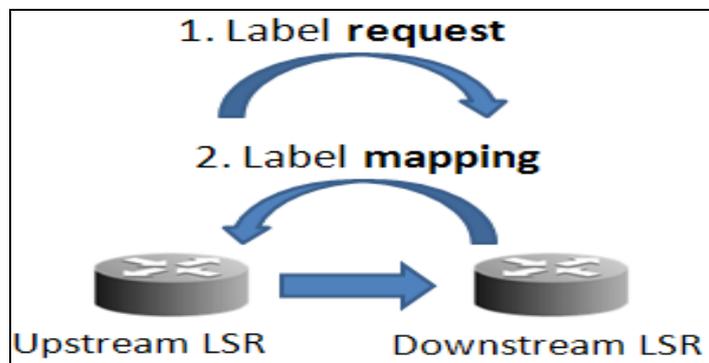


Figure 14 : Schéma synthétique du fonctionnement du Downstream on Demand

Conclusion :

Ce chapitre a traité les aspects théoriques de la technologie UMTS existant chez l'opérateur, les modalités apportées par la nouvelle technologie LTE, ainsi que le réseau de transmission IP/MPLS, qui nous serons utile dans ce qui suit. Dans le chapitre suivant, nous étudions la migration vers la 4G du réseau INWI et son impact sur le réseau.

Chapitre III :

Migration vers la 4G du réseau de l'opérateur INWI

Introduction :

La migration vers la technologie 4G est devenue une obligation pour l'opérateur INWI, afin de conserver sa part du marché en termes de nombre d'abonnés.

Une étude du réseau existant d'INWI s'avère indispensable avant de passer à la migration vers la 4G, ce qui permettra d'utiliser cet existant et de l'améliorer en vue de le rendre opérationnel pour cette nouvelle norme. Il faut donc dégager, par une étude, la démarche à suivre afin d'assurer la compatibilité des équipements existants avec la nouvelle technologie, en l'optimisant le maximum possible.

I. Etude de l'existant

L'opérateur INWI a suffisamment préparé le terrain pour accueillir la nouvelle technologie LTE, et cela par la mise en place d'une technologie appelée Single RAN (Single Radio Access Network), c'est une solution proposée par l'équipementier HUAWEI Technologies qui a débutée au Maroc en 2013. Cette solution consiste à fusionner toutes les capacités de communication radio d'un réseau cellulaire en un seul réseau d'accès en agrégeant tout sur les mêmes équipements, ainsi l'opérateur réduit le nombre d'opérations nécessaires, tant en maintenance qu'en déploiement. La figure 15 représente la stratégie de l'approche SRAN :

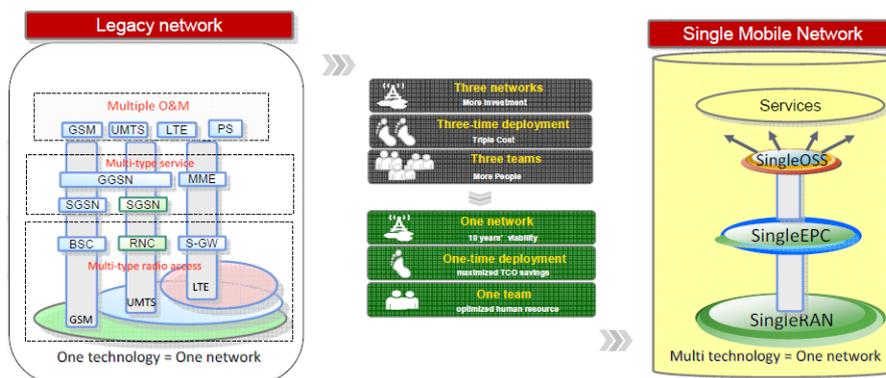


Figure 15 : Stratégie de l'approche Single RAN [10]

1. La topologie du réseau de transport existant

Les exigences de compétitivité ont poussé les opérateurs à mettre tous les services mobiles sur un réseau de transport IP, comme c'est le cas pour l'opérateur INWI qui dispose d'un réseau IPRAN constitué d'un anneau de routeur connectant les stations de bases BTS3900 au contrôleur de station de base BSC6910, et d'un réseau IP/MPLS (voir Annexe C) qui

connecte le réseau d'accès au réseau cœur. Ces deux réseaux constituent un réseau de transport performant qui vise à porter tous les services mobiles (voix et data) sur IP.

Chaque grande ville possède son propre IPRAN, tandis que tous les réseaux IPRAN partagent le même Backbone IP/MPLS. La topologie du réseau d'INWI est présentée sur la figure ci-dessous :

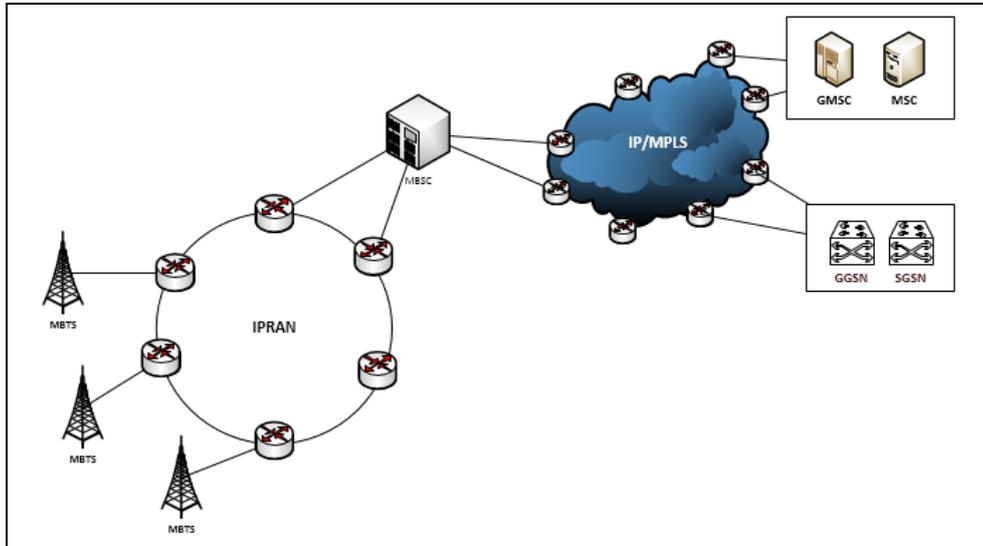


Figure 16 : Topologie du réseau de transport existant

Dans le réseau IPRAN, la MBTS transmet tout le trafic sur une seule interface au MBSC, alors que cette dernière sépare le trafic de la 3G et de la 2G sur différentes interfaces, et les transmet chacune à sa destination au réseau cœur.

L'acheminement du trafic de MBSC vers le réseau cœur se fait à travers des tunnels VPN :

- Si le trafic CS représente la signalisation, le MBSC va s'attacher au VLAN de signalisation CS et l'envoyer au MSC.
- Si le trafic CS représente du data, le MBSC va s'attacher au VLAN du data CS et l'envoyer au GMSC.
- Si le trafic PS représente la signalisation, le MBSC va s'attacher au VLAN de signalisation PS et l'envoyer au SGSN.
- Si le trafic PS représente du data, le MBSC va s'attacher au VLAN du data PS et l'envoyer au MSC.
- Si le trafic sert pour la communication entre deux MBSC (lorsque l'abonné mobile se déplace à travers deux zones différentes), le MBSC va s'attacher à un autre VLAN.

La figure ci-dessous illustre les différents trafics acheminés vers le réseau cœur :

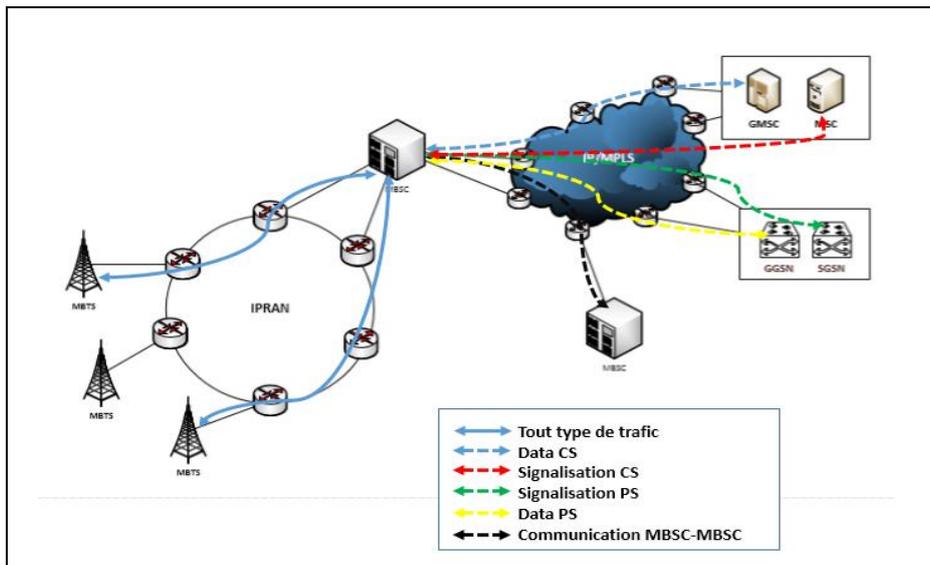


Figure 17 : Acheminement du trafic

2. Equipements existants dans les sites

Un site est constitué généralement d'équipements présentés dans la figure suivante :

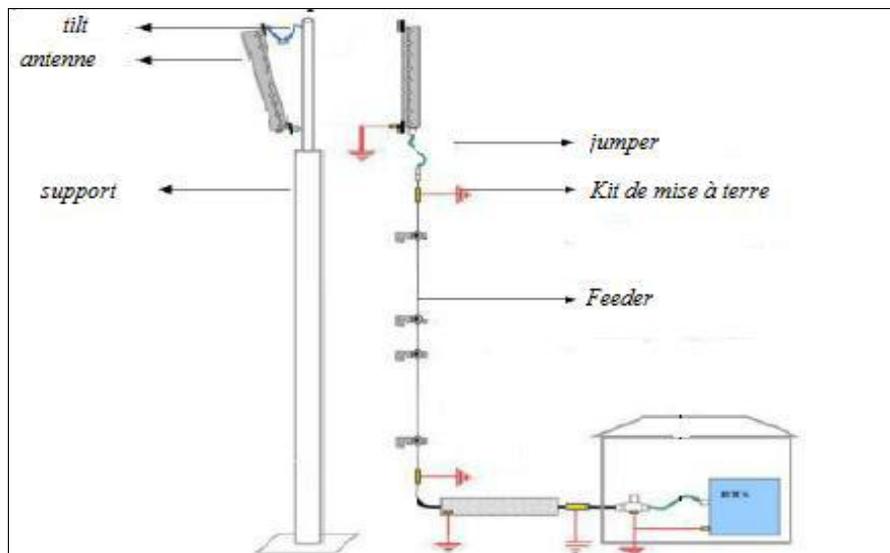


Figure 18 : Equipements existants dans un site

- **Les antennes**

Les antennes utilisées dans les sites d'INWI sont des antennes panneaux Bi-bandes. Elles sont constituées d'antennes filaires (quelquefois planaires) associées sous formes de réseau

linéaire vertical. Chaque réseau constitue une antenne sectorielle. Les panneaux sont placés selon un triangle équilatéral, de façon à couvrir les 360° de l'espace autour d'un pylône.

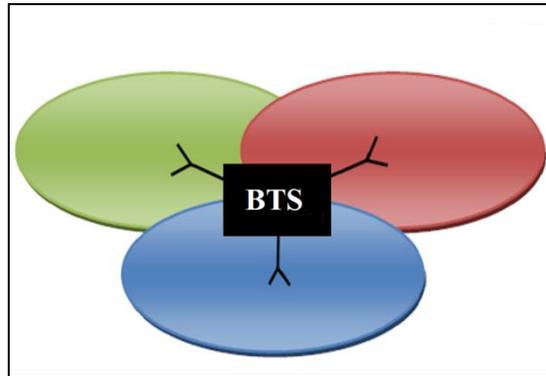


Figure 19 : Rayonnement des Antennes sectorielles

Ces types d'antennes utilisent deux bandes de fréquences: 790-960 / 1710-2180 MHz, d'où leurs noms antennes Bi-Bandes. Chaque antenne possède quatre entrées, deux ports pour chaque bande.

La figure 20 montre la disposition des antennes sectorielles :



Figure 20 : Antennes bi-bandes sectorielles

Puisque INWI possède des bandes de fréquences en 2600Mhz, ces antennes ne peuvent pas supporter la 4G, il faut donc utiliser les Combiners.

- **COMBINERS**

Chaque BTS gère trois technologies, donc trois bandes de fréquences différentes (900Mhz, 1800Mhz et 2100Mhz), et puisque l'antenne n'a que quatre ports, elle ne peut gérer que deux

bandes de fréquence, un nouveau équipement a été mis en place permettant ainsi de combiner les deux technologies (1800Mhz et 2100Mhz) dans un seul canal, il s'intitule COMBINER.

Un COMBINER est un équipement passif qui a deux ports d'entrées et un port pour la sortie, il sert à combiner les deux bandes de fréquences 1800 Mhz pour l'EDGE et 2100 Mhz pour UMTS, et les envoie à travers le même câble vers l'antenne.

Les COMBINERS du site sont présentés dans la figure suivante :

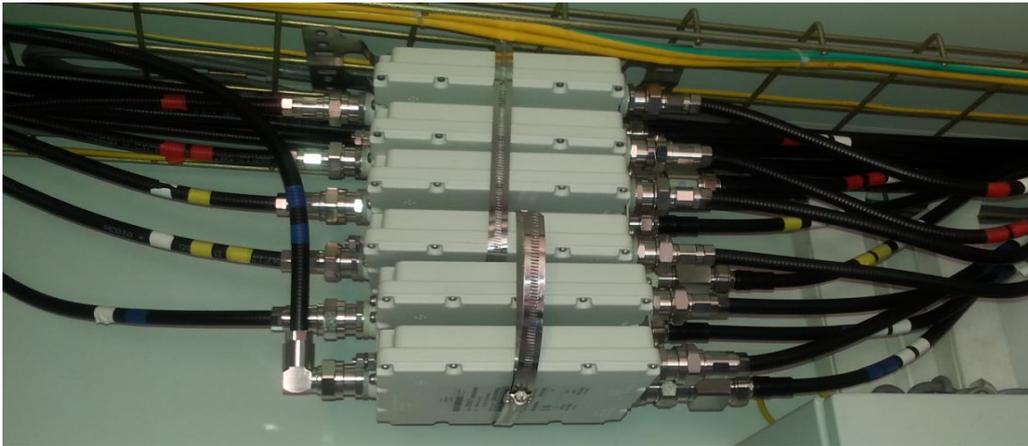


Figure 21 : COMBINERS du site

- **Feeder et Jumper**

Les Feeders et les Jumpers: sont des guides d'ondes qui servent à connecter et transmettre des données entre les antennes et les équipements de la station de base.

La différence entre ces deux guides d'onde c'est que le Feeder est rigide il est utilisé pour les longues distances à cause de sa robustesse aux pertes, tandis que le Jumper est plus flexible et il est utilisé pour les courtes distances car il présente plus de pertes.

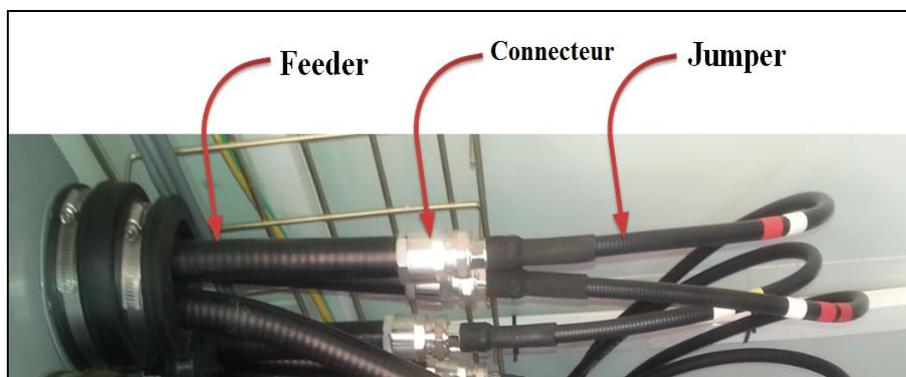


Figure 22 : Feeder, connecteur et Jumper

- **BTS3900**

Le cabinet de la station de base 3900 utilise une conception modulaire. Il fournit des fonctions telles que la distribution d'énergie et la protection contre les surtensions. Dans cette solution, les modules RF travaillent dans différents modes et sont reliés au module de traitement de bande de base BBU à travers le port CPRI par un câble optique ou un câble électrique pour assurer la transmission des signaux. Les modules RF travaillent dans différents modes et partagent le même BBU, répondant ainsi aux exigences de la construction rapide et de l'évolution des réseaux mobiles. Ce cabinet prend en charge trois types de puissance d'entrée: -48 VDC, +24 V DC et 220 V AC , il est composé des éléments suivants :

- Unités RF (MRFU, DRFU, WRFU).
- BBU (Unité de bande de base).
- DCDU-01 : c'est l'unité qui distribue l'énergie vers les autres unités du cabinet.
- L'unité FAN : c'est une unité de climatisation qui comporte quatre ventilateurs.

La Figure ci-dessous montre un cabinet avec une puissance d'entrée -48 V [11]:

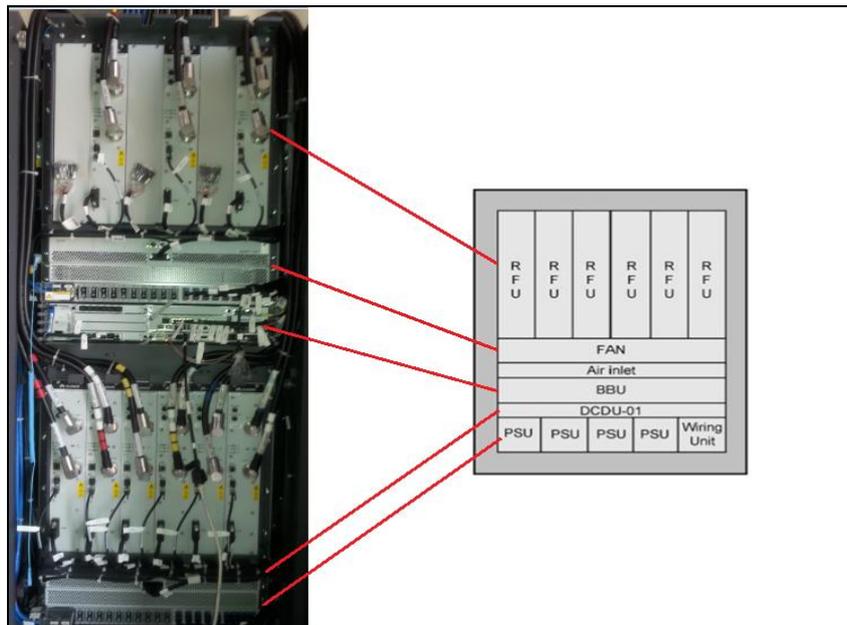


Figure 23 : Structure du cabinet de la BTS3900

➤ **Bloc Radio Fréquence:**

L'unité de fréquence radio (RFU) module les signaux en bande de base et démodule les signaux RF, traite les données, combine et divise les signaux. Ce module implémente les cartes MRFU, DRFU et WRFU qui varient en fonction de différents modes :

- DRFU: Unité de fréquence radio applicable au scénario GSM seulement.

- GRFU: Unité de fréquence radio applicable au scénario GSM seulement. La différence c'est que la carte GRFU supporte plus de porteuses que la DRFU. Elle est souvent utilisée pour le GSM 1800.

- WRFU : Unité de fréquence radio applicable au scénario UMTS seulement.

- MRFU: Unité de fréquence radio qui peut supporter de multiples fréquences. Elle s'applique à plusieurs scénarios tels que GO, UO, GU.

➤ **Bloc BBU (Baseband Unit):**

La BBU est l'unité de contrôle et de transmission en bande de base au niveau de la BTS3900. C'est la partie la plus intelligente au niveau de la MBTS. Dotée d'une conception modulaire, elle est composée du sous-système de transport, sous-système de bande de base, sous-système de commande, et le module de puissance.

La BBU3900 assure plusieurs fonctions, en effet elle permet de:

- ✓ Fournir des interfaces pour la communication des données entre la MBTS et le MBSC.
- ✓ Fournir les ports CPRI pour la communication entre le BBU et le RFU.
- ✓ Fournir les ports USB pour le chargement des fichiers de configurations dans la MBTS.

- ✓ Fournir un canal entre la station de base et le LMT ou le M2000 pour le fonctionnement et la maintenance de la station de base.

- ✓ Traiter les signaux en bande de base dans les liaisons montante et descendante.

- ✓ Gérer l'ensemble du système et fournir des horloges pour la synchronisation.

La figure ci-dessous illustre l'emplacement des différentes cartes de l'unité BBU :

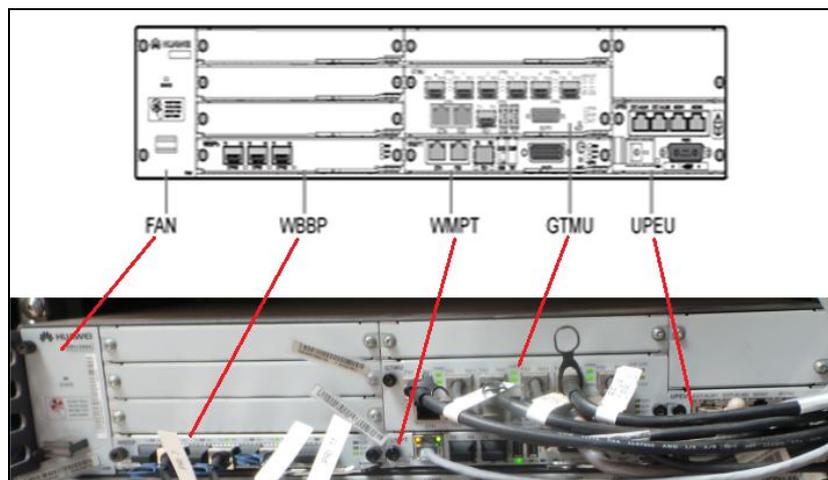


Figure 24: Emplacement des cartes de la BBU

Le tableau ci-dessous illustre les différentes cartes de la BBU, leurs rôles et leurs panels [11] :

Carte	Rôle	Panel
WMPT	<ul style="list-style-type: none"> Fournit les canaux OM pour l'UMTS. Contrôle les autres cartes. Fournit les ports USB pour le chargement du script sur la MBTS. Fournit les ports de transmission E1 et FE/GE pour supporter 	
WBBP	<ul style="list-style-type: none"> Traite les signaux en bande de base (uplink et downlink). Fournit l'interface CPRI pour la communication entre BBU et WRFU Supporte les fonctions HSUPA 	
GTMU	<ul style="list-style-type: none"> Gère, maintient et contrôle la station de base. Supervise le FAN et le module de puissance. Fournit l'interface CPRI pour la communication entre BBU et GRFU. Fournit les canaux OM pour le 	
UPEU	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle de l'alimentation en cas de surcharge ou de sous-alimentation. Reporte les alarmes de l'alimentation 	

Tableau 3: Différentes cartes de la BBU

La BTS3900 supporte LET, et d'après la description de celle existante, nous remarquons qu'il y a des emplacements non occupés au niveau des RFU et au niveau BBU, d'où la possibilité d'ajouter la nouvelle technologie à la BTS3900.

3. Les contrôleurs de station de base existants

L'opérateur INWI a déployé des contrôleurs de stations de base de type BSC6910, Il s'agit d'un produit de nouvelle génération conforme à l'augmentation du trafic dans le réseau à haut débit et à la diversité des services. Il assure la gestion des ressources radios, la gestion des stations de base, le contrôle de puissance et la gestion du handover [12].

Le BSC6910 est divisé en plusieurs sous-systèmes assurant chacun des tâches complémentaires pour effectuer les différentes opérations supportées par ce contrôleur. Ces sous-systèmes sont résumés comme suit: sous-système de commutation, sous-système de traitement des services, sous-système de transport, sous-système de synchronisation d'horloge, sous-système d'exploitation et de maintenance (OM). Le schéma de la figure 25 illustre les modules du BSC :

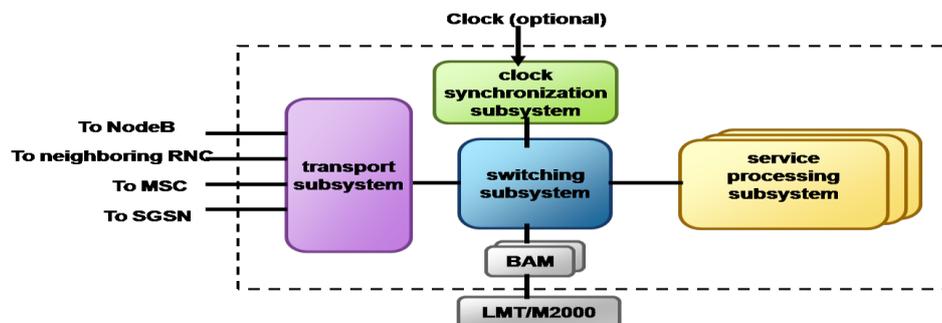


Figure 25 : Structure logique du MBSC

- **Le sous-système de commutation**

Le sous-système de commutation effectue principalement la commutation des données de trafic, des données de signalisation, des signaux OM et aussi des signaux d'horloge entre les différents sous-cabinets.

- **Le sous-système de traitement de service**

Il assure le codage et le décodage de la voix ainsi que l'adaptation des débits, la gestion de la mobilité et tout ce qui est gestion des ressources radio. Physiquement, ce sous-système est composé de deux modules, un pour les traitements CS et un autre pour les traitements PS assurés par deux unités DSP.

- **Le sous-système de traitement d'interfaces**

C'est un module qui fournit les ports et les ressources pour la transmission ATM, TDM et IP. Logiquement, il est composé des unités de traitement pour assurer la gestion des différentes interfaces du MBSC.

- **Le sous-système d'exploitation et de maintenance**

Le sous-système OM est responsable des fonctions d'exploitation et de maintenance du MBSC. Il permet d'interroger l'état de fonctionnement du système et informer ses défauts en temps réel, il gère le processus de chargement de programmes et des fichiers de données sur les cartes après leur démarrage ou redémarrage et permet aussi la mise à niveau du MBSC vers une version ultérieure ou bien au cas d'une extension de capacité.

- **Le sous-système Synchronisation de l'horloge**

Il fournit les signaux de synchronisation pour toutes les unités du MBSC et fournit aussi les horloges de référence pour les MBTS qui lui sont connectées.

Sur la figure ci-dessous est présenté le sous-cabinet du BSC6910 :



Figure 26 : Sous-cabinet du BSC6910

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, l'architecture de la 4G ne dispose pas de contrôleur station de base, et puisque toutes les technologies existantes vont occuper le même canal physique, ceci créera plus de charge sur les interfaces de la MBSC lors du déploiement de la 4G.

II. Plan de migration vers la 4G

Afin de pouvoir adjoindre la 4G au réseau de l'opérateur, des équipements doivent être ajoutés et d'autres changés pour supporter les modalités de cette technologie. La majorité du travail de migration va se faire au niveau du réseau d'accès, tandis qu'au niveau du réseau cœur il suffit de rajouter en place les entités suivantes au réseau déjà existant :

- MME : Mobility Management Entity
- S-GW : Serving Gateway
- PDN-GW : PDN Gateway
- PCRF : Policy and Charging Rules Function

Et pour que le réseau soit en mesure d'assurer la gestion des utilisateurs et la mobilité avec une meilleure qualité de service, il va falloir connecter le réseau 3G et le réseau 4G pour que ces derniers puissent échanger les informations lors du Handover d'un réseau à un autre, cette connexion sur le plan contrôle relira le MME et le MSC, et sur le plan usagé sera entre le SGW et SGSN.

Et pour ne pas alourdir l'architecture du réseau cœur, il ne serait pas nécessaire d'ajouter une autre base de données, l'existant pourra être utilisé simultanément par toutes les technologies.

Les équipements existants au niveau du réseau cœur seront présentés comme suit :

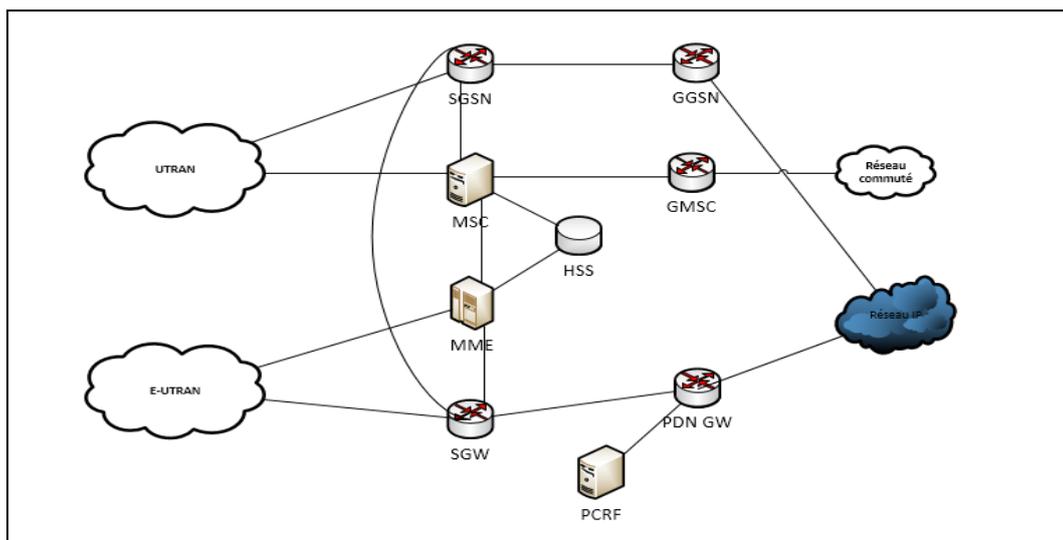


Figure 27 : Equipements du réseau cœur (3G et 4G)

Dimension Data prévoit l'installation de nouvelles antennes comme le premier pas vers la migration. Ces antennes supporteront les technologies existantes ainsi que la 4G, et l'installation des autres équipements viendront après.

Pour mener à bien la dite migration, nous nous sommes basés sur les trois processus suivants : swap des antennes, déploiement des sites et la planification de la couverture LTE.

1. SWAP d'antennes

Ce processus consiste à remplacer les anciennes antennes qui ne supportent que les trois technologies (GSM/EDGE/UMTS) par de nouvelles antennes avec les mêmes paramètres

d'installation (tilt électrique et mécanique, azimute...), une antenne qui supportera la 4G plus les technologies existantes. Pour cela le choix de Dimension Data a été posé sur une antenne du constructeur **Kathrein** appelée « Penta-Bande » ou « Big-Bande », qui permet d'émettre dans 5 bandes, une bande de 698-960MHz, et quatre bandes de 1710-2690MHz.

Le tilt électrique pour la 4G sera déterminé par la suite à partir de la planification par l'outil ATOLL.

Cette antenne est présentée dans la figure ci-dessous :



Figure 28 : Les ports d'antennes Penta

Puisque cette nouvelle antenne possède cinq bandes, on n'aura pas besoin d'utiliser les COMBINERS.

2. Station de base BTS3900

La BTS3900 est l'élément principal et critique de la migration, la majorité du travail de migration se situe au niveau de cette entité, du fait que les nouveautés qu'a apportée la 4G se situent au niveau de cette dernière.

2.1. Les Radios (RFU)

Chaque RFU a une certaine bande de fréquence sur laquelle il opère. Pour pouvoir effectuer les opérations de filtrage, la modulation, la démodulation sur la bande de LTE (2600MHZ), il sera nécessaire d'installer de nouvelles radios RFU. Ces dernières appelées MRFU peuvent supporter de multiples fréquences. Elles peuvent être appliquées aux différentes technologies.

L'emplacement des radios MRFU dans la BTS3900 est présenté sur la figure ci dessous:

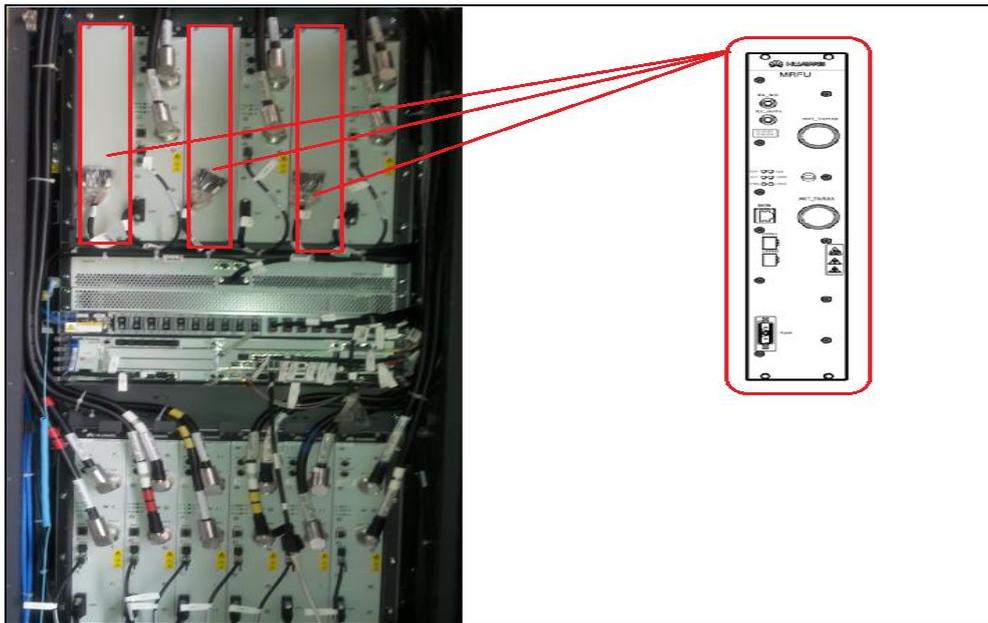


Figure 29 : Emplacement des radios de la 4G dans la BTS3900

Après avoir placé les radios MRFU dans la BTS, il faudra les configurer pour rendre les ports TX et RX actifs, ainsi que pour définir la puissance d'alimentation des antennes et les bandes de fréquences de la modulation.

2.2. Carte de traitement des données LTE (LBBP)

Pour que les données de LTE soient traitées, un nouveau module devra être ajouté à la BBU. Cette carte intitulé « LBBP » : qui a comme fonction le traitement des signaux de LTE en bande de base (uplinket downlink), fournir l'interface CPRI pour la communication entre BBU et MRFU.

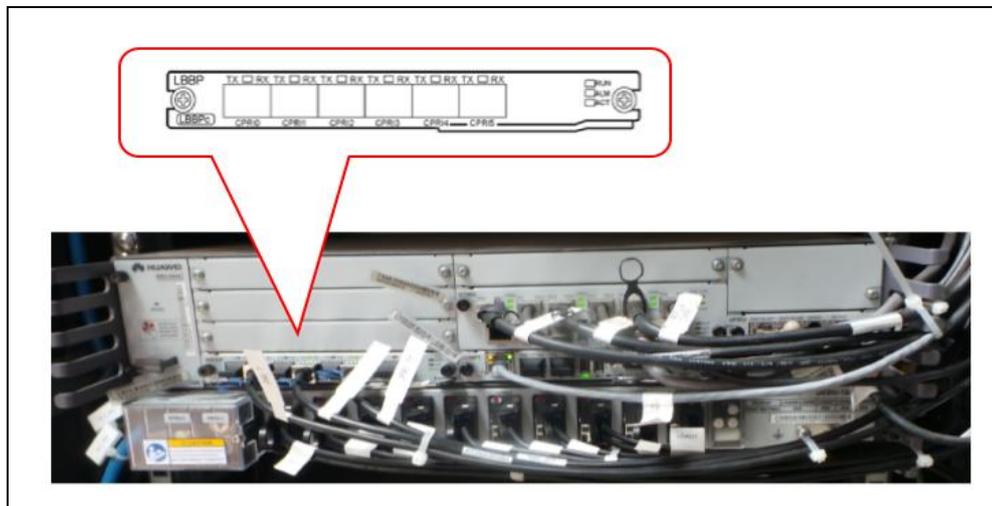


Figure 30 : Emplacement de la carte LBBP dans la BBU

Lorsque la carte est mise à sa place, il faut la configurer pour que le réseau prenne en charge la nouvelle station de base supportant la technologie LTE permettant ainsi de déterminer les paramètres de la cellule. La configuration de cette carte se fait par le biais d'un outil appelé LMT.



Figure 31 : Interface d'accueil du logiciel LMT

Les paramètres qui seront configurés sont :

- Les données sur les interfaces : permettent d'affecter les différentes adresses IP nécessaires en se basant sur l'IP planning de l'opérateur, pour que les stations de base puissent communiquer entre elles ainsi qu'avec le réseau cœur.
- Les données Radio : Cette section consiste à configurer les paramètres relatifs à la cellule c'est à dire l'identité de la cellule, les fréquences uplink et downlink.
- Les paramètres de la cellule : inclut les paramètres relatifs aux technologies LTE.

3. Contrôleur de station de base

Comme nous avons vu au deuxième chapitre, l'architecture du réseau 4G ne possède pas de contrôleur de station de base, les E-NodeB sont connectés directement au réseau cœur. Et puisque les stations de bases existantes sont connectées au réseau cœur par l'intermédiaire des MBSC, il va falloir configurer la MBSC pour qu'elle achemine le trafic de la 4G directement vers le réseau cœur sans avoir recours à passer à travers les cartes de MBSC. Cette configuration s'intitule configuration du voisinage.

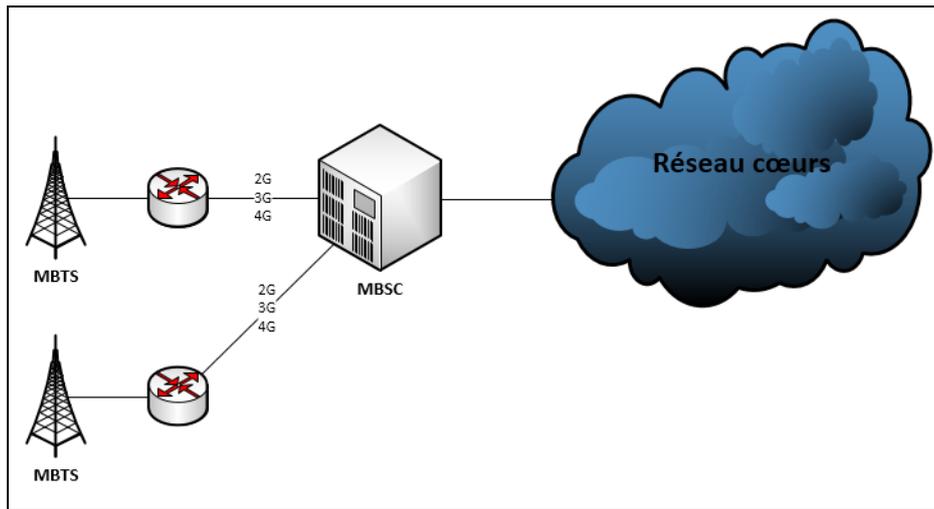


Figure 32 : Liaison entre BTS3900 et BSC6910

La question qui se pose après le déploiement de la 4G est: est-ce-que le MBSC et le réseau de transmission IP/MPLS sera en mesure de supporter ce nouveau trafic ? Et pour répondre à cette question, il va falloir faire étude sur l'impact de la migration sur ce réseau.

III. Impact de la migration sur le réseau IP/MPLS

Le MBSC présente le pont reliant le réseau d'accès au réseau cœurs, ce qui signifie que tous les trafics, circulant entre ces deux réseaux, passeront par l'intermédiaire de cette entité.

Lors du déploiement de la 4G, d'autres types de trafic s'ajouteront au réseau de l'opérateur (signalisation et data) qui occuperont le même canal physique allant de la MBTS jusqu'au PE du réseau IP/MPLS. De ce fait, la MBSC subira des charges de plus pour ce nouveau trafic. Avec la croissance des abonnés LTE, le trafic va augmenter considérablement, ce qui ralentira le processus de commutation, et donc la latence va augmenter considérablement puisque le trafic de la 4G est largement supérieur à celui de la 2G et 3G combinés. Ainsi ce trafic alourdira la taille des tables de routage au niveau du routeur PE qui relie le MBSC au réseau cœur IP/MPLS, ce qui augmentera d'avantage le temps du routage.

Cette latence impactera les services de toutes les technologies, et surtout les services de mode de conversation (phonie et visiophonie) où la quasi-instantanéité du transfert de l'information est le paramètre essentiel.

1. Conception de la nouvelle architecture

L'infrastructure mobile existante est très hiérarchique avec les exigences de service orienté connexion et des relations one-to-one (MBTS a une relation one-to-one avec le RNC

seulement). Tandis que l'architecture de LTE est plate, où les e-NodeB qui feront partie de l'infrastructure IP auront une relation one-to-many avec les SGW, les MME et les E-NodeB.

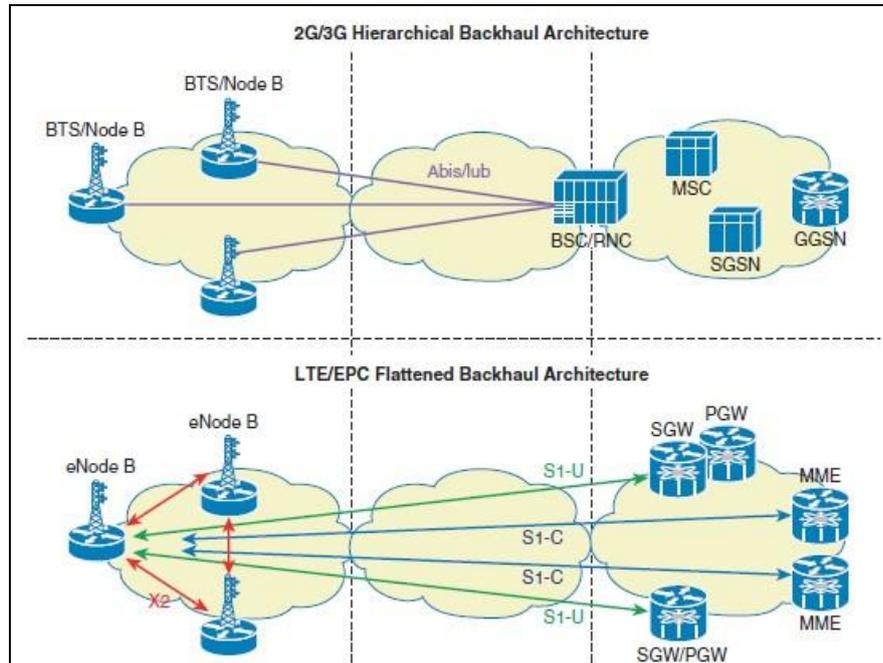


Figure 33 : Architecture du réseau de la 2G/3G/4G [21]

Pour satisfaire les exigences des services de chaque technologie et remédier aux problèmes introduits par la migration, nous avons adopté l'approche d'UMMT (Unified MPLS for Mobile Telecommunication) puis nous l'avons adapté au réseau existant. Cette approche consiste à hiérarchiser le réseau en trois sous-réseaux : accès, agrégation et cœurs. Elle est donnée sur la figure ci-dessous :

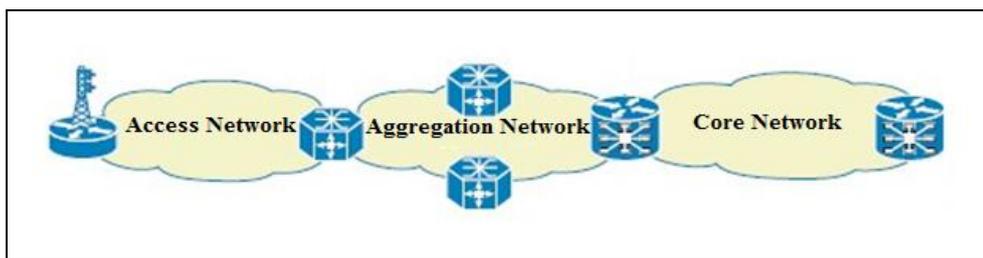


Figure 34 : Approche UMMT [21]

Cette solution basée sur le principe d'agrégation, qui consiste à regrouper les adresses ayant un préfixe commun et les acheminer par les mêmes routes. Ainsi les tables de routage seront réduites ce qui va assurer l'accélération du processus de commutation, la minimisation du coût du nombre des opérations totales. Aussi ceci permettra d'économiser sur l'espace des labels et de simplifier l'architecture End-to-End.

Dans notre cas le réseau IPRAN présente l'Access Network, et le réseau IP/MPLS représente le Core Network. Nous proposons d'ajouter une paire de routeurs entre ces deux réseaux qui vont agréger les trafics de même type par le même chemin.

Notre choix des routeurs c'est posé sur le ASR9000 du fournisseur d'équipements réseaux CISCO, cela en raison de ces performances élevées pour la périphérie et l'agrégation, ainsi que pour sa compatibilité avec les trafics mobiles, et avec une capacité de routage qui peut atteindre 6.4Tbs (voir annexe A).

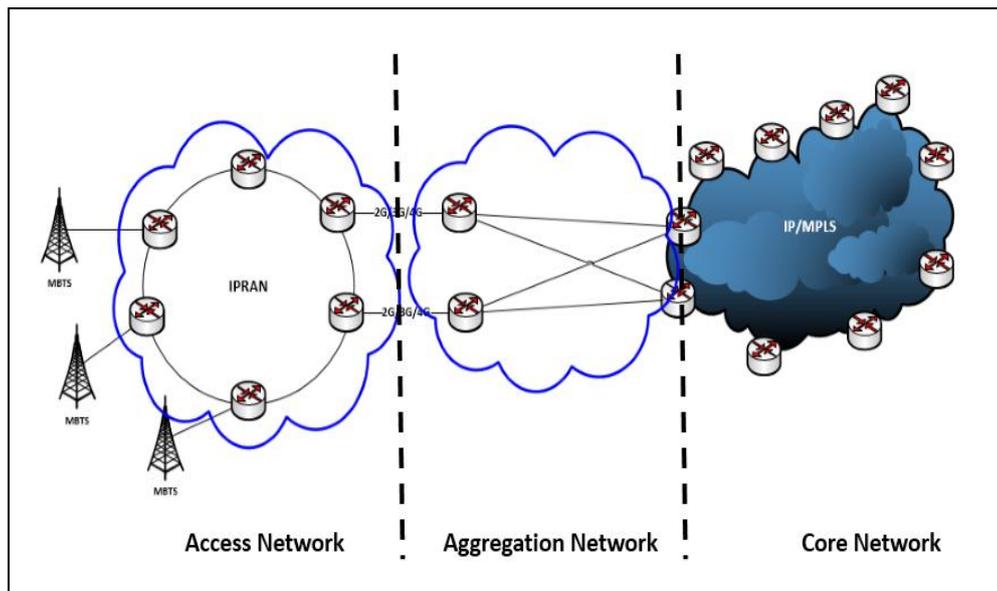


Figure 35 : Nouvelle architecture après migration vers la 4G

Ainsi la communication entre le réseau d'accès et le réseau cœurs va se faire à travers des tunnels VPN, comme la montre la figure ci-dessous :

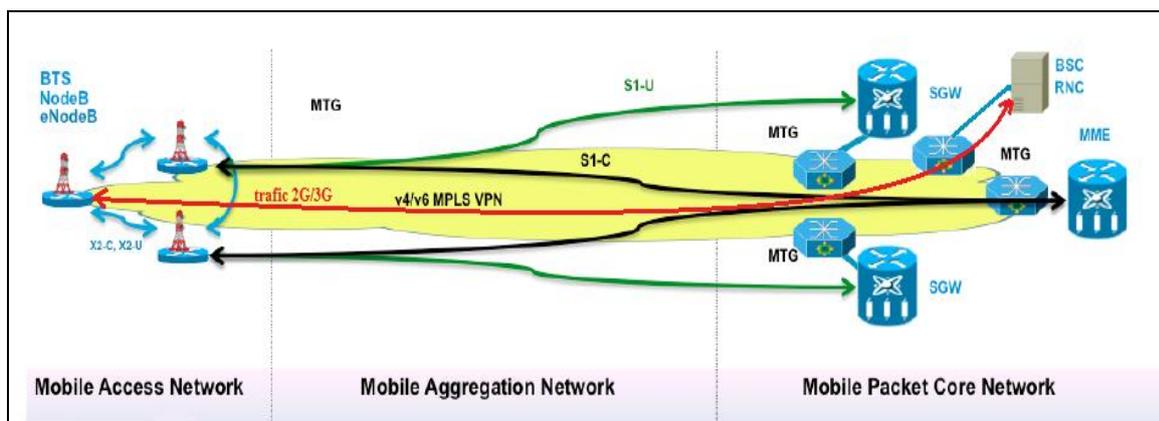


Figure 36 : Plan de communication réseau accès/cœurs

2. Implémentation de l'architecture IP/MPLS sur GNS3

Après avoir présenté l'architecture utilisée pour la migration 4G, nous enchainons avec la détermination et l'implémentation des protocoles de routage et des différentes techniques assurant le transport de trafic. Cela par émulation sur GNS3, comme étant un outil libre développé par CISCO qui permet l'émulation des réseaux informatiques.

Le réseau cœurs MPLS de l'opérateur INWI est constitué de quatre routeurs LSR de haute gamme. L'architecture du réseau IP/MPLS est présentée sur la figure ci –dessous :

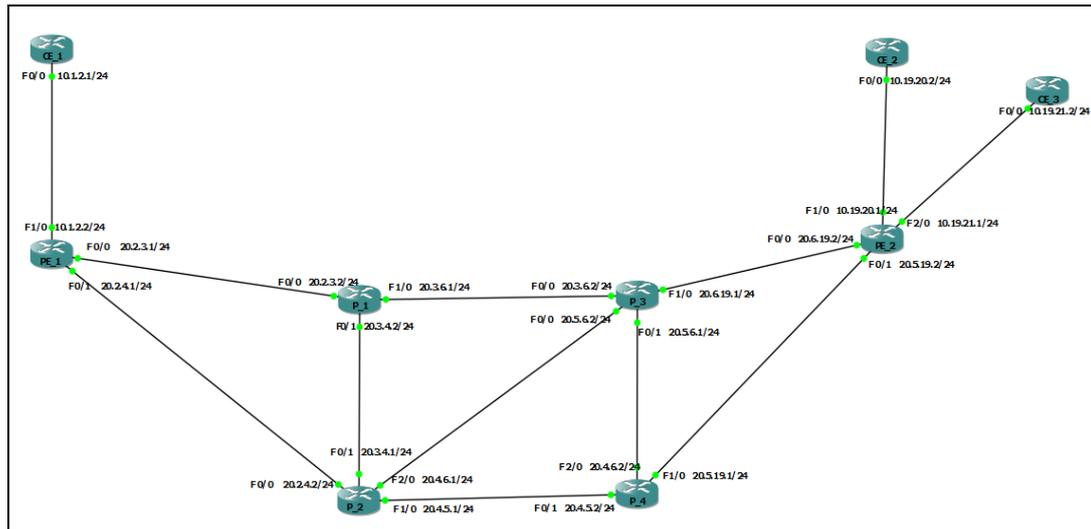


Figure 37 : Architecture du réseau IP/MPLS sur GNS3

Pour distinguer entre les différents routeurs, une terminologie particulière est employée selon leurs fonctions:

- P (Provider) : ce sont les routeurs du réseau cœurs MPLS.
- PE (Provider Edge) : ce sont les routeurs situés à la frontière de cœurs MPLS, chargés d'interconnecter les routeurs clients au réseau cœurs.
- CE (Customer Edge) : ce sont les routeurs appartenant au client, dans notre cas ils désignent MME, S-GW et le réseau d'accès.
 - CE1 : routeur relié aux stations de bases
 - CE2 : routeur relié à la MME
 - CE3 : routeur relié au S-GW

La configuration et l'implémentation de cette architecture sera faite selon les étapes suivantes :

- Configuration du plan d'adressage des interfaces, et les adresses loopback0 des routeurs (ceux sont des interfaces toujours UP, qui assure la continuité et la connectivité entre les routeurs).
- Configuration du protocole OSPF sur le Backbone.
- Configuration du MPLS/LDP sur le Backbone.
- Configuration du BGP entre les PE.
- Configuration de l'EIGRP entre les PE et CE

Les différentes configurations effectuées sont données dans l'annexe B.

• Plan d'adressage

Dans cette topologie nous avons utilisé deux plans d'adressages des réseaux, 10.0.0.0 entre les CE et les PE, 20.0.0.0 à l'intérieur du Backbone MPLS. Ces adresses sont présentées sur le tableau suivant :

Routeur	Interface	Adresse
PE1	Fa 0/0	20.2.3.1
	Fa 0/1	20.2.4.1
	Fa 1/0.1	10.1.2.2
	Fa 1/0.2	10.1.8.2
	Loopback0	172.16.1.1
PE2	Fa 0/0	20.6.19.2
	Fa 0/1	20.5.19.2
	Fa 1/0	10.19.20.1
	Fa 2/0	10.19.21.1
	Loopback0	172.16.1.2
P1	Fa 0/0	20.2.3.2
	Fa 0/1	20.3.4.2
	Fa 1/0	20.3.6.1
	Loopback0	1.1.1.1
P2	Fa 0/0	20.2.4.2
	Fa 0/1	20.3.4.2
	Fa 1/0	20.3.6.1
	Fa 2/0	20.4.6.1
	Loopback0	2.2.2.2
P3	Fa 0/0	20.3.6.2
	Fa 0/1	20.5.6.1
	Fa 1/0	20.6.19.1
	Fa 2/0	20.4.6.2
	Loopback0	3.3.3.3
P4	Fa 0/0	20.5.6.2
	Fa 0/1	20.4.5.2
	Fa 1/0	20.5.19.1
	Loopback0	4.4.4.4

CE1	Fa 0/0.1	10.1.2.1
	Fa 0/0.2	10.1.8.1
	Loopback0	7.7.7.7
CE2	Fa 0/0	10.19.20.2
	Loopback0	8.8.8.8
CE3	Fa 0/0	10.19.21.2
	Loopback0	9.9.9.9

Tableau 4 : Plan d'adressage des différentes interfaces des routeurs

Le trafic de la LTE est divisé en deux catégories, data et signalisation. Chacune catégorie possède sa propre destination, pour cela nous avons subdivisé l'interface entre PE1 et CE1 en deux sous-interfaces afin de séparer les flux de chaque trafic.

• Mise en place des VRF

Comme nous l'avons vu précédemment, le flux de la LTE est divisé en deux (data et signalisation), et l'établissement d'un VPN entre les PE implique l'isolation du trafic entre les sites n'appartenant pas aux mêmes VPN. Pour réaliser cette séparation, les routeurs PE ont la capacité de gérer plusieurs tables de routages grâce à la notion de VRF (Virtual Routing and Forwarding) qui consiste à virtualiser une partie du routeur, afin de créer pour chaque VPN sa propre table de routage.

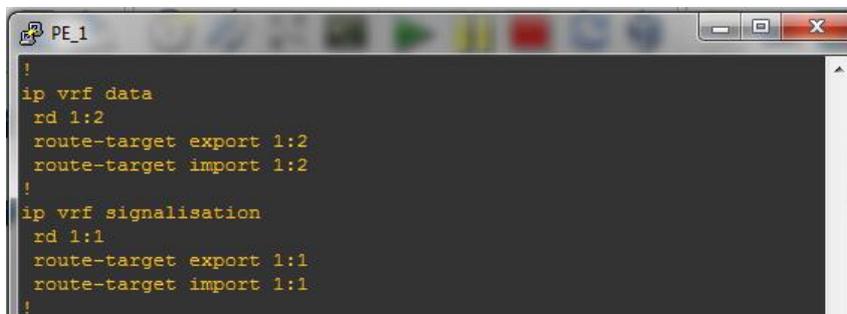
La création des VRF est basée sur deux notions importantes:

- RD : Route Distinguisher est un identifiant pour les VRF, afin de garantir l'unicité des routes, il s'écrit sous la forme « RD nn : nn »
- RT : Route Target définit la manière dont les routes sont insérées dans les VRF, et cela à travers l'import et l'export des routes. La RT s'écrit sous la forme :

>> Route import nn : nn

>> Route export nn : nn

La figure ci-dessous représente les VRF créés sur PE1 et PE2:



```

!
ip vrf data
rd 1:2
route-target export 1:2
route-target import 1:2
!
ip vrf signalisation
rd 1:1
route-target export 1:1
route-target import 1:1
!

```

Figure 38 : VRF créés sur PE1 et PE2

• Activation du MPLS

Pour que le MPLS soit fonctionnel dans le Backbone, il va falloir activer le LDP (Label Distribution Protocol) sur toutes les interfaces à l'intérieur du réseau cœurs MPLS.

```

PE_1
interface FastEthernet0/0
ip address 20.2.3.1 255.255.255.0
duplex auto
speed auto
mpls ip

```

Figure 39 : Activation du MPLS

• Protocoles de routage

Le routage est un mécanisme indispensable à n'importe quel type de réseau, il définit les routes à suivre afin que les paquets puissent être acheminés d'un expéditeur à un récepteur.

Les protocoles de routage IP permettent aux routeurs de construire les tables de routages, qui contiennent les destinations finales avec les adresses de saut suivant. Le choix de la méthode de routage dépend de plusieurs critères à savoir la taille du réseau, les débits des liens, la topologie générale du réseau et les performances et capacités des routeurs.

Les protocoles que nous utiliserons sont EIGRP entre PE et CE, et l'OSPF dans le backbone MPLS.

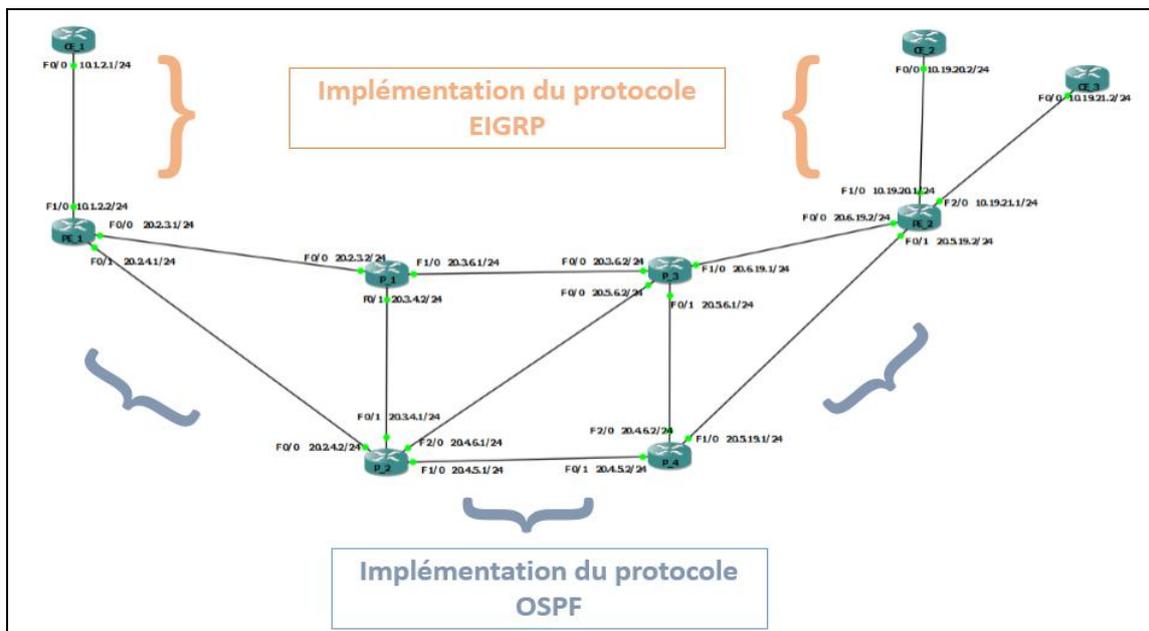


Figure 40 : Implémentation des protocoles

○ Implémentation de l'OSPF

L'activation de l'OSPF permettra la communication entre les routeurs du réseau cœurs, afin qu'ils puissent échanger leurs tables de routage. Cette configuration va être faite sur toutes les interfaces du réseau cœurs.

La figure suivante présente le routeur PE1 configuré par OSPF :



```

PE_1
router ospf 1
log-adjacency-changes
network 20.2.3.0 0.0.0.255 area 0
network 20.2.4.0 0.0.0.255 area 0
network 172.16.1.0 0.0.0.3 area 0
!

```

Figure 41 : Implémentation des protocoles

○ Implémentation de l'EIGRP

L'activation de l'EIGRP entre les PE et CE permettra la communication entre eux. Elle se fait par configuration sur différentes interfaces existant entre les PE et CE.

La figure suivante présente le routeur PE1 configuré par EIGRP :



```

PE_1
!
router eigrp 1
auto-summary

```

Figure 42 : Activation de l'EIGRP sur le routeur PE1

● Configuration des VPN

La création des VPN entre les PE se fait par l'activation du protocole MP-BGP sur ces derniers, qui prennent comme référence les adresses Loopback.

Cette configuration devra se faire sur les deux PE, la figure ci-dessous illustre le routeur PE configuré en MP-BGP :



```

router bgp 1
no synchronization
bgp log-neighbor-changes
neighbor 172.16.1.2 remote-as 1
neighbor 172.16.1.2 update-source Loopback0
no auto-summary
!
address-family vpnv4
neighbor 172.16.1.2 activate
neighbor 172.16.1.2 send-community extended

```

Figure 43 : Configuration du MP-BGP

● Gestion de la redistribution des préfixes

Cette étape consiste à configurer les PE de telle sorte à ce que la redistribution des routes soit effectuée mutuellement entre BGP et EIGRP, et dans les deux sens. Et cela en raison d'automatiser la redistribution des routes, qui présente un avantage majeur lors de l'ajout d'une nouvelle route sur CE, cette route est automatiquement redistribuée dans le backbone sans avoir recours à intervenir sur ce dernier.

- EIGRP >> BGP

```

PE_1
address-family ipv4 vrf signalisation
 redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
 network 10.0.0.0
 no auto-summary
 autonomous-system 1
 exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf data
 redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
 network 10.0.0.0
 no auto-summary
 autonomous-system 1
 exit-address-family

```

Figure 44 : Redistribution EIGRP vers BGP

- BGP >> EIGRP

```

PE_1
address-family vpnv4
 neighbor 172.16.1.2 activate
 neighbor 172.16.1.2 send-community extended
 exit-address-family

```

Figure 45 : Redistribution BGP vers EIGRP

• Vérification du bon fonctionnement

Après implémentation des protocoles nous vérifions la connectivité entre les CE :

```

CE_1
CE_1#ping 10.19.20.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.19.20.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 88/112/132 ms
CE_1#ping 10.19.21.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.19.21.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 72/94/132 ms

```

Figure 46 : Test de connectivité entre les CE

Les routeurs CE1 et CE2, respectivement CE1 et CE3, peuvent communiquer entre eux sans aucun problème.

Il reste à tester la tolérance aux pannes, pour ce faire nous traçons la route entre les PE.

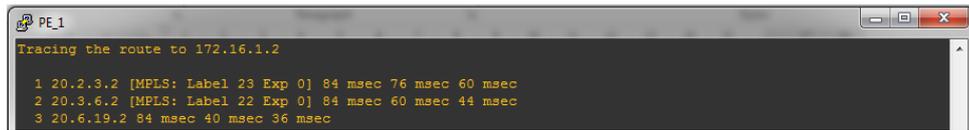
```

PE_1
Tracing the route to 172.16.1.2
 1 20.2.4.2 [MPLS: Label 22 Exp 0] 72 msec 76 msec 36 msec
 2 20.4.6.2 [MPLS: Label 22 Exp 0] 76 msec 60 msec 28 msec
 3 20.6.19.2 64 msec 44 msec 40 msec

```

Figure 47 : Traçage de la route entre PE

La route parcourue par PE1 pour atteindre PE2 passe par les routeurs P2 et P3, nous testons la tolérance aux pannes, nous éteignons le routeur P2 et nous traçons de nouveau la route entre P1 et P2.



```
PE_1
Tracing the route to 172.16.1.2
 1 20.2.3.2 [MPLS: Label 23 Exp 0] 84 msec 76 msec 60 msec
 2 20.3.6.2 [MPLS: Label 22 Exp 0] 84 msec 60 msec 44 msec
 3 20.6.19.2 84 msec 40 msec 36 msec
```

Figure 48 : Test de tolérance aux pannes

La nouvelle route passe par P1 et P3, donc la tolérance aux pannes est vérifiée. D'où le test de tolérance en panne est vérifié.

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons étudié la migration du réseau INWI vers la 4G, ainsi nous avons étudié l'impact de cette migration sur le réseau de transport de l'opérateur, pour en déduire ensuite une solution.

Dans le chapitre suivant nous allons définir le nombre de stations de base nécessaire pour couvrir notre zone cible, ainsi que les paramètres de déploiement pour les anciens les nouveaux sites.

Chapitre IV :

Planification de la couverture du réseau LTE

Introduction :

L'installation des antennes a été prévue comme le premier pas vers la migration, cette étape consiste à remplacer les anciennes antennes qui ne supportent que les trois technologies (GSM/EDGE/UMTS) par de nouvelles antennes avec les mêmes paramètres (tilt électrique et mécanique, azimute...). L'objectif de ce chapitre est de faire le dimensionnement de la couverture radio pour la ville de Rabat et spécifiquement la zone Rabat ville, afin d'optimiser les ressources pour desservir le maximum d'abonnés.

I. Dimensionnement de la couverture LTE

La planification constitue une étape primordiale et délicate de déploiement d'un réseau cellulaire, à travers laquelle l'opérateur cherche à desservir le maximum d'abonnés mobiles avec le minimum de ressources (nombre d'E-NodeB, le spectre de fréquences). Le principal objectif de cette partie est de déterminer le nombre optimal de stations de base pour desservir la zone ciblée.

La planification LTE est une tâche complexe, constituée d'une succession d'étapes. Le processus de cette tâche est présenté sur la figure ci-dessous :

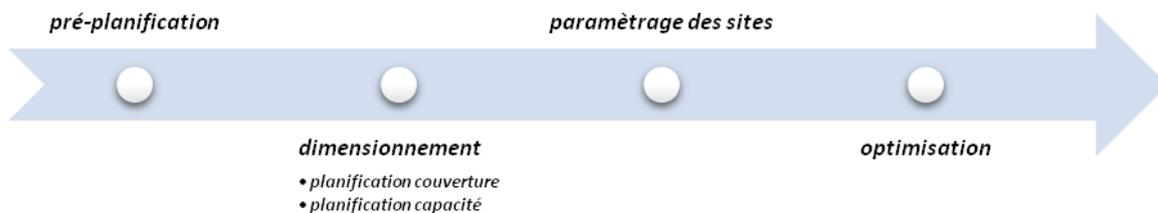


Figure 49 : Processus de planification

1. Pré-planification

La pré-planification présente la 1^{ère} étape du processus de dimensionnement, elle consiste à rassembler des informations concernant la zone de déploiement, et les équipements d'émission/réception. Parmi ces informations on peut citer :

- Les informations sur l'E-NodeB et l'UE.
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, démographie de la zone, densité d'abonnés)

- Les informations sur les abonnés de la zone (services demandés, trafic offert).

2. Planification orienté couverture

La planification orientée couverture constitue la tâche la plus critique du dimensionnement, elle consiste à établir le bilan de liaison, afin d'estimer le taux de perte du trajet, en se basant sur des modèles de propagation empirique.

2.1. Bilan de liaison

Pour toute application sans fil, la 1^{ère} chose à déterminer est la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur. La portée de l'émetteur dépend essentiellement de du bilan de liaison.

L'expression générale du bilan de liaison s'écrit comme suit :

$$P_R = P_T + G_T - L_T + G_R - L_R - PL \quad (1)$$

Paramètre	Définition
P_R	Puissance reçue par le récepteur
P_T	Puissance émise
G_T	Gain de l'émetteur
L_T	Pertes dus à l'émetteur
G_R	Gain du récepteur
L_R	Pertes dus au récepteur
PL	Affaiblissement du parcours

Tableau 5 : paramètres du bilan de liaison

Dans le cas d'un affaiblissement maximal, la puissance reçue va dépendre de la sensibilité du récepteur, et l'équation de cet affaiblissement peut s'écrire :

$$MAPL = P_T + G_T - L_T - R_S - L_R \quad (2)$$

Où R_S représente la sensibilité du récepteur, elle peut être calculée par la formule suivante:

$$R_S = 10 \log_{10}(kTB_R) + SINR_{req} - NF + IM - G_R \quad (3)$$

Paramètre	Définition
k	Constante de Boltzmann
T	Température ambiante (K)
B_R	Largeur de la bande de réception
$SINR_{req}$	Signal-to-Interference-and-Noise Ratio : Dédit à partir des simulations du lien.
NF	RF Noise Figure (dB)
IM	Marge d'interférence (dB) : donnée par le constructeur, elle dépend de la charge de station de base.
G_R	Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du nombre d'antennes $G_R = 10\text{Log}_{10}(N_B)$

Tableau 6 : Paramètres de la sensibilité du récepteur

A partir de la valeur de MAPL, on pourra déterminer le rayon du champ de rayonnement de l'antenne (cellule), cela à travers le calcul des paramètres suivants :

- La largeur de la bande de réception dépend essentiellement du nombre de bloc ressources N_{PRB} , nombre de sous porteuses (12 sous-porteuses) et de l'espacement entre sous porteuses $\Delta f = 15\text{kHz}$. Cette largeur est représenté par l'expression suivant :

$$B_R = N_{PRB} * 12 * \Delta f \quad (4)$$

Largeur de la Bande (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Nombre de ressources blocs	6	15	25	50	75	100

Tableau 7 : nombre de ressource blocs en fonction de la largeur de la bande [5]

- Le $SINR_{req}$ est un paramètre qui se déduit à partir des simulations du lien. La figure ci-dessous montre la variation du SINR en fonction du nombre de blocs ressources et du type de modulation :

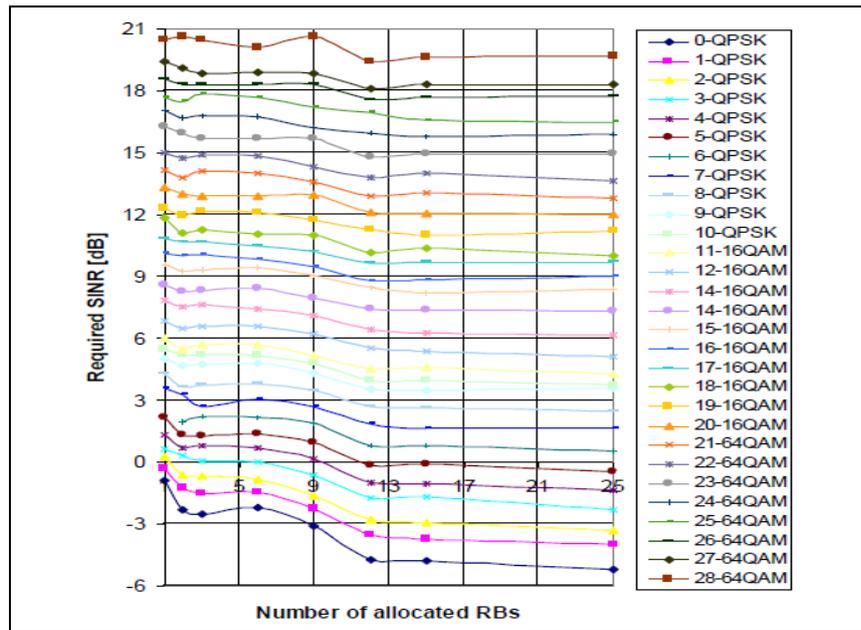


Figure 50 : Variation du SINR en fonction de nombre de bloque ressource [13]

La figure 50 représente la variation de SINR en fonction du nombre de blocs ressources requis, ce nombre est déjà calculé pour toutes les valeurs de MCS (Modulation and Coding Scheme). Exemple : si le MCS est 0-QPSK (QPSK R = 0.1172) et $N_{PRB}=9$ donc SINR = -3 dB.

- La marge d'interférence est un paramètre qui dépend du constructeur, il est représenté en fonction de la charge de station de base.

Charge de la cellule en %	IM en dB
35	1
40	1.3
50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

Tableau 8 : IM en fonction de la charge de la cellule [14]

2.2. Modèle de propagation

Le choix d'un modèle de propagation radio pour le LTE est d'une importance majeure, il décrit le comportement du signal transmis de l'émetteur vers le récepteur. Ce paramètre dépend de plusieurs facteurs : l'environnement (urbain, urbain dense, rural,...), la zone géographique (plate, montagneuse...), les fréquences de fonctionnement et la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Dans ce qui suit nous allons effectuer une comparaison entre les modèles de propagation les plus répandus, afin de pouvoir choisir le modèle le plus convenable.

- **Le modèle Okumura-Hata** : ce modèle de propagation est un compromis entre la précision de la prévision et l'efficacité de calcul. C'est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la radiativité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural). Le modèle Okumura-Hata a la plage de validité suivant:

- Fréquence: 150 MHz ... 1500 Mhz
- Distance : jusqu'à 30Km
- Hauteur de l'antenne émettrice : 20m à 30m
- hauteur de l'antenne réceptrice : 1m ... 10m

- **le Modèle de COST 231-Hata** : le modèle COST 231-Hata tient compte des mêmes contraintes que le modèle d'Okumura-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2000 MHz.

Le modèle Standard Propagation Model : est un modèle de propagation basé sur le modèle Okumura-Hata, la nouveauté qu'a apporté par rapport à ce dernier c'est qu'il supporte des fréquences supérieures à 1500Mhz. L'affaiblissement du parcours modélisé par le SPM est donné par l'équation suivante (voir annexe C) :

$$L_{SPM} = K_1 + K_2 * \text{Log}(d) + K_3 * \text{Log}(H_T) + K_4 * \text{Diffraction} + K_5 * \text{Log}(d) * \text{Log}(H_T) + K_6 * \text{Log}(H_R) + K_{clutter} * f_{clutter} \quad (4)$$

- **Le modèle COST 231-Walfisch-Ikegami**: est une extension du modèle COST 231-Hata, et valable pour les fréquences supérieures 2000Mhz. Ce modèle est donné par l'équation suivante :

$$L_{cost} = L_0 + L_{rts} + L_{msd} \quad (5)$$

Les deux premiers modèles sont exclus car ils ne supportent pas les fréquences supérieures à 2000Mhz, donc il nous reste de choisir entre les deux derniers modèles. Pour cela nous avons simulé leurs PathLoss à l'aide de Matlab, et nous avons obtenu le résultat suivant:

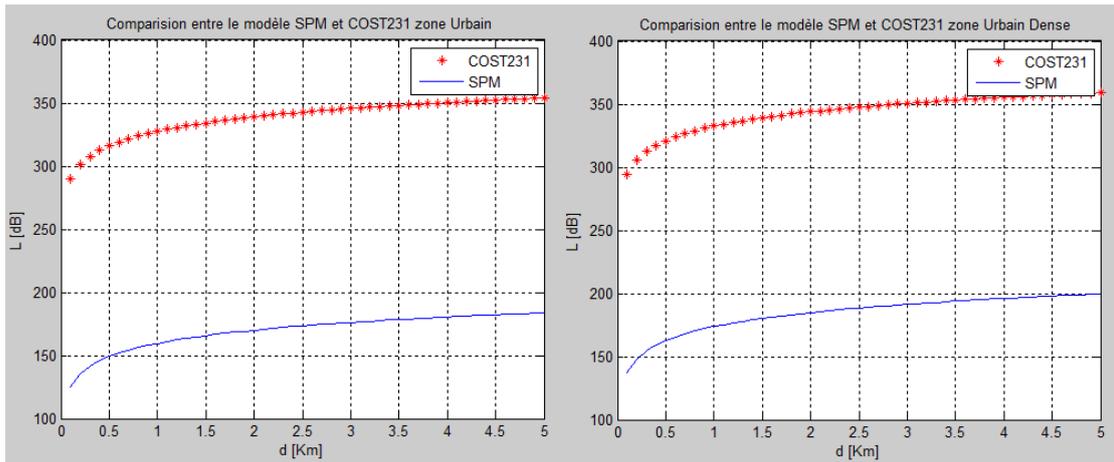


Figure 51 : Comparaison des modèles de propagation (zone urbain et urbain dense)

Notre choix s'est posé sur le modèle SPM (Standard Propagation Model) en raison de la diversité des zones sur lesquelles il peu fonctionner, dans notre cas : les zones urbaines et urbaines denses, ainsi pour son faible affaiblissement par rapport aux autres modèles de propagation.

2.3. Nombre d'E-NodeB

Le nombre d'E-NodeB est le résultat final à chercher, après avoir calculé le MAPL, et en se basant sur les modèles de propagation, on peut déterminer le rayon de la cellule par l'équation suivante :

$$d = 10^{\frac{MAPL - K_1 - K_3 * \text{Log}(H_T) - K_4 * \text{Diffraction} - K_6 * \text{Log}(H_R) - K_{cluster} * f_{cluster}}{K_2 + K_5 * \text{Log}(H_T)}} \quad (6)$$

Une fois le rayon de la cellule calculé, on peut déterminer par la suite le nombre de stations de base pour une zone donnée, et cela par la connaissance du nombre de secteurs par site :

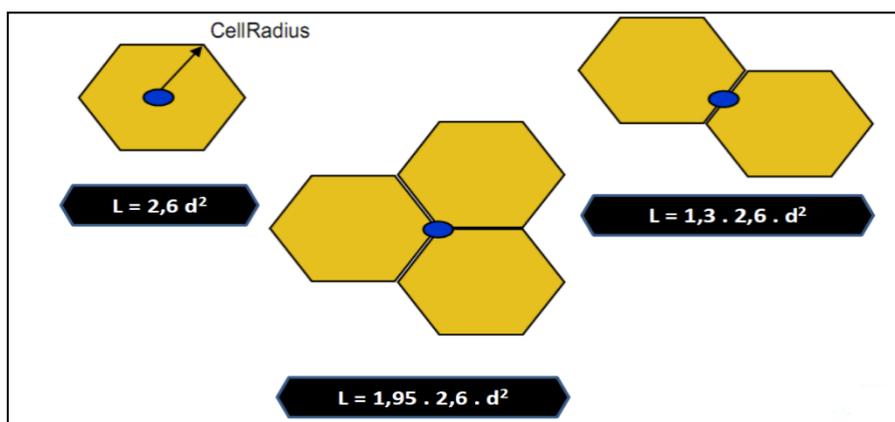


Figure 52 : Différentes configurations des antennes par site [15]

Dans notre cas les antennes tri-sectorielles sont les plus utilisées, ce qui nous ramène à utiliser la relation suivante : $L = 1,95 \times 2,6 \times d^2$ (7)

De ce fait, le nombre de site d'une zone donnée va être calculé par l'expression suivante:

$$\text{Nbr} = E\left(\frac{\text{surface de la zone}}{L}\right) + 1 \quad (7)$$

3. Planification orientée capacité

La planification orientée capacité, comme pour la planification orientée couverture, vise à déterminer le nombre de sites convenable pour une zone donnée. Cette planification est basée sur des estimations des données de la zone de déploiement, à savoir : nombre d'abonnés de la zone, le trafic généré par ces derniers, et la capacité de la cellule.

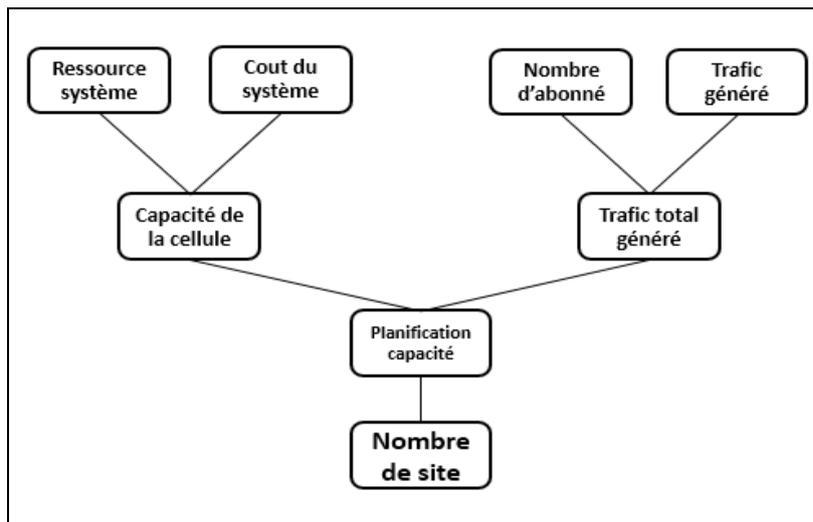


Figure 53 : Démarche de planification orientée capacité

3.1. Estimation du nombre d'abonnés

Le nombre d'abonné pour une technologie qui n'est pas encore mise en place est un paramètre imprévisible, et pour faire une planification orientée couverture, il va falloir estimer le nombre d'utilisateurs de la 4G pour la zone de déploiement considérée. Pour ce faire nous avons besoin des paramètres suivants :

- Nombre d'habitant, et superficie de la zone. ($N_{habitant}$)
- Utilisateur du mobile. (P_U)
- Part du marché de l'opérateur INWI. (P_M)
- Pourcentage d'utilisateur de la 4G. (P_{4G})
- Taux de croissance. ($T_{croissance}$)
- Durée d'investissement. (D_u)

Dans notre cas nous avons travaillé sur la ville de rabat, possédant 1.887.617 habitants, sur une superficie de 117Km². Le pourcentage des utilisateurs du réseau cellulaire est d'environ 90%, dont 30% utilisateurs fait partie de l'opérateur INWI.

INWI prévoit que le pourcentage des utilisateurs de la 4G sera d'environ 10% lors de la mise en place de cette technologie, avec un taux de croissance annuelle de 11%. A travers cette planification, nous étions chargés de faire la planification pour une durée de 5 ans (durée d'investissement).

L'expression de l'estimation du nombre d'utilisateurs de la 4G est définie comme suit :

$$N_{\text{abonné}} = N_{\text{habitant}} * P_U * P_M * P_{4G} * (T_{\text{croissance}} + 1) * D_u \quad (8)$$

3.2. Trafic généré

Le trafic généré est un paramètre estimé du trafic généré par l'abonné à l'heure de pointe. L'heure de pointe est définie comme étant 60 minutes consécutives où le trafic est maximal.

La quantité du trafic des utilisateurs dépend du type de service de base (VoIP, Streaming, FTP...) comme s'est indiqué sur le tableau 9.

Service	Débit en DL(Mbps) D_{DL}	Débit en UL(Mbps) D_{UL}
VoIP	0.171	0.171
FTP	18.432	4.608
Streaming	12.5	12.5

Tableau 9 : Exemple de trafic des services [16]

Le trafic total pour un utilisateur sera la sommation des trafics des services :

$$\text{Trafic}_{UL/DL} = \sum_{\text{services}} D_{UL/DL} \quad (9)$$

3.3. Efficacité spectrale

Tout système de communication sans fil devra réserver des ressources spectrales pour la gestion et le contrôle de trafics échangés. L'efficacité spectrale désigne le taux réel d'utilisation de la bande spectral ($\eta_{UL/DL}$), sans tenir compte des coûts du système $C_{UL/DL}$ (coût de contrôle et de gestion). Ces paramètres sont complémentaires et sont donc reliés par l'expression suivante:

$$\eta_{UL/DL} = 1 - C_{UL/DL} \quad (10)$$

Ce paramètre sera calculé pour le lien montant et descendant.

L'efficacité spectrale va dépendre de la quantité des ressources réservées aux canaux physiques PDSCH et PUSCH (voir annexe D).

Et le coût de système dépendra des paramètres suivants :

- Coût des signaux de référence C_{RS} pour UpLink et DownLink
- Canaux de synchronisation $C_{PSS/SSS}$ pour DownLink
- Coût de canal PBCH C_{PBCH} pour DownLink
- Coût de canal PDCCH, PCFICH et PHICH C_{OH} pour DownLink
- Coût de canal PRACH C_{PRACH} pour UpLink
- Coût de canal PUCCH C_{PUCCH} pour UpLink

Chaque coût cité au-dessus s'obtient par l'établissement du rapport entre le nombre d'éléments ressources occupés par ces signaux N_{ER} , et le nombre total des éléments ressources (bloc ressource). Son expression est définie comme suit :

$$C_{\text{signal}} = \frac{N_{ER}}{C P_i * 12} \quad (11)$$

Et le coût total va être défini comme étant la sommation des différents coûts :

$$C_{DL} = C_{RS} + C_{PSS/SSS} + C_{PBCH} + C_{OH} \quad \text{en DL} \quad (12)$$

$$\text{Et } C_{UL} = C_{RS} + C_{PRACH} + C_{PUCCH} \quad \text{en UL} \quad (13)$$

Généralement le coût du système présente environ un-quart des ressources totales [17].

3.4. Capacité de la cellule

La capacité de la cellule est définie comme étant le débit moyen du canal PDSCH en DownLink et PUSCH en UpLink. Elle dépend de plusieurs paramètres tels que le nombre de porteuses, l'efficacité spectrale, le nombre de secteurs par site....

L'expression de la capacité est donnée par :

$$\text{Capacité}_{DL/UL} = N_{\text{secteur}} * NCC * \eta_{DL/UL} * 12 * N_{BS} * C P_i * 10^3 \quad (14)$$

Dans le tableau suivant, nous donnons les différents paramètres figurant dans l'expression de la capacité :

Paramètre	Description
$N_{secteur}$	Nombre de secteur du site
N_{CC}	Nombre de porteuse
N_{BS}	Nombre de bloc ressource
CP_i	Nombre de symbole par TTI

Tableau 10 : Paramètres de la capacité d'une cellule

3.5. Nombre de site pour la planification orientée capacité

Le nombre de sites donné dans le cas de la planification orientée capacité est donné par la relation :

$$N_{br} = E \left(\frac{N_{abonné} * Trafic_{UL / DL}}{Capacité_{UL / DL}} \right) + 1 \quad (15)$$

Ce calcul sera fait pour le UpLink et DownLink, et on prendra le maximum entre les deux.

4. Nombre d'e-NodeB

La planification vise à déterminer le nombre de stations de base nécessaire pour couvrir une zone, il représente le maximum entre le nombre de site obtenu par la planification orientée couverture et celui calculé par la planification orienté capacité.

- Calcul par la Planification orienté couverture :

Paramètre	Unité	Valeur
Puissance de l'antenne	dBm	46
Gain de l'antenne	dB	18
Pertes du système	dB	3
Noise Figure	dB	7
Thermal Noise	dBm	-102.7
SINR	dB	-5
Marge d'interférence	dB	3
Gain du récepteur	dB	0
Hauteur de l'antenne	m	30
Hauteur du récepteur	m	1.5

Tableau 11 : Paramètres utilisés pour la planification orienté couverture [15]

Tout calcul fait, on aboutit aux résultats suivants:

- MAPL= 157.7 dB
- $L_{SPM} = 46.53 + 53.32 \text{ Log}(d)$ pour les zones urbaines denses (Rabat Medina)

Par l'établissement d'un bilan de liaison équilibré, nous avons calculé le rayon d de la cellule et nous avons trouvé que $d = 316\text{m}$.

Donc la surface de la zone à couvrir par une station de base est de $0.316^2 * 1.95 * 2.6 = 0.50639\text{Km}^2$

Le nombre de sites dans le cas de la planification orientée capacité est donc :

$$Nbr = E\left(\frac{11.04}{0.50639}\right) + 1 = 22$$

- Calcul par la Planification orientée couverture :

Tout calcul fait, on aboutit aux résultats suivants :

- Débit demandé en UL par les abonnés de la zone : 82.174Gbit/s
- Débit demandé en DL par les abonnés de la zone : 94.327Gbit/s
- La capacité d'une station de base est de : 4.042Gbit/s

Ce qui donne :

$$Nbr = \text{Max}\left\{E\left(\frac{82.174}{4.042}\right) + 1; E\left(\frac{94.327}{4.042}\right) + 1\right\} = 24$$

Donc le nombre de station de base avec lequel on va travailler est de 24.

II. Planification par ATOLL

ATOLL est un outil de dimensionnement de la couverture de tout type de réseaux cellulaires, sa principale fonction consiste à optimiser le maximum possible les sites déployés, de manière à couvrir la zone ciblée avec une meilleure QoS.

Le logiciel exploite différentes données en entrée :

- Des données géographiques
- Un sursol
- Des données vectorielles représentant les infrastructures

1. Problématique

La planification avec ATOLL consiste à positionner les sites dans la zone de déploiement, et en agissant sur leurs positions, et d'autres paramètres, à savoir : l'azimute, la hauteur, le tilt électrique et mécanique et la puissance d'émission de l'antenne, on cherchera à couvrir la zone de déploiement.

La contrainte qui se pose, dans ce cas-là, c'est qu'il existe déjà des sites supportant les technologies précédentes. Afin d'optimiser les ressources, il va falloir implémenter la 4G dans ces anciens sites. De ce fait on sera limité par le nombre de paramètres sur lesquelles on va agir.

Les seules paramètres qui nous seront accessibles sont : les tilts électriques et la puissance d'émission, en revanche les autres paramètres sont communs aux autres technologies, et chaque changement dans l'un de ces paramètres risquera d'influencer la couverture de ces technologies (GSM, EDGE et UMTS).

Pour cela, une base de données des sites de Rabat déjà existants nous a été livrée. La figure ci-dessous présente l'ancienne base de données qui nous a été fournie :

Site code	Longitude	Latitude	BTS-RFU-Config	BTS Housing Type	Power Module Type (Amp)	Battery Type (AH)	Number of Batteries	Battery Rack Type	Battery Type (AH)	GSM Filter	CDMA Filter	AZ	HMA TER	HMA SOL	Antenna 1	Electrical Tilt	Mechanical Tilt	AZ
RAB-1001	-6,8382	34,0244	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	15	7,4	18,3	824-9601710-2170-6565	2	3	120
RAB-1002	-6,8301	34,0212	0GRFU522	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	60	4,2	28,1	824-9601710-2170-6565	0	3	150
RAB-1003	-6,8231	34,03588	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	0	26,1	26,1	824-9601710-2170-6565	3	0	120
RAB-1004	-6,8374	34,0154	0AGRFS2	outdoor	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 25dB	6x50 dB	0	6,2	29,45	824-9601710-2170-6565	2	2	120
RAB-1005	-6,8499	34,0173	900AGRFU	outdoor	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 25dB	6x50 dB	0	7	29,15	824-9601710-2170-6565	4	3	120
RAB-1006	-6,8599	34,0104	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	20	10,8	26,8	824-9601710-2170-6565	3	4	120
RAB-1007	-6,8461	34,002	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	40	5,7	25	824-9601710-2170-6565	2	2	180
RAB-1008	-6,8542	33,9968	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	80	9,6	16,6	824-9601710-2170-6565	3	2	180
RAB-1009	-6,8715	33,9993	900GRRU	DBS	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 25dB	6x50 dB	20	8,6	21,6	824-9601710-2170-6565	2	2	130
RAB-1010	-6,88635	33,97878	900AGRFU	outdoor	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 25dB	6x50 dB	0	8,7	24,9	824-9601710-2170-6565	2	3	120
RAB-1011	-6,85424	33,97988	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	30	30	30	824-9601710-2170-6565	3	2	130
RAB-1012	-6,9163	33,9154	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	30	26,4	26,4	824-9601710-2170-6565	2	0	150
RAB-1013	-6,9003	33,9287	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	60	7,4	24,4	824-9601710-2170-6565	3	2	180
RAB-1014	-6,92178	33,93631	900AGRFU	outdoor	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 25dB	6x50 dB	15	32,5	32,5	824-9601710-2170-6565	2	2	150
RAB-1015	-6,7987	34,052	990GRRU	DBS	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 55dB	6x50 dB	100	11	39,8	Antenna bi-technology	6	0	240
RAB-1016	-6,8151	34,0483	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	10	5,7	27,7	824-9601710-2170-6565	2	3	130
RAB-1017	-6,8007	34,0678	900AGRFU	outdoor	PSU-30	184AH	8	IBBS	184AH	6 x 25dB	6x50 dB	30	7,4	26	824-9601710-2170-6565	4	3	130
RAB-1018	-6,8003	34,0311	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	60	12	27,3	824-9601710-2170-6565	3	3	200
RAB-1019	-6,7792	34,0426	990GRFU5	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	60	4,8	23,8	824-9601710-2170-6565	3	0	210
RAB-1020	-6,8285	34,0131	0GRFU522	indoor	No Action	No Action	No Action	No Action	No Action	6 x 25dB	6x50 dB	0	4,5	23,6	824-9601710-2170-6565	3	3	120

Figure 54 : Données sur les sites existants(1)

Electrical Tilt	Mechanical Tilt	AZ	HMA TER	HMA SOL	Antenna 2	Electrical Tilt	Mechanical Tilt	AZ	HMA TER	HMA SOL	Antenna 3	Electrical Tilt	Mechanical Tilt
2	3	120	7,4	18,3	01710-217	2	3	240	7,4	18,3	01710-217	2	3
0	3	150	4,2	28,1	01710-217	0	3	270	4,2	28,1	01710-217	2	2
3	0	120	26,1	26,1	01710-217	3	2	240	26,1	26,2	01710-217	3	2
2	2	120	6,2	29,45	01710-217	2	2	240	6,2	29,45	01710-217	2	2
4	3	120	7	29,15	01710-217	3	3	240	7	29,15	01710-217	4	3
3	4	120	10,8	26,8	01710-217	3	2	240	10,8	26,8	01710-217	3	3
2	2	180	5,7	25	01710-217	3	2	275	5,7	25	01710-217	3	2
3	2	180	10,2	17,2	01710-217	3	0	280	10,2	17,2	01710-217	0	2
2	2	130	8,6	21,6	01710-217	2	3	230	8,6	21,6	01710-217	3	3
2	3	120	8,7	24,9	01710-217	2	2	240	8,7	24,9	01710-217	2	3
3	2	130	30	30	01710-217	3	2	250	30	30	01710-217	3	2
2	0	150	34,6	34,6	01710-217	2	2	270	36,4	36,4	01710-217	2	2
3	2	180	7,4	24,4	01710-217	0	2	320	7,4	24,4	01710-217	0	2
2	2	150	32,5	32,5	01710-217	2	2	250	32,5	32,5	01710-217	2	2
6	0	240	11	39,8	na bi-tech	6	0	340	11	39,8	na bi-tech	6	0
2	3	130	5,7	27,7	01710-217	2	3	270	5,7	27,7	01710-217	3	3
4	3	130	7,4	26	01710-217	2	2	230	7,4	26	01710-217	3	3
3	3	200	12	27,3	01710-217	6	2	330	12	27,3	01710-217	3	4
3	0	210	3	22	01710-217	3	4	330	3	22	01710-217	3	4
3	3	120	4,5	23,6	01710-217	3	3	240	4,5	23,6	01710-217	3	3

Figure 55 : Données sur les sites existants(2)

La région sur laquelle on va travailler est « Rabat Ville », d'une superficie de 11.04 Km², elle est représentée sur la figure suivante :

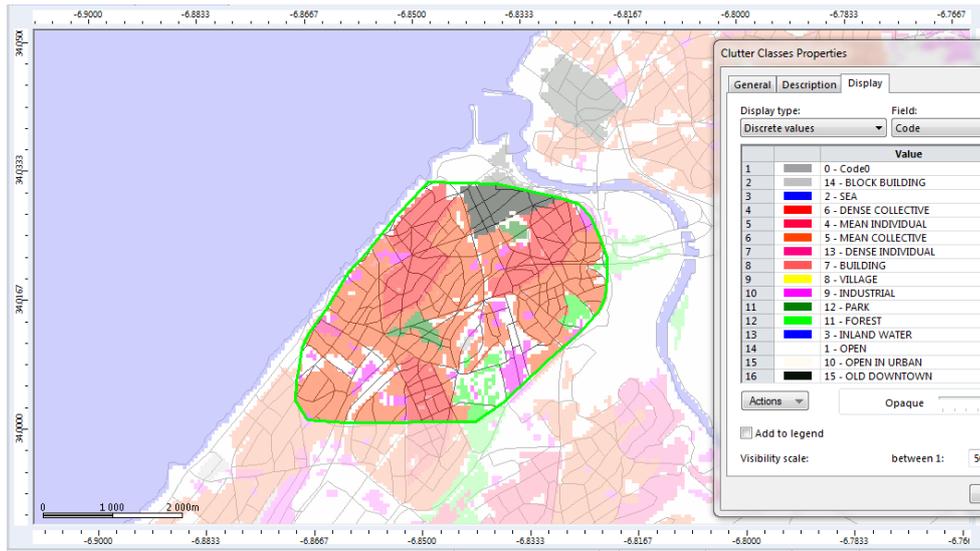


Figure 56 : la zone « Rabat Ville » sur ATOLL

Le premier pas à faire, est d'entrer les données de cette base sur ATOLL, ainsi que les paramètres déjà calculés auparavant, le résultat est donné sur la figure suivante :

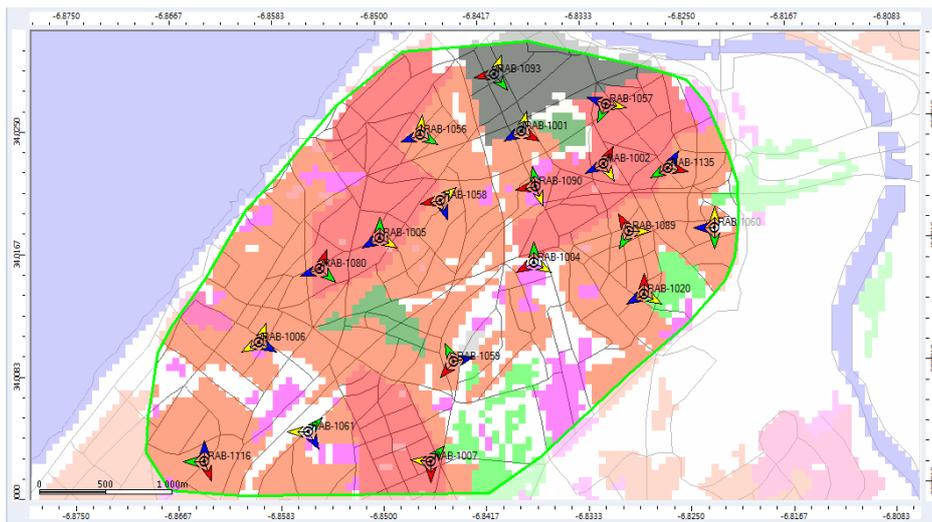


Figure 57 : Positionnement des sites existants

2. Simulation des scénarios

ATOLL se base sur des données réelles du terrain pour aboutir à des simulations sur le comportement du champ de rayonnement de différents transmetteurs.

A travers le calcul que nous avons effectué au début de ce chapitre sur le nombre de site requis pour couvrir notre zone, nous avons obtenus 24 sites comme résultats, alors que le nombre déjà existant est de 19 sites. Donc on devra ajouter cinq sites dans cette région.

En premier lieu, nous avons travaillé sur les anciens sites, en agissant sur les deux paramètres accessibles (tilt électrique et la puissance) pour avoir la couverture la plus adéquate possible. Et cela par la simulation des différents paramètres :

- Le niveau de signal
- Zone de chevauchement
- La couverture par transmetteur

Ensuite, nous avons positionné les nouveaux sites dans les endroits où on n'a pas pu enlever les problèmes d'un paramètre de simulation ou plus.

Dans ce qui suit nous présentons les simulations et les problèmes existants au début, ainsi que les simulations après modification des paramètres.

2.1. Simulation des niveaux du signal

Le niveau du signal représente un paramètre important pour la planification d'un réseau cellulaire, il doit être maximisé le plus possible. Et devra rester supérieur aux sensibilités des mobiles sur toute la zone de déploiement, pour que le récepteur soit en mesure de garder le lien radio. La sensibilité du mobile varie selon plusieurs paramètres comme nous l'avons vu précédemment, il est de l'ordre de -96à -128dBm [14-16].

La figure ci-dessous présente la simulation sur les niveaux du signal au début :

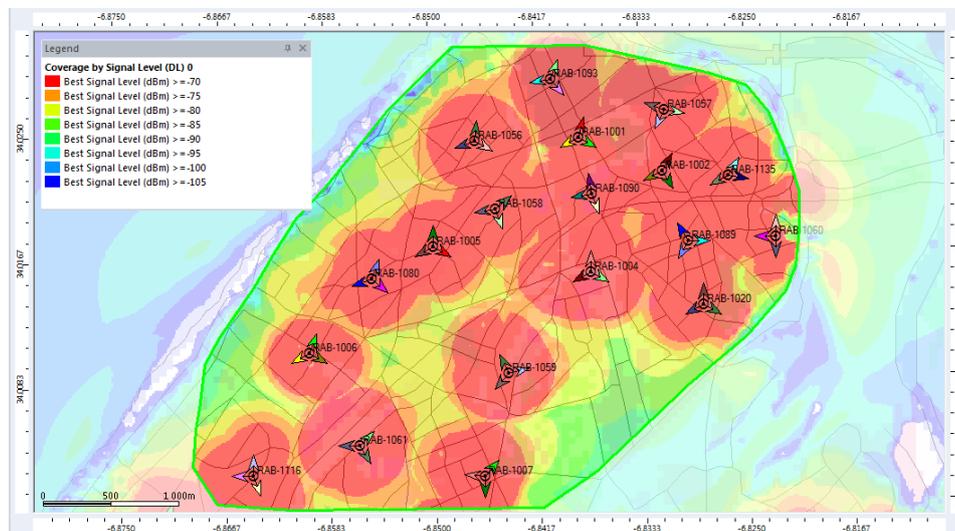


Figure 58 : Simulation des niveaux de signal au début

Le tableau ci-dessous donne la couleur associée à chaque niveau du signal :

Couleur	Niveau de signal
Rouge	Supérieur à -70dBm
Orange	Entre -70dBm et -75dBm
Jaune	Entre -75dBm et -80dBm
Vert	Entre -80dBm et -90dBm
Bleu	Inférieur à -90dBm

Tableau 12 : Kay Map de la simulation des niveaux de signal

Pour qu'il n'y ait pas de rupture du lien radio, il va falloir que le niveau du signal soit plus grand que la sensibilité du récepteur, à travers la simulation nous ne devrions pas avoir de la couleur bleu dans la zone.

Après modification des paramètres (tilt électrique et puissance), et l'ajout des nouveaux sites, nous avons abouti au résultat suivant :

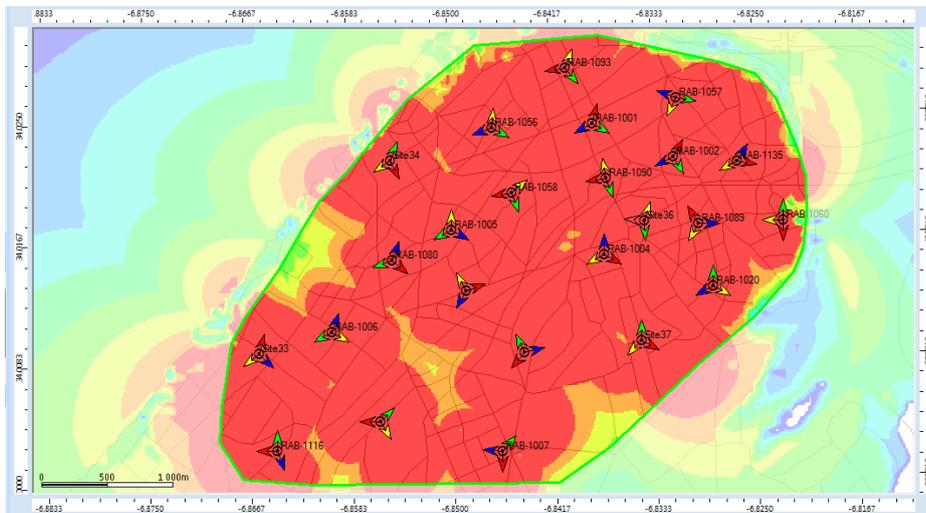


Figure 59 : Simulation des niveaux du signal final

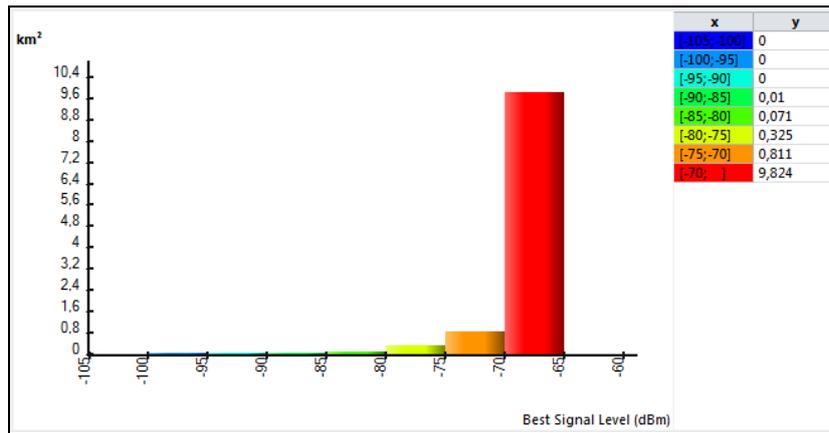


Figure 60 : Histogramme des niveaux de signal

Ainsi nous avons obtenu un niveau de signal performant sur toute la zone de déploiement.

2.2. Simulation des zones de chevauchement

L'optimisation des zones de chevauchement est une tâche critique et délicate, à travers laquelle on cherche à minimiser les zones de chevauchement des secteurs.

La figure ci-dessous illustre l'état initial de la simulation des zones de couverture :

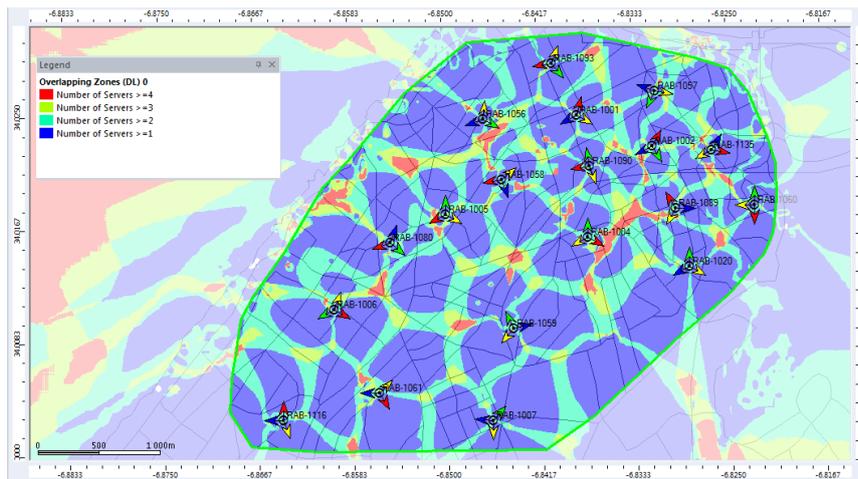


Figure 61 : Simulation des zones de chevauchement du début

Le tableau ci-dessous représente la couleur en fonction du nombre de secteur inclus dans la zone :

Couleur	Nombre de secteur inclus
Rouge	Supérieur ou égal à 4
Jaune	3
Bleu clair	2
Bleu foncé	1

Tableau 13 : Kay Map de la simulation des zones de chevauchement

La tâche à faire est de minimiser le maximum des zones rouges où il y a chevauchement entre plusieurs secteurs.

Ces zones présentent des avantages et des inconvénients, l'avantage de diversité pour les utilisateurs où ils peuvent se connecter au secteur du meilleur niveau de signal, et de transiter d'une station de base à une autre en cas de surcharge sur cette dernière. L'inconvénient pour l'opérateur est la consommation des ressources lors du Handover multiple, ainsi la diminution de la bande de fréquence utilisée par chaque secteur, puisqu'il y a chevauchement entre plusieurs secteurs il va falloir utiliser des bandes de fréquences différentes, donc moins d'utilisateurs à desservir.

Après modification des paramètres, et sans l'ajout de nouveaux sites, on a abouti au résultat suivant :

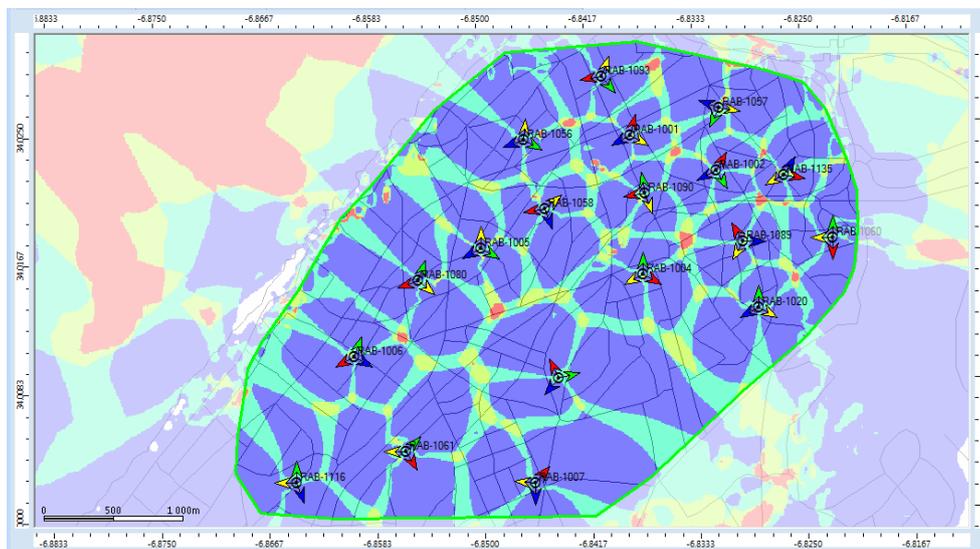


Figure 62 : Simulation des zones de chevauchement après changement des paramètres

Nous avons ajouté les nouveaux sites aux endroits où il y a des problèmes de chevauchement que nous n'avons pas pu résoudre précédemment.

En agissant à nouveau sur les deux paramètres accessibles pour les sites déjà existants, et tous les paramètres pour les nouveaux sites, on a obtenu les résultats suivants :

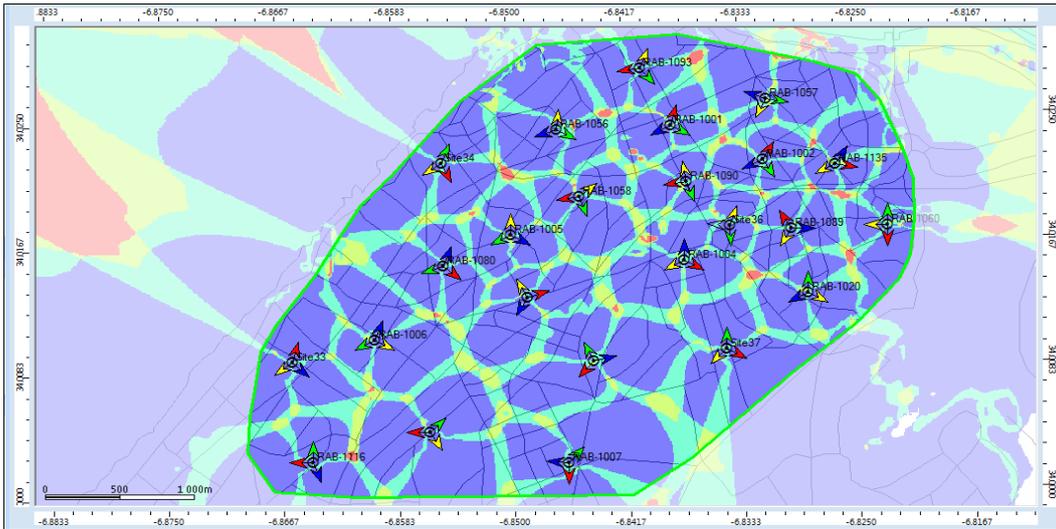


Figure 63 : Simulation finale des zones de chevauchement

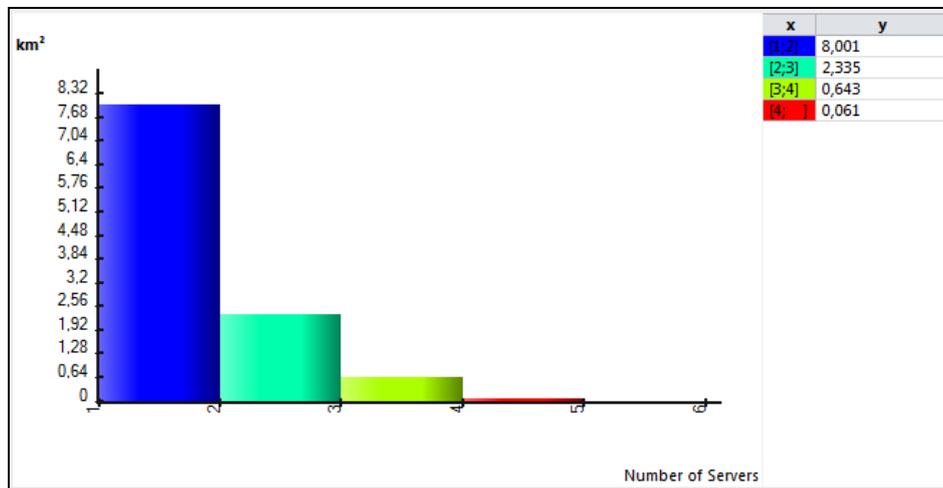


Figure 64 : Histogramme des zones de chevauchement

D'après l'histogramme, les zones couvertes par un seul secteur présente la partie dominante de la couverture, ainsi les zones de chevauchement sont considérablement diminuées.

2.3. Simulation des interférences et réutilisation des fréquences

L'opérateur INWI possède deux bandes de fréquence de largeur 20MHz, [2500-2520] et [2620-2640] MHz. Pour couvrir la zone cible il va falloir bien gérer les ressources fréquentielles, en les divisant en des sous-bandes de telle façon à les réutiliser sans qu'il y est des interférences.

Plus les sous-bandes sont larges, plus leur efficacité est grande, de ce fait on devra minimiser le maximum possible le nombre de sous-bandes.

Pour ce faire, on a divisé la bande passante en quatre sous-bandes de largeurs 10Mhz, qui sont représentés sur le tableau suivant :

Bande de fréquence	Couleur associé
[2500 - 2510] Mhz	Rouge
[2510 - 2520] Mhz	Jaune
[2620 - 2630] Mhz	vert
[2630 - 2640] Mhz	Bleu

Tableau 14 : Sous-bandes utilisées pour la planification

Après modification des paramètres on a abouti au résultat suivant :

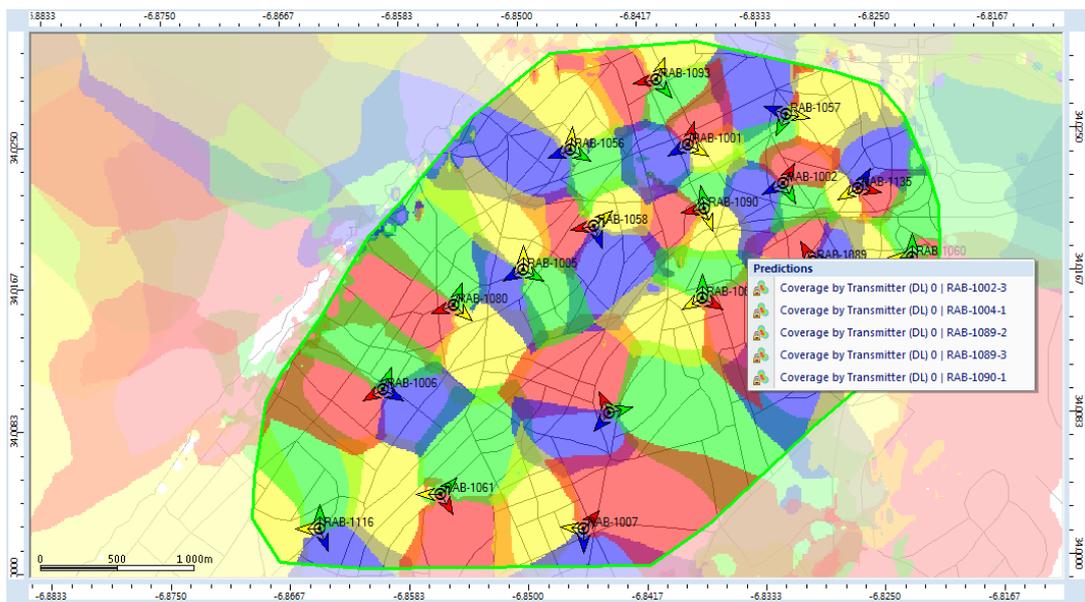


Figure 65 : Simulation de la couverture par transmetteur après changement des paramètres

Pour certains endroits, il y avait chevauchement entre cinq transmetteurs, comme il est présenté au-dessus, alors qu'on ne dispose que de quatre sous-bandes. Pour remédier à cela nous avons ajouté les nouveaux sites à ces zones, en tenant compte de la densité de population, et en agissant de nouveau sur les paramètres on a abouti au résultat suivant :

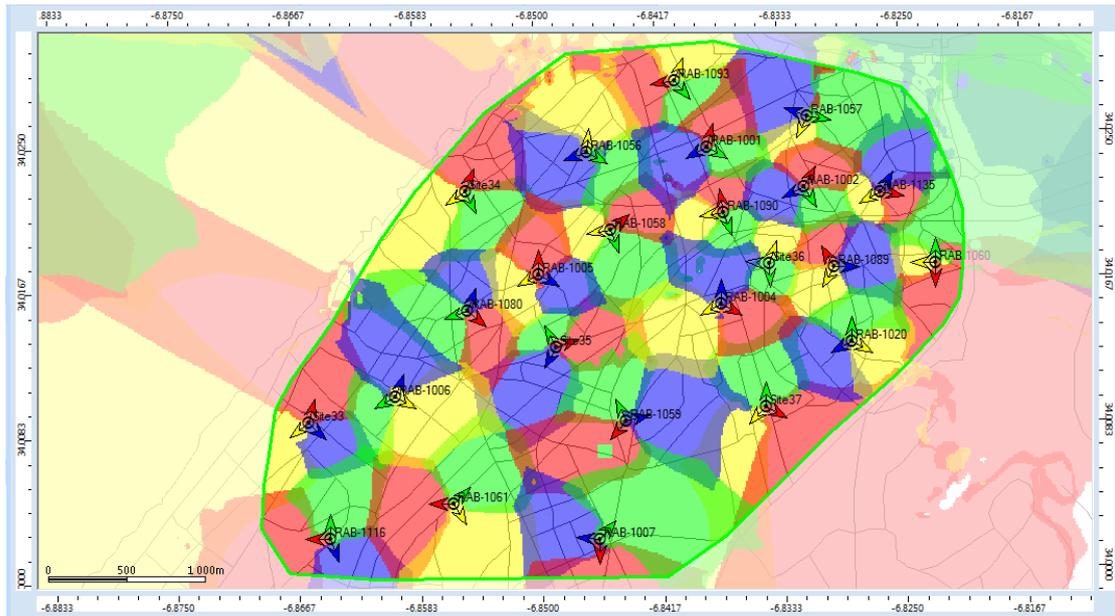


Figure 66 : Simulation final de la couverture par transmetteur

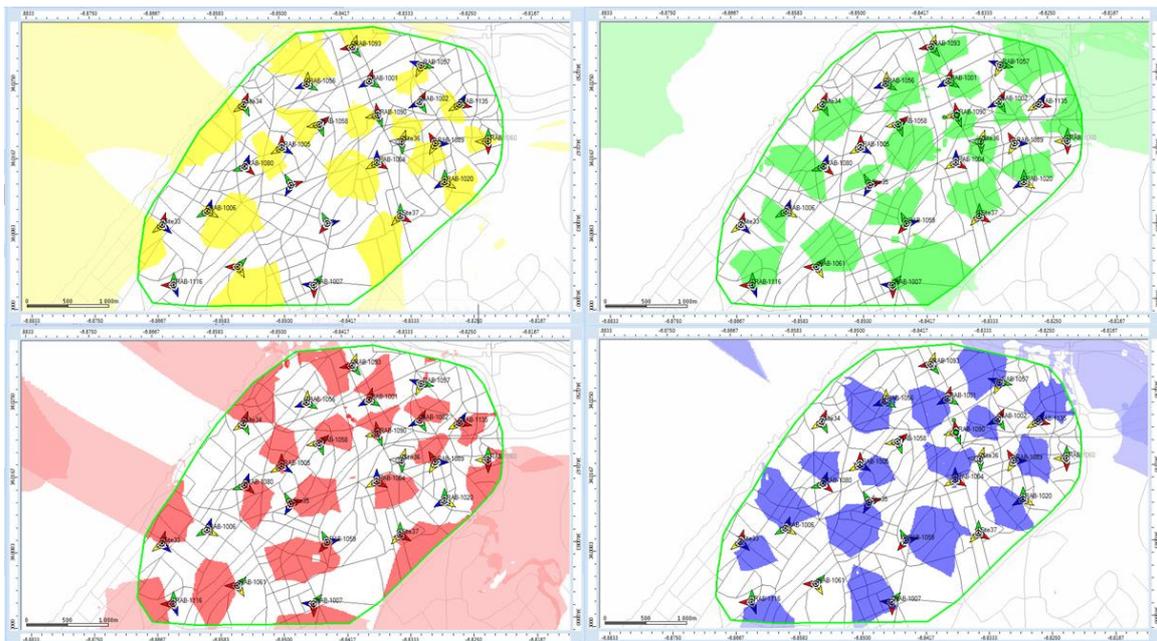


Figure 67 : Zone de couverture pour chaque bande de fréquence

Ainsi nous avons abouti à un résultat performant en termes de couverture en évitant les interférences entre les secteurs.

3. Paramétrage des sites

Après avoir optimisé la couverture à travers les différentes simulations sur ATOLL, nous avons obtenu les paramètres de sortie suivants :

Site	transmetteur	Tilt électrique	Puissance en dBm
RAB-1001	RAB-1001-1	2	43
	RAB-1001-2	2	43
	RAB-1001-3	2	47
RAB-1002	RAB-1002-1	2	43
	RAB-1002-2	2	40
	RAB-1002-3	2	42
RAB-1004	RAB-1004-1	2	43
	RAB-1004-2	4	43
	RAB-1004-3	2	42
RAB-1005	RAB-1005-1	4	42
	RAB-1005-2	3	40
	RAB-1005-3	4	43
RAB-1006	RAB-1006-1	3	40
	RAB-1006-2	3	44
	RAB-1006-3	4	38
RAB-1007	RAB-1007-1	2	43
	RAB-1007-2	3	43
	RAB-1007-3	3	43
RAB-1020	RAB-1020-1	3	43
	RAB-1020-2	3	43
	RAB-1020-3	3	44
RAB-1056	RAB-1056-1	3	43
	RAB-1056-2	3	40
	RAB-1056-3	3	44
RAB-1057	RAB-1057-1	2	43
	RAB-1057-2	4	41

	RAB-1057-3	2	43
RAB-1058	RAB-1058-1	2	40
	RAB-1058-2	2	43
	RAB-1058-3	2	40
RAB-1059	RAB-1059-1	1	43
	RAB-1059-2	4	42
	RAB-1059-3	4	43
RAB-1060	RAB-1060-1	0	43
	RAB-1060-2	4	41
	RAB-1060-3	4	43
RAB-1061	RAB-1061-1	3	43
	RAB-1061-2	0	43
	RAB-1061-3	2	40
RAB-1080	RAB-1080-1	3	40
	RAB-1080-2	3	40
	RAB-1080-3	3	42
RAB-1089	RAB-1089-1	3	42
	RAB-1089-2	4	44
	RAB-1089-3	3	41
RAB-1090	RAB-1090-1	3	43
	RAB-1090-2	4	42
	RAB-1090-3	2	40
RAB-1093	RAB-1093-1	2	44
	RAB-1093-2	2	43
	RAB-1093-3	3	43
RAB-1116	RAB-1116-1	4	42
	RAB-1116-2	3	38

	RAB-1116-3	3	43
RAB-1135	RAB-1135-1	3	43
	RAB-1135-2	6	43
	RAB-1135-3	6	45

Tableau 15 : Paramétrage des anciens sites

Site	transmetteur	Hauteur	Azimute	Tilt mécanique	Tilt électrique	Puissance
Site33	Site33_1	30	15	4	0	43
	Site33_2	30	133	5	4	42
	Site33_3	30	232	0	0	43
Site34	Site34_1	30	22	3	4	42
	Site34_2	30	154	0	4	43
	Site34_3	30	236	4	2	43
Site35	Site35_1	30	332	3	2	43
	Site35_2	30	70	3	0	40.5
	Site35_3	30	209	2	3	40
Site36	Site36_1	30	18	2	2	40
	Site36_2	25	177	2	2	40
Site37	Site37_1	30	0	3	0	42
	Site37_2	30	120	3	0	43
	Site37_3	30	222	0	0	43

Tableau 16 : Paramétrage des nouveaux sites

Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons déterminé le nombre optimal pour couvrir notre zone cible, ainsi nous avons pu déterminer les paramètres implémentation de la 4G pour les nouvelles et les anciennes stations de base.

Conclusion générale

Tout au long de ce rapport, nous avons présenté la problématique et le contexte du projet. Ainsi le plan de migration optimale et le plus adapté au réseau de l'opérateur, en se basant sur une étude des aspects techniques des normes de téléphonie mobile LTE et UMTS, et sur l'étude de l'existant de l'opérateur (surtout le réseau d'accès). Ensuite nous avons optimisé la couverture du réseau LTE, et cela par le paramétrage des sites à l'aide de l'outil « ATOLL ».

On s'est ensuite intéressé au réseau de transmission, qui devrait être mis à niveau afin de supporter la nouvelle charge, et l'immense trafic issu de ce nouveau réseau.

En termes de perspectives, le déploiement complet du système UMMT comme réseau de transmission de l'opérateur offrira plus de simplicité pour gérer les réseaux, ainsi qu'une rapidité de transit des données entre les stations de bases et les équipements de réseau cœurs. Ce qui ouvrira la porte à de nouvelles technologies, à savoir le LTE-Advanced, et la 5G qui est en cours de développement.

Bibliographie

- [1] HarriHolma, AnttiToskala , 2000. "UMTS : *Les réseaux mobiles de 3ème génération*", Editions Osman EyrollesMultimedia.
- [2] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php
- [3] <http://www.wireless-techbook.com/blocs-de-systeme-de-liaison-montante-lte/215-la-difference-entre-ofdma-et-sc-fdma.html>
- [4] « CELLULAR TECHNOLOGIES FOR EMERGING MARKETS », Ajay R. Mishra,*Nokia Siemens Networks*
- [5] “**3GPP Long Term Evolution**: System Overview, Product Development, and Test Challenges” Agilent Technology.
- [6] http://www.econostrum.info/4G-Inwi-Meditel-et-Maroc-Telecom-obtiennent-un-licence_a19959.html
- [7] Rapport d’instruction de l’ANRT, « Attribution de licences utilisant des technologies mobiles de la 4^{ème} génération en vue de l’établissement et l’exploitation de réseaux publics de télécommunications au Royaume du Maroc », 16 mars 2015
- [8] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2012/Diameter/lte.html>
- [9] www.prism.uvsq.fr/~mogue/Biblio/LTE/LTE_SAE_EFORT.pdf
- [10] Projetdefind’études:«ETUDE ET IMPLEMENTATION DE LA SOLUTION SINGLE RAN HUAWEI POUR LE COMPTE DE MAROC TELECOM» réaliséparSoukaina ZAHIDI(ENSA Tanger),Juin2013.
- [11] « MBTS Product Documentation », Product Version: V100R003C00 , BTS3900Ver.B Hardware Description, Documentation Huawei.
- [12] « BSC6910 GU Product Documentation », Product Version: V100R014C00, BSC6910,Product Description, Documentation Huawei
- [13] “LTE Radio Network Planning Guidelines”. T. Novosad, L. Serna, , C. Johnson. Nokia Siemens Networks, 12.01.2011.
- [14] “Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide”, document interne Huawei
- [15] “LTE FUNMAMENTAL AND RF PLANNING”, MOBILE COMM LABORATORY

- [16] RNT_LTE_Dim, v2.3.6 Approved for RL10 / RL20 / RL30 / RL15TD / RL25TD, NOKIA SIEMENS NETWORKS
- [17] Projet de fin d'étude : « Outil de planification et de dimensionnement dans l'E-UTRAN LTE-Advanced » réalisé par : Ali LASSOUED, ECOLE SUPERIEUR DES COMMUNICATION DE TUNIS.
- [18] <http://www.frameip.com/mpls/>
- [19] MEMOIRE DE STAGE DE FIN D'ETUDE : « Etude et optimisation d'un backbone IP/MPLS », réalisé par : **Nizar Saâda** , février 2014
- [20] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/ykarkab_MPLS/mpls.html#labelswitching
- [21] « UMMT 3.0 Design Guide Technical Paper », Version 1.0, July 12, 2012, by CISCO
- [22] « Comparison of Standard Propagation Model (SPM) and Stanford University Interim (SUI) Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE) », *Department of ECE, Chaitanya Engineering College Visakhapatnam, A.P. INDIA*
- [23] http://www.cisco.com/web/FR/products/routers_comparison.html#~serviceprovider

Annexe A

Comparaison des différents routeurs CISCO [23]

	ISR G2	ASR 1000	Catalyst 6500	ASR 9000	CRS
Description	Idéal pour les déploiements d'envergure exigeant la continuité des activités, la flexibilité du réseau WAN, des fonctionnalités de collaboration et la protection des investissements.	Idéal pour les opérateurs télécoms et les grandes entreprises à la recherche d'un produit offrant un rendement de pointe et un encombrement minime.	Étend les services depuis le campus jusqu'à la périphérie du réseau WAN. Idéal pour assurer la convergence du campus et du réseau WAN vers un système unique.	Système d'opérateur Ethernet possédant la densité la plus élevée au sein du secteur, avec des performances élevées pour la périphérie et l'agrégation.	Offre des performances et une évolutivité de pointe pour les applications métier des opérateurs télécoms.
Succursale	Oui	Non	Non	Non	Non
Accès au cloud	Oui	Non	Non	Non	Non
Mise en réseau industrielle et machine à machine	Oui	Non	Non	Non	Non
Interconnexion du data center	Non	Oui	Oui (Sup720 et Sup2T)	Oui	Oui
WAN d'entreprise	Oui	Oui	Oui (Sup720)	Oui	Non
Périphérie Internet	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Services gérés	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Internet mobile	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Opérateur télécoms - Réseau central	Non	Non	Non	Non	Oui
Opérateur télécoms - Réseau périphérique	Oui	Oui	Non	Oui	Non

Annexe B

Configuration

- **Plan d'adressage**

Cette configuration est appliquée sur toutes les interfaces de chaque routeur, selon le plan d'adressage.

```
# config Terminal
# interface fast0/0
# ip address 20.2.3.1255.255.255.0
# no shutdown
```

Adresse loopback :

```
# config Terminal
# interface loopback0
# ip address 1.1.1.1255.255.255.255
```

Les deux interfaces virtuelles entre PE1 et CE1 :

```
# config Terminal
# interface fast0/1
# no ip address
# no shutdown
# exit
# interface fast1/0.1
# encapsulation dot1Q 10
# ip address 10.1.2.2 255.255.255.0
# exit
# interface fast1/0.2
# encapsulation dot1Q 20
# ip address 10.1.8.2 255.255.255.0
```

- **Mise en place des VRF**

Cette configuration de création des VRF ce fait au niveau des deux PE

```
# ip vrf data
# rd 1:1
# route import 1:1
# route export 1:1
# exit
# ipvrf signalisation
# rd 1:2
# route import 1:2
# route export 1:2
```

Puis on active les VRF sur les interfaces approprié

```
# interface fast1/0.1
# ip vrf forwarding data
# ip add 10.1.2.2 255.255.255.0
# no shutdown
# int fast1/0.2
# ip vrf forwarding signalisation
# ip add 10.1.8.2 255.255.255.0
# no shutdown
```

- **Activation du MPLS**

Cette configuration se fait au niveau de toutes les interfaces du Backbone

```
# mpls label protocol ldp
# interface fast0/0
# mpls ip
```

- **Implémentation de l'OSPF**

L'activation de l'OSPF se fait au niveau de tous les PE et P, ci-dessous exemple pour PE1 :

```
# router ospf 1
# network 20.2.3.0 0.0.0.255 area 0
# network 20.2.4.0 0.0.0.255 area 0
# network 172.16.1.0 0.0.0.3 area 0
# exit
```

- **Implémentation de l'EIGRP**

Au niveau CE

```
# router eigrp 1
# network 10.0.0.0
# no auto-summary
```

Au niveau PE

```
# router eigrp 1
# address-family ipv4 vrf data
# network 10.0.0.0
# no auto-summary
# autonomous-system 1
```

```
# exit
# address-family ipv4 vrf signalisation
# network 10.0.0.0
# no auto-summary
# autonomous-system 1
# exit
```

• Configuration des VPN

La création des VPN entre les PE se fait par l'activation du protocole MP-BGP sur ces derniers :

```
# router bgp 1
# neighbor 172.16.1.2 remote-as 1
# neighbor 172.16.1.2 update-source Lo0
# address-family vpnv4
# neighbor 172.16.1.2 activate
# neighbor 172.16.1.2 send-community extended
# exit
# exit
```

• Redistribution des préfixes

Nous configurons les PEs de telle sorte à ce que la redistribution des routes soit effectuée mutuellement dans les deux sens entre BGP et EIGRP.

○ EIGRP >> BGP

```
# router bgp 1
# address-family ipv4 vrf data
# redistribute eigrp 1 metric 1
# exit
# address-family ipv4 vrf signalisation
# redistribute eigrp 1 metric 1
# exit
# exit
```

○ BGP >> EIGRP

```
# router eigrp 1
# address-family ipv4 vrf data
# redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
# exit
# address-family ipv4 vrf signalisation
# redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
# exit
# exit
```

Annexe C

SPM

Le modèle Standard Propagation Model (SPM) est un modèle ayant des paramètres variables, il est basé sur la formule du modèle Okumura-Hata. Mais il a des fonctionnalités plus que le Cost231-Hata suivantes:

- ✓ Les facteurs sont variables.
- ✓ La diffraction est prise en considération sur la carte.
- ✓ SPM soutient utilisant différentes K1 constante et la distance coefficient K2 pour LOS /NLOS et proche / lointain région.

Grâce aux nouvelles fonctionnalités précédentes, SPM est plus souple et s'applique à d'autres scénarios. L'affaiblissement du parcours est donné: [22]

$$L_{SPM} = K_1 + K_2 * \text{Log}(d) + K_3 * \text{Log}(H_T) + K_4 * \text{Diffraction} + K_5 * \text{Log}(d) * \text{Log}(H_T) + K_6 * \text{Log}(H_R) + K_{clutter} * f_{clutter}$$

Avec :

$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ et $K_{clutter}$: Facteurs multiplicatifs

d: distance entre le récepteur et l'émetteur (m).

H_T : Hauteur effective de l'antenne d'émission (m).

Diffraction : perte due à la diffraction sur un chemin obstrué (dB).

H_R : Hauteur efficace de l'antenne mobile (m).

$f_{clutter}$: Moyenne des pertes due à l'encombrement, dépend de la zone, dans les zones urbaines denses elle de l'ordre d'une vingtaine de dB.

K Values	Dense Urban	Urban	Sub-Urban	Rural	High ways
K1	16.375	17.575	17.675	5.275	26.625
K2	48	45.9	44.9	48	40.1
K3	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83
K4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K5	-6.55	-6.55	-6.55	-6.55	-6.55
K6	0	0	0	0	0

Kclutter	1	1	1	1	1
----------	---	---	---	---	---

Calcul du Diffraction Loss : Diffraction = a^2+b^2

Paramètres	Urbain dense	Urbain	Rural
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005

Cost-321 Walfisch-Ikegami

Le modèle COST 231-Walfisch-Ikegami: est une extension du modèle COST 231-Hata, et valable pour les fréquences supérieures 2000Mhz. Ce modèle est donné par l'équation suivante :

$$L_{cost} = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$$

L_0 : représente l'atténuation en espace libre : $L_0 = 32.45 + 20\text{Log}(d) + 20\text{Log}(f)$

L_{rts} : représente la diffraction entre le pilon et la terre

$$L_{rts} = -16.9 - 10\text{Log}(w) + 10\text{Log}(f) + 20\text{Log}(h_b - h_m) + L_{ori}$$

L_{ori} : Fonction de l'orientation de l'antenne par rapport la terre : $L_{ori} = -10 + 0.354 * a$

L_{msd} : La diffraction loss due au multiple trajet

$$L_{msd} = a^2 + b^2 = L_{bsd} + K_a + K_d * \text{Log}(d) + K_f * \text{Log}(f) - 9 * \text{Log}(h_b)$$

Avec :

$$K_f = -4 + K(f/924)$$

$K = 0.7$ pour les zones urbain

$K = 1.5$ pour les zones urbain dense

- pour $h_m > h_b$

$$L_{bsd} = -18 * \text{Log}(1 + h_m - h_b)$$

$$K_a = 54$$

$$K_d = 18 + 15 * (h_m - h_b) / h_b$$

- pour $h_m < h_b$

$$L_{bsd} = 54 + 0.8 * (h_m - h_b) * 2d$$

$$K_d = 18 + 15 * (h_m - h_b) / h_b$$

$$K_a = 54 + 0.8(h_m - h_b)$$

Annexe D

Synthèse des canaux physiques en LTE

Sigle	Sens	Nom complet	Contenu	Situation dans la sous-trame	Fonction
CS-RS	↓	<i>Cell-specific Reference Signals</i>	Séquence de Gold de longueur 31	Disséminé sur les RB	Permet l'estimation du canal sur la bande du système
UE-RS	↓	<i>UE-specific Reference Signals</i>	Séquence de Gold de longueur 31	Disséminé sur les RB destinés au terminal et subissant le même traitement d'antenne	Permet l'estimation du canal spécifique à un terminal
PSS	↓	<i>Primary Synchronisation Sequences</i>	Une séquence parmi 3 séquences de Zadoff Chu de longueur 63	Sous-trame 0 (1 en <i>TDD</i>) et sous-trame 5 (6 en <i>TDD</i>)	Permet de détecter un système <i>LTE</i> de se synchroniser au niveau symbole <i>OFDM</i>
SSS	↓	<i>Secondary Synchronisation Sequences</i>	Une séquence parmi 168 m-séquences de longueur 31	Sous-trame 0 et sous-trame 5	Permet d'acquérir la synchronisation au niveau symbole/slot/trame, d'identifier le duplexage (<i>FDD/TDD</i>)
PBCH	↓	<i>Physical Broadcast Channel</i>	24 bits très fortement protégés transmis en <i>QPSK</i>	Dans la sous-trame 0 pour les 4 premières trames de chaque période de 40 % ms	Indique la largeur de la porteuse permet d'acquérir la synchronisation au niveau multi-trame
PCFICH	↓	<i>Physical control Format Indicator Channel</i>	2 bits très fortement protégés en <i>QPSK</i> et	Sur le premier symbole <i>OFDM</i> de chaque sous-trame et réparti sur la bande utilisée	Indique le nombre de symboles <i>OFDM</i> utilisés pour le contrôle (de 1 à 3) dans la sous-trame courante

PDCCH	↓	<i>Physicaldownlink Control Channel</i>	Typ. 10 à 30 d'octets avec taux de codage 1/3 et modulation <i>QPSK</i>	Premier au 3 ^e symbole de chaque sous-trame	Indique l'allocation <i>DCI (Downlink Control Information)</i> sur la voie montante et descendante
PHICH	↓	<i>PhysicalHybrid ARQ Indicator Channel</i>	1 bit par terminal (plusieurs bits groupés) avec forte protection	Premier symbole <i>OFDM</i> de chaque sous-trame	Porte l'acquittement descendant des données montantes
PDSCH	↓	<i>PhysicaldownlinkShared Channel</i>	De 16 à 75 536 bits avec taux de codage 1/3 à 1 et modulation <i>QPSK</i> à 64-QAM	Sur tous les symboles des paires de blocs de ressources allouées	Contient les données descendantes
PMCH	↓	<i>Physical Multicast Channel</i>	De 32 à 43 816 bits (seulement 4 formats de transport)	Sur toute la bande d'une sous-trame avec périodicité fixée	Contient les données descendantes diffusées (<i>MBMS</i>)
PRACH	↑	<i>PhysicalRandom Access Channel</i>	1 préambule parmi 64	6 blocs de ressources	Accès (demande de ressource ou accès lors d'un <i>handover</i>)
PUCCH	↑	<i>PhysicalUplink Control Channel</i>	De 0 à 22 bits	Quelques blocs de ressources aux extrémités de la bande	Acquittement ou contrôle Acquittement ou contrôle
PUSCH	↑	<i>PhysicalUplinkShared Channel</i>	De 16 à 30 536 bits	Blocs de ressources disponibles	Contient les données montantes