الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Projet de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Filière : Génie électrique

Spécialité : Système de télécommunications

THEME

Déploiement de UMTS900 et son impact sur les réseaux GSM et UMTS chez ATM Mobilis

Préparé et présenté par :

BERMAK Mohamed Ouali.

ALITURKI Rami

Proposé et dirigé par :

Promoteur: M. KHEDDAR Hamza.

Co-promoteur: M. BENATALLAH Redhouane.

Année Universitaire 2018-2019

Remerciements

Au moment de faire le bilan de ces cinq années d'études passées, et plus particulièrement sur les deux dernières années qui ont mené à la rédaction de cette thèse, on sait bien que seul on n'y serait jamais parvenu. En conclusion de cette expérience, ce manuscrit nous offre l'opportunité de tourner vers toutes les personnes qui nous ont aidé en le réalisant.

Tout d'abord on remercie dieu pour nous avoir donner le courage et de nous faciliter le travail.

Cette thèse a été dirigée par H. KHEDDAR, Professeur à l'Université YAHIA FARES. On le remercie pour la confiance qui nous a accordée en nous offrant cette première opportunité en apportant son soutien durant toute la période de la recherche.

Je tiens à remercier sincèrement les membres de notre jury pour avoir accepté de participer à la soutenance de cette thèse en commençant par.

Parmi toutes les personnes formidables que j'ai rencontrées durant ces années d'étude, je me tourne vers mon binôme, mon complice, BERMAK Mohamed Ouali, sur qui j'ai pu compter dans les moments difficiles.

Ces travaux ont été accomplis en collaboration avec l'opérateur téléphonique ATM Mobilis dont je remercie Mr Redhouane BENATELLAH, ingénieur à Mobilis, qui a suivi leur évolution en nous prodiguant leurs conseils et leur aide durant ce stage.

Et par-dessus tout, merci à nos parents, nos frères et sœurs qui nous ont supporters de toujours, pour leurs encouragements qui nous ont soutenu dans notre détermination, et nous ont donné la force d'atteindre notre objectif.

Enfin on exprime notre gratitude envers les dirigeants de l'entreprise qui nous ont recruté tout en nous accordant le temps de finir notre thèse. Je remercie à cet égard les responsables du service des ressources humaines.

Dédicace

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,

L'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu

Pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et Nuit pour

mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de nos sacrifices que nous avons Consentis

pour notre éducation et notre formation

Je dédie ce travail à mes parents pour ses encouragements et

ses prières tout au long de mes études, pour tous ce qu'ils

avaient fait pour avoir ce résultat.

Je le dédie à mes sœurs et ma grande famille.

À mes amis préférés : Hicham et Imed.

. . . Rami

Dédicace

A mes très chers parents, à qui je dois ma vie,

Pour leur éducation et leur affection,

Pour tous les sacrifices qu'ils ont faits pour moi,

Tous les mots ne pourront exprimer ma gratitude et mon amour.

A ma chère sœur Nadhera,

A mes chers frères Oussama et Mounir,

A qui je souhaite un parcours réussi,

A mes grand-mères,

A mes aimables grands parents,

Pour leurs prières et leur affection,

Que Dieu le tout Puissant vous accorde santé et prospérité,

A toute ma famille qui m'a toujours encouragée et soutenue,

A tous ceux qui portent le nom BERMAK et AOUFI,

Enfin, à mes amis et à tous ceux qui me sont chers,

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation, depuis le Primaire à ce jour,

Je vous dédie ce travail.

… Mohamed Ouali.

ملخص

يؤدي النمو الهائل لحركة البيانات إلى الحد من الطيف الذي يجبر العديد من مشغلي الشبكات اللاسلكية على النظر في إعادة تشكيل طيفهم 2G مع نشر الطيف UMTS. تقنية نظام الاتصالات المتنقلة العالمية (UMTS) فعالة. ومع ذلك، يواجه مشغلو الشبكات تحديًا في إعادة تشكيل الطيف لأن تقنيات الجيل الثاني مثل GSM (النظام العالمي للجوال). يستخدم GSM بشكل ضعيف في الأجهزة ذات النطاق الترددي المنخفض ، مما يجعل طيفه أقل انشغالًا، ثم يصلح للاستخدام الآخر مثل UMTS ،تحسين جودة الخدمة لهذا الأخير ، مما أدى إلى عمومية تغطيتها ، وكذلك الفوائد التي تقدمها.

الكلمات المفتاحية : حركة ،GSM, UMTS, 2G, Refarming.

Résumé

La croissance explosive du trafic de données se traduit par une limite du spectre obligeant de nombreux opérateurs de réseaux sans fil à regarder vers le Refarming de leur spectre 2G par un déploiement du spectre d'UMTS.

La technologie UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) est efficace. Cependant, les opérateurs de réseau font face à un défi en matière de spectre refarming parce que les technologies 2G telles que GSM (Global System for Mobile).

Le GSM est faiblement utilisé pour les machines à faible bande passante, qui rend son spectre moins occupé, alors valable pour un autre usage comme l'UMTS, pour améliorer la qualité de service de cette dernière, en résultant la généralité de sa couverture, ainsi que les bénéfices rapportés par lui.

Mots clés : trafic, Refarming, 2G, UMTS, GSM.

Abstract

The explosive growth of data traffic is resulting in a spectrum limit forcing many wireless network operators to look to Refarming their 2G spectrum with UMTS spectrum deployment.

Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) technology is effective. However, network operators are facing a challenge in refarming spectrum because 2G technologies such as GSM (Global System for Mobile).

GSM is weakly used for machines with low bandwidth, which makes its spectrum less busy, then valid for another use as UMTS, to improve the quality of service of the latter, resulting in the generality of its coverage, as well as the benefits reported by it.

Keywords: traffic, Refarming, 2G, UMTS, GSM.

Table des matières

Table des matières..... I

Liste des figures IV

Liste des tableaux.....VI

Liste des abréviations..... VII

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralité sur le réseau cellulaire

Introduction.....2

I.1 Le concept cellulaire.....2

I.1.1 Les caractéristiques des cellules 2

I.1.2 La réutilisation des fréquences dans un motif.....3

I.2 Les générations de la téléphonie mobile.....4

I.2.1 Première génération 4

I.2.1.1 Caractéristiques de la première génération 5

I.2.1.2 Types de multiplexage 5

I.2.2 La deuxième génération.....6

I.2.2.1 GSM 6

I.2.2.2 GPRS.....11

I.2.2.3 La norme EDGE.....13

I.2.3 La troisième génération.....14

I.2.3.1 Technologies de la troisième génération (3G) 14

I.2.4 La quatrième génération 19

I.2.4.1 LTE.....19

I.2.4.2 LTE Advanced 23

I.2.5 La cinquième génération.....23

Conclusion 24

Chapitre II : Optimisation et mécanismes de supervision de la qualité de service d'un réseau 2G/3G

Introduction.....25

II.1 Processus générale de l'optimisation radio.....25

II.2 La supervision et détection des anomalies.....28

II.2.1 Les indicateurs de performances clés.....29

II.2.1.1 Accessibilité (Accessibility).....30

II.2.1.2 La mobilité (Mobility).....32

II.2.1.3. La capacité de rétention (Retainability).....34

II.2.1.4 Service intégrité (Service Integrity).....35

II.2.1.5 Le trafic (Trafic).....35

II.2.2 Les tests Drive.....35

II.2.2.1 Les données recueillies au cours d'un Drive Test.....36

II.2.2.2 Les outils utilisés dans un Drive Test.....36

II.2.2.3 Les types d'indicateurs et les scenarios du DT.....37

II.2.3 les réclamations des clients.....40

II.3 L'avenir dans l'optimisation.....41

Conclusion.....42

Chapitre III : Processus du refarming pour l'UMTS900 et son impact sur les réseaux 2G et 3G

Introduction.....41

III.1 L'étude théorique de Refarming.....41

III.1.1 Définition du refarming.....41

III.1.2 Pour quoi le refarming U900.....41

III.1.3 Processus et concept de la technique (refarming U900).....42

III.1.3.2 Refarming solution (type d'allocation de fréquences).....46

III.1.3.3 Gestion du trafic.....48

III.1.3.4 La migration du trafic.....49

III.1.3.5 Replanification des fréquences GSM900 49
III.1.3.6 Solution physique et technique 49
III.2 l'application et l'impact de processus refarming sur le réseau ATM Mobilis 51
III.2.1 L'allocation des fréquences d'UMTS900 51
III.2.2 La migration du trafic 2G 52
III.2.2.1 Techniques de migration 52
III.2.2.2 L'étape de rétrogradation des TRX's 54
III.2.2.3 Replanification des fréquences de GSM900 55
III.2.3 Dimensionnement et planification d'UMTS900 56
III.2.4 Solution de propagation d'UMTS900 57
III.2.5 Gestion de la mobilité 58
III.2.6 L'impact du déploiement d'UMTS900 dans les réseaux 2G/3G 59
III.2.6.1 L'impact sur la couverture 59
III.2.6.2 L'impact sur la qualité 60
III.2.6.3 L'impact sur le trafic 61
III.2.6.4 L'impact sur l'utilisateur 64
Conclusion 65
Conclusion générale 67
Bibliographie 68

Liste des figures

Figure I.1: la forme d'une cellule hexagone. 2
Figure I.2: deux motifs avec N=7 éloignée par une distance D. 4
Figure I.3: le multiplexage FDMA. 5
Figure I.4: le multiplexage TDMA. 6
Figure I.5: Architecture générale du GSM. 8
Figure I.6: Architecture du réseau GPRS. 12
Figure I.7: Architecture du réseau UMTS. 16
Figure I.8: Architecture du réseau LTE. 20
Figure II.1: Le cycle général d'optimisation. 25
Figure II.2: La procédure d'optimisation du réseau. 29
Figure II.3: Schéma explicative des points de mesures pour le KPI RRC. 30
Figure II.4: Schéma explicative des points de mesures du KPI du handover. 34
Figure II.5: Les outils du drive test. 37
Figure II.6: L'analyse de couverture avec le DT. 38
Figure II.7: Mesure de la qualité de signal (Ec/No) avec le DT. 39
Figure II.8: Mesure de débit par le DT. 40
Figure II.9: Présentation du taux annuel de réclamations clients. 41
Figure III.1:Procédure de génération et traitement de porteuse en WCDMA. 43
Figure III.2: Codes attribués au codage des canaux. 44
Figure III.3: Principe d'entrelacement des bits. 44
Figure III.4: L'étalement du spectre en UMTS. 45
Figure III.5: Bande passante et bande de garde pour la porteuse d'UMTS. 45
Figure III.6: Allocation du bande d'U900 par le type Sandwich. 47
Figure III.7: Allocation du bande d'U900 par le type Edge. 48
Figure III.8: Représentation du transfert du trafic entre UE et BTS. 48
Figure III.9: Solution de propagation par antennes séparées. 50
Figure III.10: Solution de propagation par une seule antenne. 50
Figure III.11: Représentation de la bande GSM dédiée à Mobilis. 51
Figure III.12: Allocation de la bande U900 par ATM Mobilis. 52
Figure III.13: Méthode de migration du trafic. 52
Figure III. 14: Demande pour le changement du paramètre CRO par l'interface *mobilis*. 53

Figure III.15: Rétrogradation des TRX's opérée dans la région étudiée pendant nos expériences. 55
Figure III.16: La solution Buffer Zone dans la replanification des fréquences. 56
Figure III.17: Planification et plantation des fréquences d'UMTS900 57
Figure III.18: Présentation de la co-antenne. 57
Figure III.19: Types des handover's entre les systèmes. 58
Figure III.20: Gestion de la mobilité entre les systèmes en mode veille et connectée. 58
Figure III.21: L'exportation des rapports de mesures par iManager PRS. 59
Figure III.22: Les mesures du taux RSCP avant et après Refarming. 60
Figure III.23: Mesure de qualité en Ec/Io avant et après Refarming. 61
Figure III.24: Mesures du trafic CS pour la 3G avant et après Refarming. 62
Figure III.25: Mesures du trafic CS pour la 2G avant et après Refarming. 62
Figure III.26: Mesures du trafic PS pour la 3G avant et après Refarming. 63
Figure III.27: Mesures du trafic PS pour la 2G avant et après Refarming. 64
Figure III.28: Mesures du débit (Download/Upload) avant et après Refarming 64
Figure III.29: Mesures du nombres d'utilisateurs d'HSDPA avant et après Refarming. 65

Liste des tableaux

Tableau I.1: Les interfaces du réseau GSM. 10
Tableau I.2: Architecture du réseau GPRS. 13
Tableau I.3: Les interfaces sur l'UMTS. 17
Tableau I.4: Le canal de transport HS-DSCH. 18
Tableau I.5: Les interfaces du réseau LTE. 22
Tableau III.1: La différence entre l'étalement et l'embrouillage. 46
Tableau III.2: Présentation des mesures du taux RSCP avant et après Refarming. 60
Tableau III.3: Présentation des mesures de qualité en Ec/Io avant et après Refarming. 61

Liste des abréviations

1G	1ère Génération.
2G	2ème Génération.
3G	3ème Génération.
3GPP	3ème Génération Partenership Project.
4G	4ère Génération.
5G	5ère Génération.

A

AF	Application Function.
AMR CDR	Adaptive Multi-Rate Call Drop Rate.
AMPS	Advanced Mobile Phone System.
APN	Access Point Name.
ATM	Algérie Télécom Mobile.
AuC	Authentication Center.

B

BLER	Block Error Rate.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
BSS	Base Station Sub- system.
BSC	Base Station Controller.
BTS	Base Transceiver Station.

C

CDMA	Code Division Multiple Access.
CEPT	Conférence Européenne des administrations des Postes et Telecommunications.
CRC	Cyclic Redondance Control
CRO	Cell Reselect Offset
CS	Circuit Switched.

D

DL	Down Link.
DT	Drive Tests.

E

EDGE	Enhanced Data Rates for GSM.
E-NodeB	Evolved Node B.
EIR	Equipment Identification Register.
E-TCH	Enhanced-Traffic Chanel.
EU	Equipment User.
E-UTRAN	Evolved UMTS Radio Access Network.
EPC	Evolved Packet Core.
EPS	Evolved Packet System.

F

FDD	Frequency Division Duplexing.
FDMA	Frequency Division Multiple Access .

G

GB	Giga Byte.
GGSN	Gateway GPRS Support Node.
GMSC	Gateway MSC.
GSM	Global System for Mobile.
GPRS	General Packet Radio Service.
GPS	Global Positioning System.

H

HLR	Home Location Register.
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access.
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel.
HS-PDSCH	High Speed Physical Downlink Shared CHannel.
HSS	Home Subscriber Service.
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access.

I

IMEI	International Mobile station Equipment Identity.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity.
IP	Interface Protocol.
IT	Intervalle de Temps.

K

KPI	Key Performance Indicators.

L

LTE	Long Term Evolution.
LTE-A	Long Term Evolution Advanced.

M

MDP-8	Modulation de phase à 8 états.
MME	Mobility Management Entity.
MMS	Multimedia Messaging Service.
MIMO	Multiple Input Multiple Output.
MS	Mobile Station.
MSC	Mobile Switching Center.
MSISDN	Mobile Station International SD Number.
MSRN	Mobile Station Roaming Number.

N

NAS	Non Acces Stratum.
NB	NodeB.
NMT	Nordic Mobile Telephone.
NPOC	Network Performance Optimization Center.
NSS	Network and Switching Sub-system.

O

OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

P

PCEF	Policy Control Enforcement Function.
PCRF	Policy and Charging Rules Function.
PGW	Packet-Switch Getway.
PLMN	Public Land Mobile Network.
PS	Packet Switched.
PSK	Phase Shift Keying.

Q

QoS	Quality of Service.

R

RAB	Radio Access Bearer Service.
RAT	Radio Access Technology.
RC	Réclamations des Clients.
RF	Radio Frequency.
RNC	Radio Network Controller.
RRC	Radio Resource Control.
RSCP	Received Signal Code Power.

S

SASU	Same Antenna Sharing Unit
SC-FDMA	Single-Carrier FDMA.
SF	Spreading Factor.
SGSN	Serving GPRS Support Node.
SGW	Serving Getway.
SIM	Subscriber Identity Module.
SMS	Short Messaging Service.
SON	Self Organization Network.
SS	Spectrum Spreading.

T

TACS	Total Access Communications System.
TDD	Time-Division Duplex.
TDMA	Time Division Multiple Access.
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity.
TO	Temporary Offset.
TRX	Transmitter Receiver Unit.

U

UIT	Union International de Télécommunications.
UL	Up Link.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System.
USB	Universal Serial Bus.
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network.

V

VLR	Visitor Location Register.
VoIP	Voix Interface Protocol.

W

W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access.

Introduction générale

Le Monde de la téléphonie mobile a connu un essor prodigieux avec l'apparition de la norme « Global System for Mobile Communication » GSM dite aussi de deuxième génération. Depuis, les normes se sont succédées et les systèmes de télécommunications n'ont cessé d'évoluer afin de satisfaire la clientèle croissante et de plus en plus exigeante en termes de qualité de service QoS. Les opérateurs télécoms se devaient donc de gérer la mobilité de tous ces abonnés tout en leurs offrant une bonne QoS. Pour cela, chaque opérateur de radiotéléphonie se doit d'assurer le bon fonctionnement de son réseau tout en garantissant une bonne répartition des charges et une exploitation optimale des ressources.

L'optimisation est l'une des tâches les plus importantes dans le déploiement d'un réseau radio elle s'inscrit dans le cadre du processus de gestion de la performance. L'objectif de l'optimisation du réseau radio est d'extraire la performance optimale du réseau et offrir une meilleure QoS.

Dans notre travail, au premier lieu, on a vu une intéressante solution pour optimiser et améliorer la QoS du réseau UMTS dans le domaine de l'optimisation au niveau d'ATM Mobilis d'Alger notamment le service NPOC (Network Performance Optimization center), cette solution est technique de *Refarming*.

Dans le premier chapitre nous avons présenté d'une façon générale les réseaux cellulaires plus particulièrement les différentes générations et standards, notamment leurs architectures, caractéristiques et types d'accès.

Le deuxième chapitre est consacré à l'optimisation radio des réseaux 2G/3G, en introduisant le processus suivi pour optimiser un réseau. En suivant des analyses et des actions fondamentales et présente les caractéristiques et paramètres associés à l'optimisation ainsi que les moyens de calcul de ces dernières.

Pour le troisième chapitre nous avons défini et étudiée la technique de refarming liée à la bande U900, effectuée sur le réseau d'ATM Mobilis, en résolvant les problèmes posés, finalement nous avons interprété l'impact de cette technique sur les réseaux GSM et UMTS.

Chapitre I

Généralité sur le réseau cellulaire

Introduction

Pour qu'on puisse desservir une région de taille importante (comme : ville, pays) avec une bande de fréquence limitée et une densité de trafic importante qui varie dans le temps avec des services téléphoniques à des usages fixes et mobile, le réseau cellulaire est la solution. La téléphonie a été révolutionnée grâce à l'essor cellulaire, d'abord la communication se faisait d'une manière classique, difficile et fixe avant d'être plus facile grâce au développement de la technologie où on peut communiquer avec un téléphone sans fil personnel et mobile adapter au réseau rapidement sous un contrôle automatique et vite.

I.1 Le concept cellulaire

Le principe consiste à deviser une région à un certain nombre de cellules où cette dernière est la surface dans laquelle le téléphone mobile peut établir une liaison radio avec une station de base déterminée et mise en place. On représente une cellule par un hexagone dont le diamètre est défini par la formule ($d = \sqrt{\frac{3}{2}} * r$) (figure I.1) car c'est la forme régulière qui ressemble le plus au cercle et que l'on peut juxtaposer sans laisser des zones vides[1].

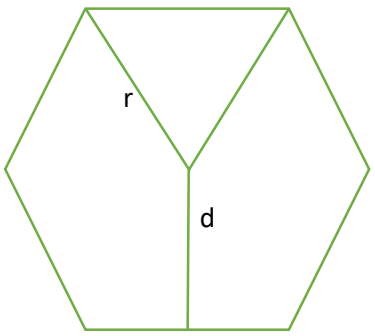


Figure I.1: La forme d'une cellule hexagone.

Où : r est le rayon et d le diamètre.

I.1.1 Les caractéristiques des cellules

La cellule est caractérisée par sa superficie, elle varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres en fonction d'un ensemble de contraintes comme suit : la topologie du terrain, la densité d'abonnés et la nature de l'environnement (urbain, suburbain, rurale).
On classe les cellules en trois catégories :

- Macro cellule : de rayons compris entre 1 Km et 35 Km (pour les zones rurales).
- Micro cellule : de rayons inferieurs à 1 Km (pour les zones suburbains).
- Pico cellule :de rayons inferieurs à 100 m (pour couvrir des zones de trafic peu dense a très dense).

Et caractérisée aussi par :

- Sa puissance démission ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.
- La fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radioélectrique.
- Le réseau auquel elle est interconnectée.

I.1.2 La réutilisation des fréquences dans un motif

Le motif ou aussi appelé *cluster* est défini comme étant le nombre de cellules ou le nombre de fréquences à utiliser dans laquelle chaque fréquence est employée une seule fois. Le nombre de cellules ou de fréquences dans un motif est donné par cette loi :

$$n = i^2 + i * j + j^2 , \quad \text{(I. 1)}$$

Ou i et j deux entiers positifs.

Pour un ensemble de motifs, si r est le rayon d'une cellule, la distance entre une cellule et son homologue la plus proche est donnée par :

$$D = \sqrt{3n} * r, \quad \text{(I. 2)}$$

D'où les cellules qui ont la même fréquence son des homologues.

Comme les bandes de fréquences destinées aux opérateurs sont limitées alors on doit les réutilisées, surtout quand le nombre d'abonnés augmente, une fréquence ne peut pas être utilisée dans les cellules adjacents pour éviter les interférences alors il est nécessaire dévaluer une distance minimale D (calculée par l'équation I.2) bien précise entre deux cellules homologues en fonction de leurs tailles (Figure I.2).

Ce système cellulaire a connu des modifications et des développements et marque l'évolution de la communication mobile suivant des générations successives 1G, 2G, 3G, 4G et la 5G, chaque génération est plus performante que la précédente avec des technologies élevées.

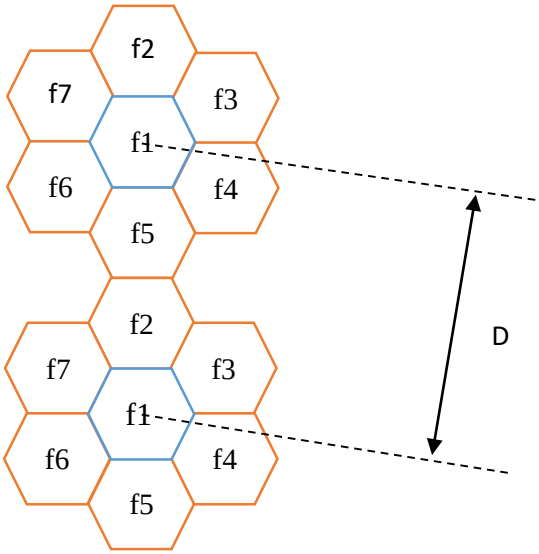


Figure I.2: Deux motifs avec N=7 éloignée par une distance D.

I.2 Les générations de la téléphonie mobile

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage d'une part de savoir de quoi on est parti pour mieux se positionner à l'heure actuelle et d'autre part de voir l'évolution du réseau structurant l'opérateur.

I.2.1 Première génération

La première génération (1G) a débuté dans les années 80 dès la sortie du premier téléphone mobile au Japon, et le lancement du premier système mobile a eu lieu en Suède, en Norvège, Danemark et Finlande. Cette génération reposait sur un système de communications mobiles analogiques et a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970: le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base.

Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux de basses performances et grande consommation d'énergie qui transféraient uniquement la voix entre deux émetteurs en offrant une médiocre qualité et un couteux service. La 1G avait beaucoup de défauts, des normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée.

Cette génération utilisait essentiellement les standards suivants [2] :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System) : lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).

- NMT (Nordic Mobile Telephone) : a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète.
- TACS (Total Access Communications System) : repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en Grande Bretagne.

I.2.1.1 Caractéristiques de la première génération

Les caractéristiques techniques sur les quelles cette génération se reposait essentiellement, on les citera ci-dessous [3]:

- Fréquence allouée : $150MHz/900MHz$.
- Les canaux de contrôle sont des canaux de données opérant à $10\ Kbit/s$.
- Les canaux voix transportent les communications par signaux analogiques modulés en fréquence : (Bande de transmission de station de base : 869 à $894\ MHz$, bande de transmission du mobile : 824 à $849\ MHz$).
- Les canaux sont espacés de 45 kHz.
- Largeur de bande d'un canal : 30 kHz.
- Puissance maximale du mobile : 3 W.
- Taille d'une cellule : 2 à 20 km.
- Débit de transmission : 10 kbit/s.

I.2.1.2 Types de multiplexage

La première génération repose sur un seul type de multiplexage, c'est le FDMA (Frequency Division Multiple Access) multiplexage en fréquence, technique purement analogique. Chaque utilisateur est alloué à une fréquence porteuse différente (Figure I.3) [4].

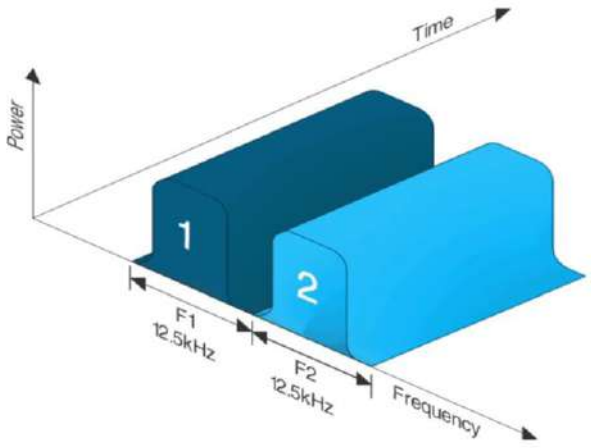


Figure I.3: Le multiplexage FDMA.

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique.

I.2.2 La deuxième génération

La deuxième génération (2G) a été accomplie à la fin des années 90. Le système de communication mobile 2G est un système numérique, ce système est utilisé dans différentes parties du monde. Cette génération principalement utilisée pour la transmission de la voix avec le numérique et des débits allant jusqu'à 64 kbps. Elle offrait également des services supplémentaires tels que : des services de messages courts, des services de messagerie courte (SMS) et services de messagerie multimédia (MMS). Dans cette génération, deux types d'accès numérique sont utilisés, l'un est l'accès multiple par division de temps TDMA (Time Division Multiple Access) qui est montré dans la (figure I.4) et le second est l'FDMA (Figure 1.3).

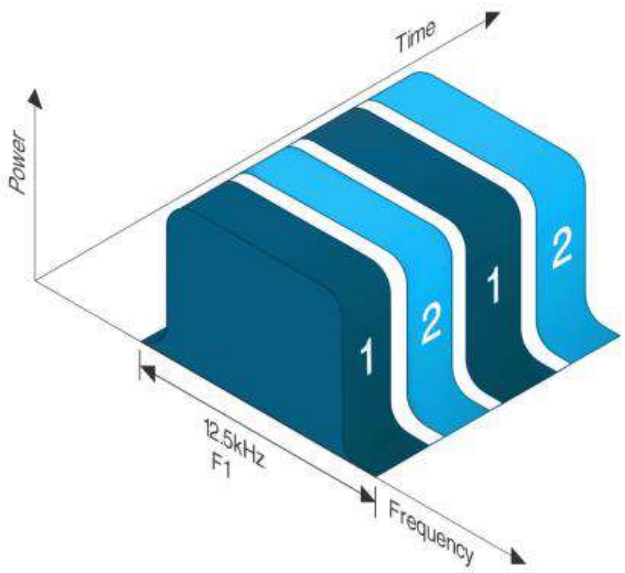


Figure I.4: Le multiplexage TDMA.

Cette génération a connu essentiellement 3 standards (GSM, GPRS, EDGE).

I.2.2.1 GSM

Le GSM (Global System for Mobile) a été créé par CEPT (Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications) en 1982. Ainsi, en 1987 le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles suivants : la transmission numérique, le multiplexage temporel des canaux radio, le type de chiffrement des

informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. 13 pays européens signent un accord pour l'ouverture d'un réseau de type GSM en 1991.

Comme cette génération repose sur une technologie numérique, le GSM est adéquat pour les communications téléphoniques de parole ainsi que d'autre fonctionnalités comme le SMS, c'est l'envoi d'un court message limité à 160 caractères, et l'MMS qui permet l'échange des données multimédia. Notamment des services avances comme le roaming (c'est la possibilité d'étendre un réseau étranger), la portabilité qui donne l'opportunité de changer de téléphone en conservant les données personnelles enregistrées dans la carte à puce SIM (Subscriber Identity Module). Ces derniers sont inclus dans la première phase de développement du GSM. La deuxième phase a rajouté des fonctionnalités supplémentaires comme l'identification de la ligne d'appel, appel en attente, …etc.

I.2.2.1.1 Caractéristiques du GSM

Le GSM a proposé de nouvelles caractéristiques dominantes et plus performantes que la génération précédente [1] :

- Débit maximale : 9.6 $kbps$.
- Débit de la parole : 13 $kbps$.
- Nombre de canaux : 125 canal.
- Largeur du canal : 200 kHz.
- Technique de multiplexage : TDMA et FDMA.
- Nombre d'intervalle de temps par trame TDMA = 8 intervalles de temps (IT).
- Puissance des terminaux : 2 à 8W.
- Des services supplémentaires tel que : l'identification du numéro, le renvoi d'appel, blocage des appels, l'indication de coût, … etc.
- Fréquences allouées: pour le GSM 900, les communications montantes (uplink) sont sur la bande $B = 890 - 915\ MHz$. Pour les communications descendantes (downlink) $B = 935 - 960\ MHz$. Pour le GSM 1800 ou aussi appelé DCS 1800 (Digital Cellular System 1800), l'envoi des données est dans la bande $B = 1710 - 1785$, et pour la réception des donnes $B = 1805 - 1880$.

I.2.2.1.2 L'architecture générale du GSM

Le réseau GSM se définit par une architecture bien déterminée contenant un ensemble d'équipements particulier présentée dans la figure suivante (Figure I.5):

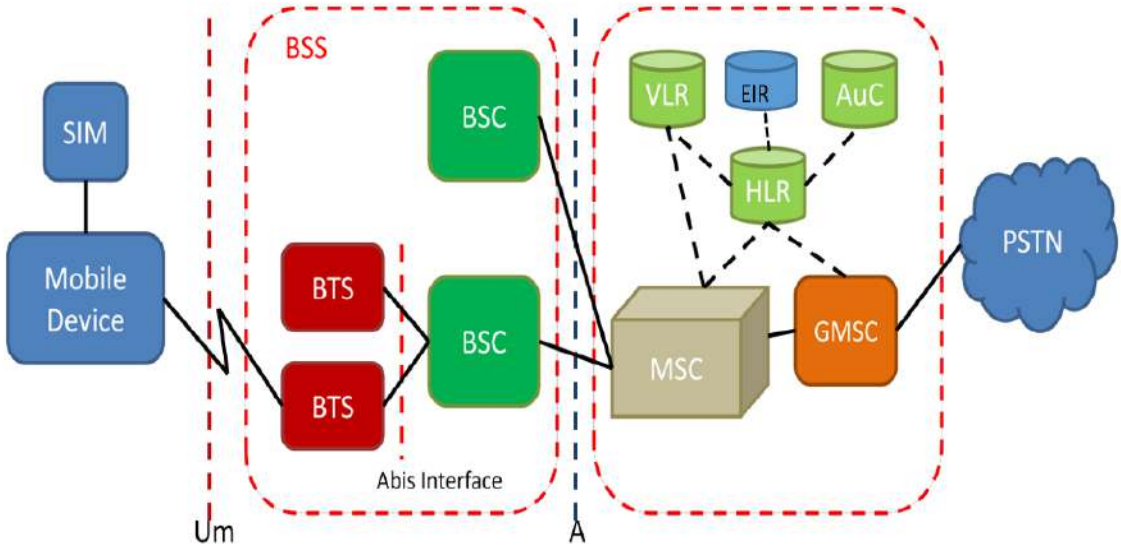


Figure I.5: Architecture générale du GSM.

Description d'architecture [5] :

- Le sous system radio BSS (Base Station Sub- system) : Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont :
  - Le mobile MS (Mobile Station) : Le téléphone et la carte SIM sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.
  - La station de base BTS (Base Transceiver Station) : c'est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. C'est la station de base qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau. Comme le multiplexage temporel est limité à 8 intervalles de temps, une station de base peut gérer typiquement tout 96 connections simultanées et en zone urbaine, elle gère jusqu'à 24 communications. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données.
  - Le contrôleur de station de base BSC (Base Station Controller): il gère les canaux logiques, assurent la fonction de concentration du trafic et l'exploitation d'une ou plusieurs BTS. Le BSC assure aussi l'optimisation de puissance d'émission et la gestion du handover.
- Le sous system radio NSS (Network and Switching Sub-system) : il joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Les éléments du NSS prennent en charge toutes les

fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions. Le NSS est constitué de :

- Le centre de commutation mobile MSC (Mobile Switching Center) : Le commutateur MSC supervise plusieurs BSC et gère l'établissement des communications entre les abonnées situaient dans d'autre BSC ou MSC. La transmission des messages courts et l'exécution des Handover. Il dialogue avec le VLR (Visitor Location Register) pour gérer la mobilité des usagers, vérification des caractéristiques des abonnés visiteurs, transfert des informations de localisation. Il peut posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné mobile vers un abonne fixe.
- L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR : Cette base de données ne contient que des informations dynamiques. Chaque MSC contient un VLR. Ce dernier contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR (Home Location Register) avec lequel elle communique, lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Une fois l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises par l'HLR vers un autre VLR.
- L'enregistreur de localisation nominale HLR : Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau PLMN (Public Land Mobile Network). Il s'agit d'une base de données avec des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible. Il contient toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification, les services souscrits, le numéro de l'abonné IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau, l'état de terminal. Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.
- Le centre d'authentification AuC (Authentication Center) : Le centre d'authentification est une fonction du système qui a pour but de vérifier si le service est demandé par un abonné autorisé, et ceci en fournissant soit les codes pour l'authentification que pour le chiffrage. Le mécanisme d'authentification vérifie la

légitimité de la SIM sans transmettre, pour autant, sur le canal radio les informations personnelles de l'abonné, telles l'IMSI et la clef de chiffrage dans le but de vérifier si l'abonné qui essaye d'accéder au service est autorisé et n'est pas abusif. Les codes d'authentification et de chiffrage sont obtenus aléatoirement pour chaque abonné grâce à quelques ensembles d'algorithmes définis par le standard et sont mémorisés soit sur l'AuC que sur la SIM.

- Les interfaces GSM : Le système GSM normalise un ensemble d'interfaces entre les entités afin de permettre l'interconnexion entre équipements de fournisseurs différents expliqués dans le tableau I.1.

Tableau I.1: Les interfaces du réseau GSM.

Interface	**Equipment**	**Description**
UM	BTS-Mobile	C'est l'interface la plus importante du réseau
A-bis	BTS-BSC	Transport de la voix et Data entre la BTS et le BSC
A	BSC-MSC	Relie les sous-systèmes BSS et NSS. De nombreux messages de signalisation transitent par cette interface
X25	BSC-OMC	Relie un contrôleur de BTS (BSC) avec le centre de maintenance (OMC).
B	MSC-VLR	Échange d'informations usager et mise à jour de zone de localisation.
C	GMSC-HLR	Lien pour que le GMSC interroge le HLR afin qu'un abonné d'un autre réseau (tel que la téléphonie fixe) joindre un abonné mobile.
D	VLR-HLR	Pour échanger les données relatives à la localisation d'un mobile ainsi que pour la gestion des caractéristiques de l'abonné.
E	MSC-MSC MSC-GMSC	Exécution des handovers. Transport des messages courts SMS.
F	MSC-EIR	Utilisée entre ces deux entités afin d'échanger des données pour que l'EIR puisse vérifier l'état de l'identité de l'équipement mobile.
G	VLR-VLR	Comprendre l'échange de signalisation entre VLRs.
H	HLR-AuC	Échange des informations nécessaires au chiffrement et à l'authentification. Cette interface n'est pas normalisée.

- ***Identités dans un réseau GSM***

Pour que le réseau soit fiable et sécurisé on distingue quelques identités qui spécifient chaque terminale et abonné [6] :

- L'IMSI : Identité invariante de l'abonné (15 chiffres), stocké dans la carte SIM et dans le HLR.

- TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) : Identité temporaire propre à un VLR utilisée pour identifier le mobile lors des interactions Mobile/Réseau.

- MSISDN (Mobile Station International ISDN Number) : Numéro de l'abonné seul identifiant de l'abonné connu dans le monde téléphonique.

- MSRN (Mobile Station Roaming Number) : Le numéro de station mobile en itinérance est un numéro RNIS dépendant d'un lieu provisoire attribué a une station mobile par un VLA (registre de localisation de visiteur) responsable au niveau régional, à l'aide de MSRN, les appels entrants sont achemines vers la MS.

- IMEI (International Mobile station Equipment Identité) : L'identité internationale d'équipements de station de base ressemble davantage à un numéro de série identifiant distinctement une station mobile au niveau international. Celui-ci est attribué par le fabricant de l'équipement et enregistré par l'opérateur du réseau, le stocke dans le registre d'identification de l'équipement (EIR). Grace à IMEI, on reconnait les équipements obsolètes, volées ou non fonctionnels.

I.2.2.2 GPRS

L'évolution de GPRS (General Packet Radio Service) pour de relier le monde GSM au monde internet pour se doter de services en situation de mobilité, il permet d'étendre l'architecture du standard GSM et l'utiliser pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment internet) utilisant le protocole IP ou le protocole X.25. Afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de $171{,}2\ kbps$ (en pratique jusqu'à $114\ kbps$) [7].

Le GPRS utilise les mêmes fréquences attribuées au GSM. La différence entre eux est que GSM n'utilise qu'un intervalle de temps IT par trame TDMA, tandis que GPRS peut utiliser plusieurs IT's de façon dynamique (jusqu'à 8 IT, qui est le maximum) sur une seule trame pour transporter les données.

I.2.2.2.1 L'architecture du réseau GPRS

L'intégration du GPRS dans une architecture GSM nécessite l'ajout de nouveaux nœuds réseau appelés GSN (GPRS support nodes). La figure I.6 illustre l'architecture générale de réseau GPRS [8] :

- Le SGSN (*Serving GPRS Support Node*), routeur permettant de gérer les coordonnées des terminaux de la zone et de réaliser l'interface de transit des paquets avec la passerelle *GGSN*.
- Le GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le GGSN est notamment chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion.

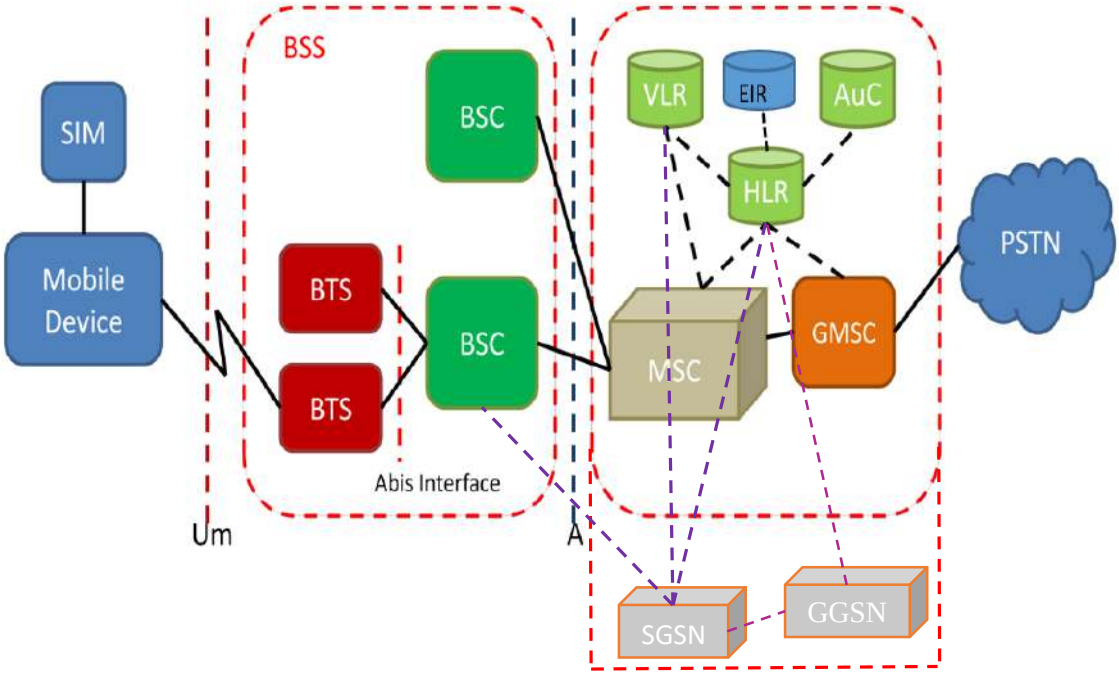


Figure I.6: Architecture du réseau GPRS.

On précise aussi les nouvelles interfaces dans le tableau suivant :

Tableau I.2: Architecture du réseau GPRS.

Interface	Description et utilité
Gn	Pour l'établissement, le maintien et la libération de tunnels entre GSN's, et de transfert des données d'usager.
Gb	Interface entre BSS (Base Station System) et SGSN (Serving GPRS Service Node).
Gr	Interface entre SGSN et HLR.
Gp	Interface entre PLMN et PLMN.
Gs	Interface entre SGSN et MSC.
Gi	Lien entre le réseau GPRS et un réseau externe (i,e. l'internet).

I.2.2.3 La norme EDGE

Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE (Enhanced Data Rates for GSM ou 2.75 G) est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE. Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation et donne un accès à l'internet avec un débit 3 fois plus fort [9].

I.2.2.3.1 Caractéristiques de la norme EDGE

Voici quelques caractéristiques du réseau de la deuxième génération EDGE [10]:

- Débits nécessaires : débit théorique 473,6 $kbps$, En pratique, le débit réel 384 $kbps$.
- Type de multiplexage : TDMA et FDMA.
- Intervalle entre trame est de 4.615 ms (8 IT).
- Bandes de fréquence disponibles : 880 à 915 MHz (Uplink). 925 à 960 MHz (Downlink).
- Il existe au total 175 canaux espacés de 200 kHz qui sont répartis entre les opérateurs. Chaque canal peut accueillir jusqu'à 8 communications simultanées.
- La technologie d'EDGE utilise la modulation 8-PSK (Phase Shift Keying) appelée parfois MDP-8 (Modulation de phase à 8 états).

- La vitesse de transmission de données totale a augmenté par conséquent par un facteur de trois.
- Mode de communications : Mode circuit (ECSD), ce mode permet d'obtenir au EDGE des canaux logiques de données à de plus hauts débits. On les appelle des E-TCH (Enhanced-Trafic Chanel). Un E-TCH offre, après codage protecteur d'erreur, des débits utilisateur allant jusqu'à 43,2kbit/s lorsqu'un seul slot par trame est alloué à un utilisateur, apres (EGPRS): La technologie EGPRS repose sur la même architecture du réseau GPRS (qui se base sur les opérations d'encapsulation et dé-encapsulation).

L'EDGE est une extension du réseau GPRS. Seule le sous-système radio est sensiblement modifié. Le déploiement de L'EDGE nécessite la mise à jour du BSC et de la BTS, l'ajout d'un émetteur-récepteur (EDGE Transceiver) capable de supporter la modulation 8-PSK au niveau de BTS.

I.2.3 La troisième génération

La troisième génération (3G) de systèmes cellulaires est une génération de systèmes mobiles appelée aussi IMT 2000 par l'UIT. Ce système permet des services de communications plus rapides notamment pour la voix, la télécopie, l'Internet de n'importe quel endroit et à tout moment.

L'UIT IMT-2000 est la norme internationale de la 3G a ouvert la voie à de nouvelles applications et services. Apparue dans l'année 2000 après une longue étape de développement et de perfectionnement des technologies précédentes. Initialement conçue pour une exploitation sur les téléphones mobiles, la 3G s'est démocratisée auprès du public au point d'être désormais utilisée sur plusieurs supports distincts.

Il existe plusieurs formes de 3G dans le monde avec différentes technologies, on citera les principales formes [11].

I.2.3.1 Technologies de la troisième génération (3G)

I.2.3.1.1 L'UMTS

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) considérée comme un système cellulaire numérique de communication avec des mobiles ou entre mobiles annoncé pour la première fois en 2002, destiné à offrir une large gamme de services de voix, de données et d'images, ainsi que l'accès à l'internet, normalisé en Europe, freiné en raison de son coût et de la mauvaise conjoncture économique du monde des télécommunications suite à l'éclatement de la bulle internet.

- ***Caractéristiques de l'UMTS***

On note les principales caractéristiques suivantes [12] :

- Fréquence allouée : $1900 - 2100\ MHz$.
- Débit théorique maximal : $1.99\ Mbps$.
- Débit réel : $384\ kbps$.
- Modulation : QPSK.
- Bande de fréquence : $5\ MHz$.
- Nombre de canaux : 40 canal.
- Méthode d'accès : CDMA, FDMA et TDMA.
- Mode d'accès : FDD et TDD.
- Durée trame radio : $10\ ms$.
- Couverture réseau entre : $10\ m$ et $1000\ km$.
- Fréquence pour le mode FDD : pour le canal montant :$1920 - 1980\ MHz$, et pour le canal descendant : $2110 - 2170 MHz$.
- Fréquence pour le mode TDD : pour le canal montant :$1900 - 1920\ MHz$, et $2010 - 2025\ MHZ$ pour le canal descendant.
- Canal de transport: DCH (Dedicated CHannel).

- ***Les méthodes de duplexage***

Les transmissions DL et UL sont organisés en deux types de structures qui sont [13] :

- **Le FDD**

FDD (Frequency Division Duplexing) désigne une méthode de duplexage dans le domaine des télécommunications sans fil. L'émission et la réception des données se font à des fréquences différentes, autrement dit, la fréquence de la porteuse du signal est différente suivant que le sens de la liaison est montant ou descendant. Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément.

- **Le TDD**

Le duplex par séparation temporelle TDD (Time-Division Duplex) est une technique permettant à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission (un canal radio par exemple) de séparer dans le temps l'émission et la réception, cette technique présente un avantage certain dans le cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques (lorsque le débit d'émission augmente ou diminue).

Un autre avantage de cette technique concerne les terminaux mobiles se déplaçant à très faible vitesse ou en position fixe. Dans ce cas, la technique de beamforming (filtrage spatial): c'est une technique de traitement du signal) très efficace avec un système TDD.

- ***Architecture du réseau UMTS***

L'architecture du réseau UMTS est montree sur la figure I.7:

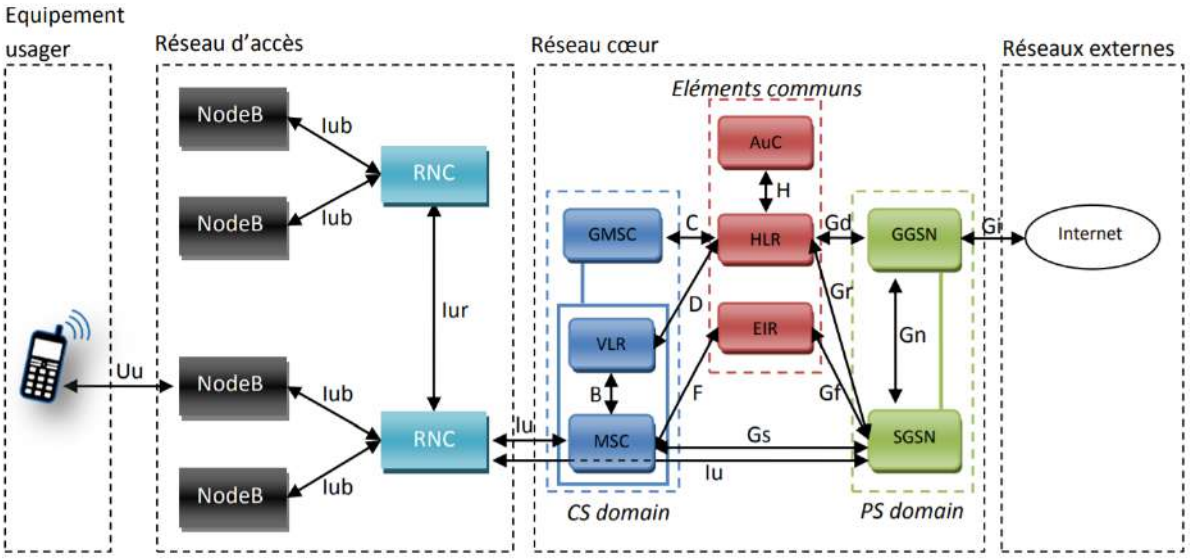


Figure I.7: Architecture du réseau UMTS.

Le réseau UMTS est composé de deux sous-réseaux [13] :

- Le réseau cœur "Core Network" : il regroupe l'ensemble des équipements assurant les fonctions de contrôle de la sécurité et de gestion de l'interface avec les réseaux externes.
- Le réseau radio "UMTS Radio Access Network" (UTRAN) : il fournit à l'équipement usager les ressources radio et les mécanismes nécessaires pour accéder au réseau cœur.

On note les entités rajoutées dans les réseaux UMTS [14] :

- NodeB: c'est une antenne qui joue le rôle du BTS pour le GSM. Il gère la couche physique de l'interface radio. Il régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit. Ils communiquent directement avec le mobile.
- RNC : c'est une antenne qui joue le rôle du BSC pour le GSM. Il gère la couche physique de l'interface radio, aussi les ressources radio de la zone dont il a le role du contrôle, ainsi qu'Il route les communications entre le Node B et le coeur de réseau.

- ***Les interfaces du système disponibles***

Les interfaces entre les éléments logiques sont présentées sur le tableau si dessous [12] :

Tableau I.3: Les interfaces sur l'UMTS.

Interface	**Description et utilité**
Cu	Correspond à l'interface électrique entre la carte USIM et le terminal. Cette interface suit le format standard des cartes à puces.
Uu	Il s'agit de l'interface air WCDMA.
Iu	Elle relie l'UTRAN au réseau cœur. L'interface Iu est ouverte et permet aux opérateurs d'employer des équipements UTRAN et CN de différents constructeurs.
Iur	Permet le soft handover entre des RNC de différents constructeurs.
Iub	Relie les Node B aux RNC. L'UMTS est le premier système de téléphonie mobile à proposer une interface ouverte à ce niveau.

I.2.3.1.2 HSDPA

Protocole pour téléphonie mobile appelé HSDPA (High speed Downlink Packet Access) ou 3.5 G, 3G+ ou encore turbo 3G. Il offre des performances dix fois supérieur à l'UMTS dont il est une évolution logicielle [15].

- ***Caractéristiques de la 3.5G***

- Fréquence allouée : 1900-2100 MHz
- Débit maximal :14.4 Mbit/s.
- Méthode de communication : CDMA.
- Mode d'accès : par paquet.
- Nouveau canal de transport: HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel). Réparti en plusieurs canaux comme représenté dans le tableau I.4:

Tableau I.4: Le canal de transport HS-DSCH.

Voix	Types de canaux	
Voie montante	HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control CHannel) : Canal physique transportant la signalisation associée au HS-DSCH.	
Voie descendante	HS-SCCH (High Speed Shared Control CHannel) : Canal physique de la signalisation associée au HS-DSCH.	HS-PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared CHannel) : Canal physique qui transporte les données d'un HS-DSCH.

I.2.3.1.3 La technologies HSUPA

L'HSUPA (High Speed Uplink Packet Access ou 3.75 G) Présentée comme le successeur du HSDPA étant comme le protocole avec des performances rajoutés dans le release 6 en offrant la possibilité d'émettre facilement des contenus volumineux (photos, audio, vidéo) vers d'autres mobiles mais aussi vers d'autres plateformes de partages de connexions. Le mécanisme est basé sur la gestion de la disponibilité absolue ou relative. La part absolue est utilisée à l'initialisation du processus alors que la part relative est utilisée pour augmenter ou diminuer la puissance utilisée [15].

- ***Caractéristiques de la technologie 3.75 G***

- Débit montant arrivant à 5.8 $Mbps$ théorique.
- Temps de transmission :8 ms.
- Le lien radio composé de : 5 sous trames.
- Nouveau canal physique : EDCH propose deux composants dans le canal montant: E-DPDCH et E-DPCCH et trois composants dans le canal descendant : E-AGCH, E-RGCH et E-HICH.
- Une modulation BPSK.

I.2.4 La quatrième génération

Au début des années 2010 ont vu une véritable révolution dans l'usage et la consommation de service de données depuis un téléphone mobile.

L'idée d'une nouvelle technologie mobile, plus performante que la 3G et ses évolutions, a vu le jour au milieu des années 2000, au sein du groupe 3GPP, l'organisme de normalisation des systèmes mobiles 3G UMTS. Poussé par les opérateurs qui pressentaient le besoin à venir d'un système mobile conçu autour des services de donnée très haut débits, avec plus de capacité plus de vitesse, plus facile à déployer et exploiter, le groupe 3GPP a commencé des études sur la quatrième génération 4G.

La 4G a connue deux normes ou deux standards qui sont : LTE (Long Term Evolution) et LTE-Advanced.

I.2.4.1 LTE

La technologie LTE (Long Term Evolution) a comme but de permettre le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur et un temps de latence plus faible. En théorie, elle utilise des bandes de fréquences hertziennes dont $1710 - 1785\ MHz$ (UL) et $1805 - 1880\ MHZ$ (DL), d'une largeur pouvant varier de $1{,}4\ MHz$ à $20\ MHz$, les débits crêtes doivent atteindre sur la voie descendante $100\ Mbps$ et sur la voie montante 50 Mbits/s, permettant ainsi d'obtenir des débits de l'ordre de $100\ Mbps$ pour les communications en mobilité forte (voitures, trains) et de $1\ Gbps$ pour les applications fixes ou très faiblement mobile (piétons), de partager entre les utilisateurs mobiles à l'intérieure d'une même cellule. Pour les opérateurs (qui ont la partie la plus importante pour supporter cette technologie).

LTE implique de modifier le cœur du réseau et les émetteurs radio. Il faut également développer des terminaux mobiles adaptés.

La technologie LTE ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP (voix IP), contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

La taille des cellules est jusqu'au $100\ km$ pour des performances optimales. Ces performances sont possibles grâce à l'utilisation d'antennes MIMO (Multiple Input Multiple Output) avec les techniques de modulation et le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qui apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Ce codage OFDMA est une technologie de codage radio de type

FDMA pour la liaison descendante et du SC-FDMA (single-carrier FDMA) est une technologie de codage radio pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS. LTE offre un débit de donnée crête sur la voie montante de 50 Mbits/s et un débit pic théorique de 100 Mbits/s à 300 sur la voie descendante et un temps d'aller-retour de moins de 10 ms. Cette technologie supporte le duplexage temporel TDD (time division duplexing) ou fréquentiel FDD (frequency division duplexing) [16].

I.2.4.1.1 Architecture du réseau LTE

L'architecture générale du système LTE comme montrée dans la figure est composée de deux entités principales : le réseau d'accès radio terrestre universel évolué E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) qui est le réseau d'accès radio pour l'EU (Equipment User), et le cœur de réseau ou cœur de paquets évolué EPC (Evolved Packet Core) qui interconnecte les réseaux d'accès, La figure I.8 montre l'architecture de l'LTE.

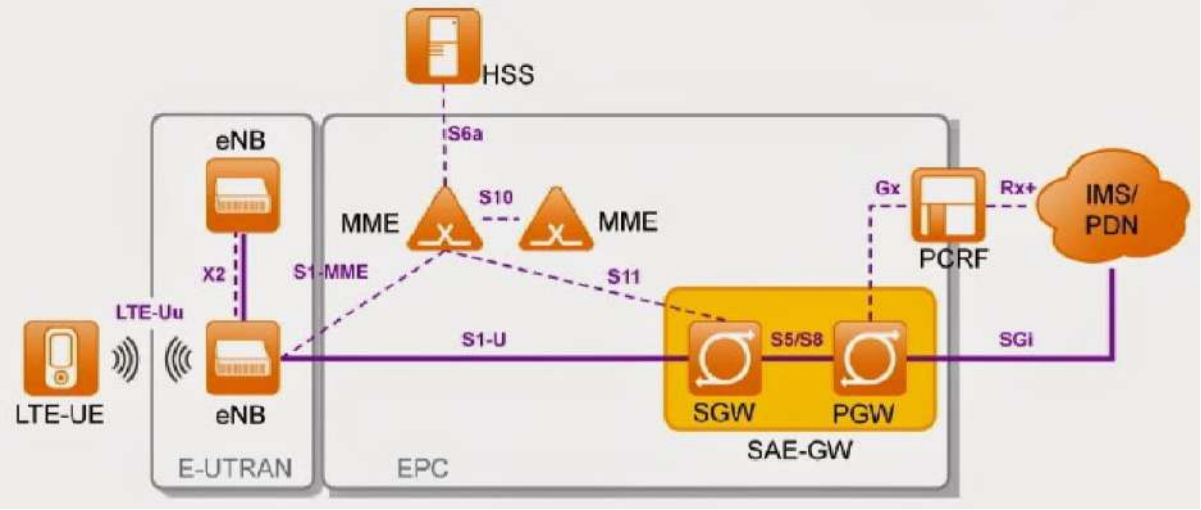


Figure I.8: Architecture du réseau LTE.

La description d'architecture et d'entités est comme suit [17] :

- L'utilisateur équipement UE : En LTE, l'UE communique avec l'E-UTRAN et l'EPC en utilisant les protocoles appropriés la communication du plan utilisateur qui se termine au niveau de l'eNodeB et supporte tous les protocoles affairant au plan utilisateur. De point de vu plan de contrôle, l'UE communique avec l'eNodeB et le MME à travers les protocoles RRC et NAS respectivement.
- L'entité eNodeB (Evolved Node B) : c'est le seul type d'entité qui l'E-UTRAN comprend, c'est une station radioélectrique à laquelle se connecte l'UE.

  Cette entité est responsable de la gestion des ressources radioélectriques, aussi elle transfère les données de trafic provenant du mobile vers l'entité SGW (Serving

GetWay) ainsi la mobilité du mobile en cours de session (handover) et d'autre fonctionnalités.

- L'entité MME (Mobility Management Entity) : c'est le tour de contrôle du réseau EPS, elle autorise l'accès des mobiles au réseau et contrôler l'établissement des supports pour la transmission des données, elle appartient à un groupe (pool).

  L'MME est le responsable de l'attachement et détachement du mobile, aussi elle fournit des informations requises pour les interceptions légales comme l'état du mobile (en veille, connecté), sa localisation … etc.
- L'entité HSS (Home Subscriber Service) : Le HSS contient l'information de souscription de l'utilisateur tel que le profil de QoS de l'abonné ou les restrictions d'accès en itinérance. Il contient également les informations concernant les réseaux de données auxquels l'utilisateur peut se connecter. Ces informations peuvent se retrouver sous la forme d'un nom de point d'accès (APN) ou sous forme d'une adresse PDN.
- Le SGW (Serving Gateway) : Tous les paquets IP à destination d'utilisateurs sont transférés à travers la SGw, qui sert de point d'ancrage pour les bearers de données lorsque l'UE est en mobilité entre plusieurs eNodeB. La SGW conserve également contextes sur les bearers de l'UE lorsqu'il est en veille. Si elle reçoit des données destinées à un UE en veille la SGw contacte le MME pour notifier l'UE et rétablir ainsi les bearers associés aux contextes. Par ailleurs, la SGW gère quelques fonctions annexes au sein du réseau visité dans le contexte d'itinérance. La SGW sert également de point d'ancrage pour l'interfonctionnement avec d'autres technologies d'accès.
- Le PGW (Packet-Switch Getway) : c'est le routeur de passerelle assurant la connexion du réseau EPS au réseau de données PDN, elle peut effectuer le marquage DSCP des paquets IP et lors de l'attachement, l'entité PGW attribue une adresse IPv4 ou IPv6 au mobile, aussi elle génère les données permettant aux entités de taxation d'élaborer les tickets de taxation.
- Le PCRF (Policy and Charging Rules Function) : Le PCRF est un nœud optionnel au sein de l'architecture EPC. Toutefois, il permet d'appliquer des règles de gestion évoluées sur le trafic et la facturation de l'utilisateur en fonction de son offre, le PCRF peut communiquer au PCEF (policy control enforcement function) un ordre afin que ce dernier diminue le débit de l'utilisateur. Le PCRF peut également indiquer lors de l'établissement d'une session ou cours de session les caractéristiques de qualité de service (QoS Class Identifier et débits) à appliquer par le PCEF sur les flux de données.

Le PCRF s'assure que le traitement appliqué est en accord avec le profil souscription de l'utilisateur.

D'autre part le PCRF peut recevoir des requêtes d'établissement de session provenant de l'entité AF (Application Function).

- Les interfaces appropriées au réseau LTE sont présentées sur le tableau suivant [17] :

Tableau I.5: Les interfaces du réseau LTE.

Interface	**Description**
Uu	Une interface radio, qui est le point de référence entre L'eNodeB et le UE.
X2	Définie la connexion entre les éléments eNodeB. Il est destiné pour les procédures de Handover inter-eNodeB, aussi bien que pour la gestion de la signalisation des ressources radio inter-cellules.
S1-MME	Elle connecte les éléments eNodeB et MME, elle est conçue pour la signalisation du plan contrôle entre l'eNodeB et le MME.
S1-U	Est utilisée entre l'eNodeB et le S-GW, est conçue pour transporter les données du plan utilisateur entre l'eNodeB et le S-GW.
S11	C'est le support entre MME et SGW.
S10	C'est le support entre les entites MME.
S5	C'est le support entre SGW et PGW, elle est pour la signalisation et la tunnelisation du trafic.
SGi	C'est le support entre l'entité PDW et le réseau de données PDN (réseau internet).
S6a	C'est le support entre MME et HSS pour la signalisation via le protocole DIAMETER, permettant l'accès aux données du mobile.

I.2.4.2 LTE Advanced

Dans LTE-Advanced, l'accent est mis sur la capacité supérieure : le moteur LTE évolué vers LTE-Advanced visait à offrir des débits en bits plus élevés de manière rentable et, parallèlement à satisfaire pleinement aux exigences définies par l'UIT pour les IMT Avancé, également appelé 4G [18].

Cette technologie est caractérisée généralement par :

- Augmentation du débit binaire, (down link) 3 $Gbps$, (up link) 1,5 $Gbps$.
- Efficacité spectrale supérieure, allant de 16 bps/Hz maximum dans R8 au 30 bps/Hz en R10.
- Augmentation du nombre d'abonnés actifs simultanément.
- Performances améliorées aux bords des cellules, par exemple pour DL 2x2 MIMO au moins 2,40 $bps/\ Hz/cellule$ [19].

I.2.5 La cinquième génération

La 5G, c'est le sujet qui brûle toutes les lèvres en ce moment, et particulièrement dans la sphère télécom où les opérateurs mobiles et les fabricants de téléphone.

La 5G ce n'est ni plus ni moins qu'une technologie de réseau mobile, sa débit théorique validé des réseaux 5G est de 1 Tbit/s au km^2 et 100 Mbit/s de débit assuré pour l'utilisateur. À titre de comparaison, la 4G offre 1 Gbit/s par cellule, un débit qui est donc partagé entre les habitants couverts par cette cellule, soit en pratique aux alentours de 30Mb/s.

Le but est effectivement de connecter non seulement les smartphones et les tablettes mais plus globalement l'ensemble des objets. Or on estime qu'il y en a environ un million au kilomètre carré.

Surtout, le réseau 5G réduira considérablement les temps de latence à 1 ms contrairement aux 30-40 ms observés aujourd'hui. En plus du traditionnel surf sur Internet, l'objectif est bien de pouvoir prendre le contrôle des objets à distance. Seul un temps de latence extrêmement faible est donc acceptable pour le pilotage d'un drone ou d'une voiture connectée [20].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini d'une façon générale les principaux réseaux mobiles en introduisant le concept cellulaire. Nous avons présenté les diverses générations jusqu'à la génération actuelle, leurs définitions, technologies et caractéristiques, ainsi que leurs architectures, notamment les types d'accès et de multiplexage et aussi les méthodes du duplexage.

Ces réseaux mobiles nécessitent toujours un entretien et maintenance, alors il les faudra une optimisation. On va détailler quelques techniques d'optimisation radio dans le prochain chapitre.

Chapitre II

Optimisation et mécanismes de supervision de la qualité de service d'un réseau 2G/3G

Introduction

Après le dimensionnement et la planification initial des réseaux, on a une autre étape plus importante et plus complexe dans l'exploitation des réseaux mobiles, qui est la surveille est l'optimisation, Ce chapitre a pour objectif de décrire les principes de l'optimisation radio d'un réseau mobile. Il explique les différentes étapes ainsi que les outils utilisés dans le processus d'optimisation.

L'optimisation est un usage régulier pour éliminer ou diminuer les problèmes des réseaux, se basant sur l'analyse des données collectées dans le réseau, dans le but d'assurer une couverture radio globale. Aussi pour améliorer la qualité de service offerte aux utilisateurs et augmenter le volume de trafic écoulé par le réseau avec les équipements existants.

La qualité de service (QoS) est d'une importance capitale pour les opérateurs téléphoniques, car dans un domaine aussi compétitif que celui des télécommunications, la QoS peut être le critère déterminant pour les utilisateurs, alors qu'il faut donner toujours un meilleur service aux clients.

II.1 Processus générale de l'optimisation radio

Le processus d'optimisation est un cycle périodique à qui on peut faire appel plusieurs fois dans un même réseau de communication mobile, on le résume dans la figure II.1 soit juste après le déploiement du réseau et c'est ce que nous appelons la *pré-optimisation,* ou après le lancement du réseau.

Les opérations d'optimisation respectent ce cycle qui se répète tant que ces opérations apportent toujours des améliorations au réseau. Ce cycle a besoin de plusieurs outils afin de réaliser une étude globale sur le réseau et d'en sortir les différents problèmes et ensuite essayer de trouver pour chaque problème la solution la plus adéquate [22].

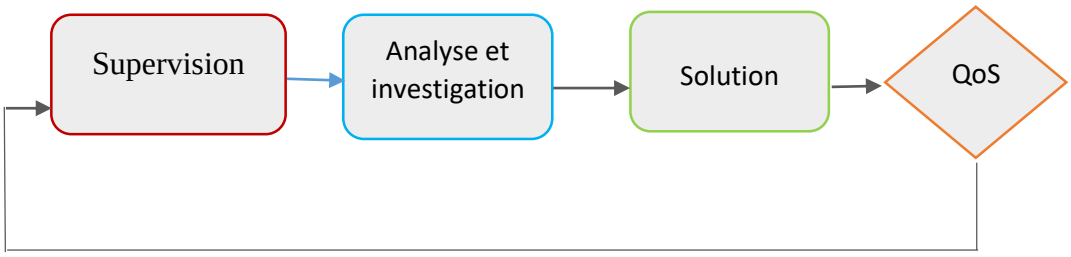


Figure II.1: Le cycle général d'optimisation.

II.2 La supervision et détection des anomalies

La QoS est l'aspect essentiel dans un réseau téléphonique, alors les opérateurs s'efforcent toujours pour avoir la très bonne qualité et l'évoluer d'une manière parfaite. Les optimiseurs essaient de superviser le réseau avec des méthodes et des outils bien spécifies, et quand un problème est détecté, l'optimiseur entre dans une course contre la montre pour le régler au plus tôt possible.

L'optimisation dépend principalement de trois méthodes de supervision :

- Les indicateurs de performance KPI's (Key Performance Indicators)
- Les Drive Tests (DT) : on distingue trois opérations sur le drive test :
  - DT pour l'étude de qualité.
  - DT pour l'étude de couverture.
  - DT pour détecter les mauvais évènements.
- Les réclamations des clients (RC)

On résume le cycle de l'optimisation détaillé sur un organigramme dans la figure II.2 qui procède les paramètres cités avant (KPI, DT, RC) d'après la supervision par les ingénieurs, ensuite de la détection d'un problème, il faut une analyse, une investigation et la connaissance de l'origine du dernier pour qu'ils peuvent proposer des solutions. Après l'étape de l'interprétation des résultats est pour voir si le problème est résolu ou non, si non l'ingénieur doit répéter la procédure.

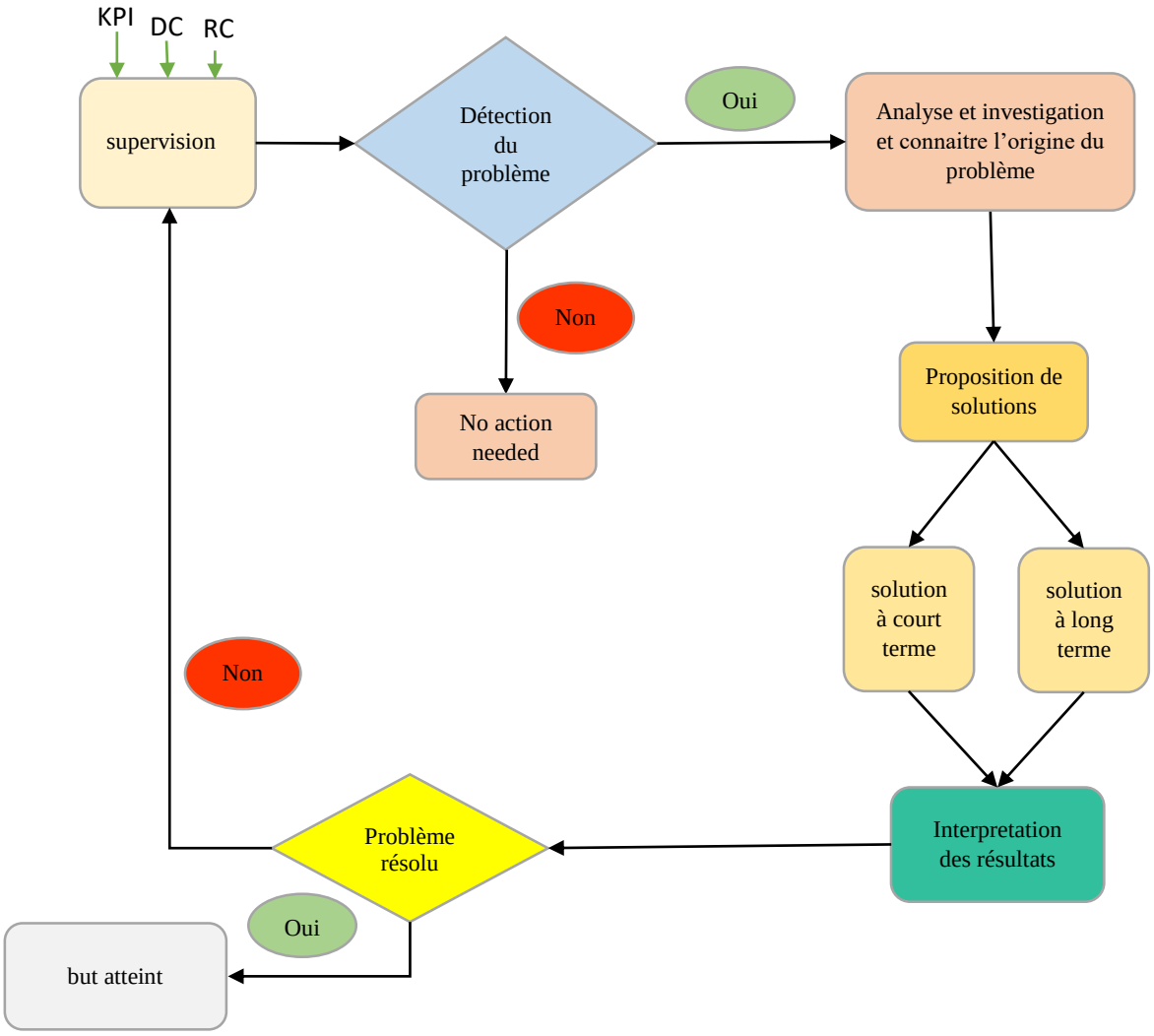


Figure II.2: La procédure d'optimisation du réseau.

II.2.1 Les indicateurs de performances clés

Les indicateurs clés de performances KPI's peuvent être définies comme un ensemble de résultats qui comptent les performances. Un KPI est le résultat d'une formule qui est appliquée aux compteurs durant les heures chargées ou les heures normales sur le réseau entier.

Un compteur peut être défini comme une valeur incrémentale d'un événement spécifique répétitif. La mise à jour des compteurs à un certain point se fait via les messages échangés. Il est appelé le point de déclenchement. Comme des milliers de messages de signalisation existent, de nombreux compteurs peuvent exister. Cependant, le nombre de compteurs utilisables dépend de la stratégie des fournisseurs des équipements.

Des centaines de KPI's existent, ils emploient des compteurs d'une ou plusieurs mesures et peuvent être calculés à partir d'un compteur ou d'une formule de plusieurs compteurs. La période de l'observation se rapporte à la durée des échantillons rassemblés (heure, jour, semaine, mois … etc).

Les KPI's sont classés dans plusieurs groupes, on indique quelques-uns en donnant des exemples d'indicateurs de performance pour chaque groupe [23, 24].

II.2.1.1 Accessibilité (Accessibility)

L'accessibilité est la possibilité pour l'utilisateur d'établir un appel, donc d'accéder au réseau, quand il le désir. Elle se calcule dans le réseau UTRAN sur deux étapes : RRC (Radio Resource Control) et RAB (Radio Access Bearer Service), et par rapport aux différents services. On note deux exemples de KPI,s d'accessibilité suivants :

-Radio Resource Control (RRC): La procédure de tentative de service de connexion RRC est terminée lorsque le contrôleur RNC reçoit un message de requête de connexion (RRC Connection Request) de l'UE (User Equipment) la figure II.3 explique la procedure. Le message contient des informations sur l'un des types de service suivants demandés par l'UE comme appel d'urgence, appel en continu, rappel d'établissement d'appel …etc.

L'accessibilité RRC se calcule par le taux de succès d'établissement de connexions des ressources de contrôle radio RRC qui est définie par rapport aux deux types de service CS et PS. Elle est donnée par la formule suivante :

$$RRC\ Setup\ Success\ Ratio = \frac{Number\ of\ RRC\ setup\ success}{Number\ of\ RRC\ connection\ attempts} \times 100\% \quad (II.1)$$

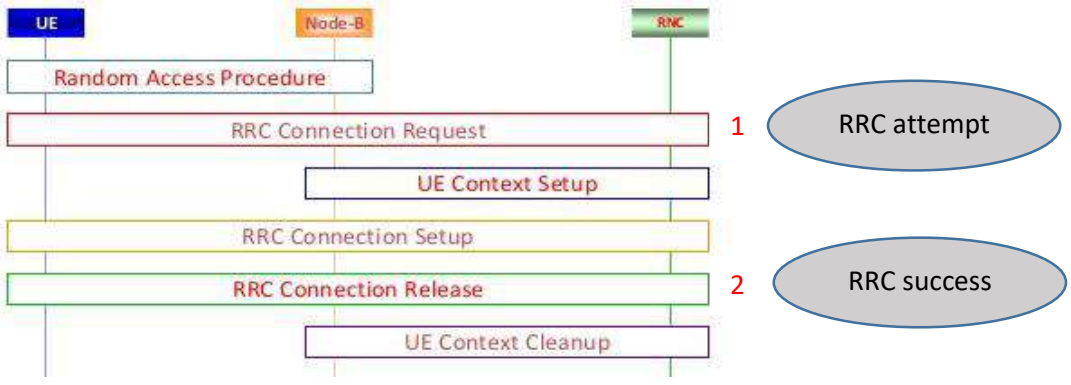


Figure II.3: Schéma explicative des points de mesures pour le KPI RRC.

- PS RAB Setup Success Ratio : Ce KPI est utilisé pour vérifier le taux de réussite de la configuration RAB de tous les services PS (Packet Switched) dans un RNC ou un cluster. La procédure de tentative d'installation PS RAB est terminée lorsque le contrôleur RNC reçoit un message (RAB assignment request) du SGSN du domaine PS. Le message contient des informations sur l'un des types de services suivants : services de conversation, services de transmission en continu, services interactifs, services en arrière-plan. La procédure de réussite de configuration du PS RAB commence lorsque le RNC reçoit un message (radio bearer setup complete) de l'UE. Cette procédure est terminée lorsque le contrôleur RNC envoie un message (RAB assignment response) au SGSN du domaine PS.

Ce KPI est donnee par la formule suivante :

$$PS\ RAB\ Setup\ Success\ Ratio = \frac{Number\ of\ PS\ RAB\ Setup\ Successes}{Number\ of\ PS\ RAB\ Setup\ Attempts} \times 100\% \quad (II.2)$$

- CS RAB Setup Success Ratio : Cet indicateur de performance clé est utilisé pour vérifier le taux de réussite de la configuration RAB de tous les services CS (circuit switched) dans un RNC ou un cluster. La procédure de tentative d'installation de configuration CS RAB est terminée lorsque le RNC reçoit un message (RAB assignment request) du CN (Core Network) du domaine CS. Le message contient des informations sur l'un des types de service suivants : services de conversation, services de transmission en continu. La procédure de réussite de l'installation du système CS RAB commence lorsque le RNC reçoit un message (radio bearer setup complete) de l'UE. Cette procédure est terminée lorsque le RNC envoie un message (RAB assignment response) au CN du domaine CS.

La formule de ce KPI est :

$$PS\ RAB\ Setup\ Success\ Ratio = \frac{Number\ of\ CS\ RAB\ Setup\ Successes}{Number\ of\ CS\ RAB\ Setup\ Attempts} \times 100\% \quad (II.3)$$

Le taux de succès d'accessibilité est donné par la formule suivante :

$$Accessibility\ success\ rate = RAB \times RRC \quad (II.4)$$

II.2.1.2 La mobilité (Mobility)

La mobilité est possible grâce au handover, elle permet au mobile de changer de cellule, station de base, réseau d'accès, réseau cœur, pendant une communication sans avoir à relancer l'appel, ainsi en mode veille. Le handover est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire (GSM ou UMTS par exemple). Globalement, c'est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant qu'une station mobile puisse changer de cellule sans interruption de service. Ce mécanisme permet l'itinérance entre cellules ou opérateurs. [25]

On note les types du handover suivants :

Pour le réseau 2G on a :

- Le handover intracellulaire : est mis en œuvre quand le niveau du signal est suffisant mais que la qualité est médiocre. Ceci peut être dû à des interférences sur le canal radio utilisé. Il suffit, sans changer de cellule, de simplement changer de canal.

- Le handover intercellulaire : est mis en œuvre quand le niveau du signal devient insuffisant. La communication doit alors être basculée sur la BTS d'une cellule voisine. Un handover intercellulaire peut aussi être déclenché par le réseau pour décharger une BTS trop chargée. Le handover revient à préparer l'accueil du mobile.

  Pour la 3G on a :

- Le soft handover : survient entre deux cellules ou deux secteurs qui sont supportés par différents NodeB. L'UE transmet ses données vers différents NodeB simultanément et reçoit des données de ces différents NodeB simultanément. Dans le sens descendant, les données utilisateurs délivrés à l'UE sont émises par chaque NodeB simultanément et sont combinées dans l'UE. Dans le sens montant, les données utilisateurs émis par l'UE sont transmises à chaque NodeB qui les achemine au RNC où les données sont combinées.

- Le hard handover : Un hard handover survient dans différentes situations, telles qu'entre cellules utilisant des fréquences différentes (handover inter-fréquences) ou entres cellules rattachées à des RNC différents sans que ceux-ci disposent d'une interface Iur entre eux ou lors d'un handover FDD/TDD puisque l'UE ne peut utiliser qu'une technologie d'accès à un instant donné. Le hard handover est

aussi réalisé dans le cas d'un handover entre une cellule UMTS et une cellule GSM/GPRS (handover inter-système).

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

Maintenant on donne des exemples sur les indicateurs de performance KPI's de la mobilité :

- Soft Handover Success Ratio : Cet indicateur de performance clé est utilisé pour vérifier la qualité de service et le taux de réussite du transfert progressif dans un RNC ou un cluster.

La procédure de transfert progressif réussie est terminée lorsque le contrôleur RNC reçoit un message (active set update complete) en provenance de l'UE pendant la procédure de transfert progressif, et elle termine lorsque le RNC envoie un message (active set update) à l'UE.

La formule du Soft Handover Success Ratio KPI est :

$$Soft\ Handover\ Success\ Ratio = \frac{Number\ of\ successful\ Soft\ handovers}{Number\ of\ attempts\ of\ Soft\ Handover} \times 100\% \qquad (II.5)$$

-Inter Frequency Hard Handover Success Ratio : Cet indicateur de performance est utilisé pour vérifier le taux de réussite du transfert inter-fréquences dans un RNC.

La procédure de réussite du transfert inter-fréquence est terminée lorsque RNC a reçu un message (physical channel reconfiguration complete) de l'UE, et elle commence lorsque le RNC envoie le message (physical channel reconfiguration), on donne sa formule par :

$$KPI = \frac{\text{Inter Frequency Hard Handover Success}}{\text{Inter Frequency Hard Handover Success attempt}} \times 100\% \qquad (II.6)$$

Les points de mesures pour ce KPI sont précisés dans la figure II.4.

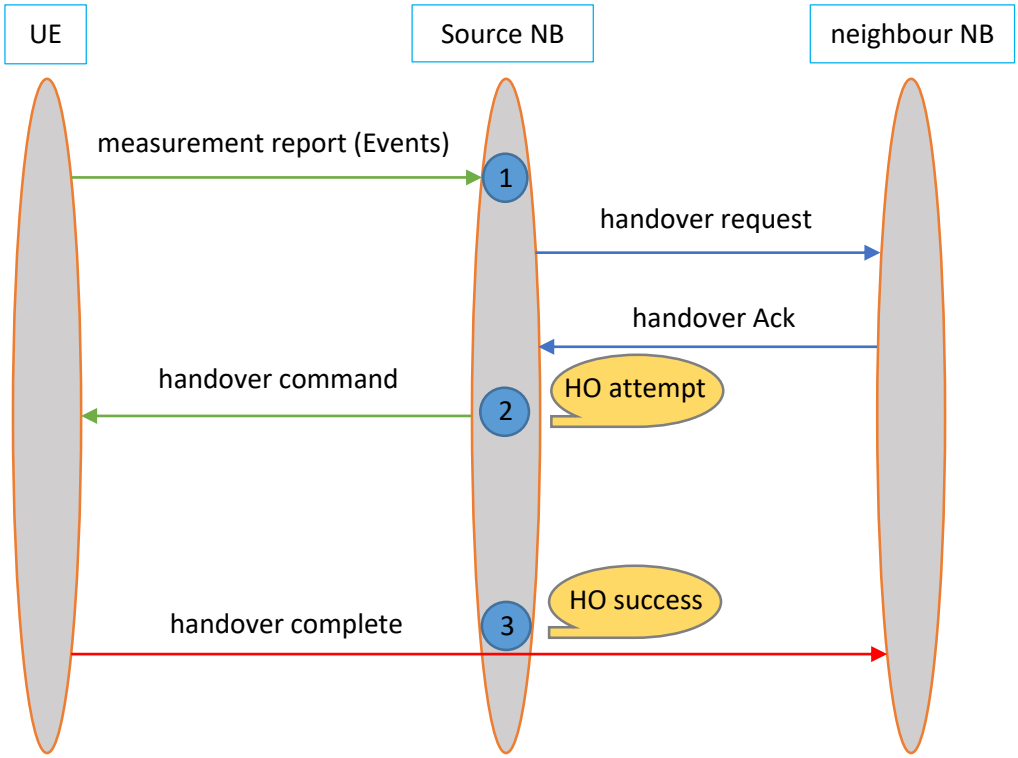


Figure II.4: Schéma explicative des points de mesures du KPI du handover.

II.2.1.3. La capacité de rétention (Retainability)

La capacité de rétention est définie comme la capacité d'un utilisateur à conserver le service demandé pendant la durée requise une fois connecté. Les indicateurs de performance clés de niveau RNC peuvent être calculés en agrégeant tous les compteurs de cellules et l'interface Iur. On prend un exemple de KPI pour cette classe d'indicateurs :

-AMR Call Drope Rate : il est pour évaluer le rapport de baisse d'appel du service de CS dans un RNC. Les baisses d'appel se produisent en raison du dégagement anormal de RNC déclenché par la demande de dégagement de RAB

Sa formule est donnée par :

$$AMR_CDR = \frac{Number\ of\ AMR\ RAB\ Abnormal\ Releases}{Total\ Number\ of\ AMR\ RAB\ Releases} \times 100\% \qquad (II.7)$$

II.2.1.4 Service intégrité (Service Integrity)

Ces KPI indiquent principalement les capacités de service pour le débit PS / HSPA pendant les heures chargées dans chaque cellule et le service (UL Average BLER) pour évaluer la valeur UL BLER des services dans chaque cellule.

L'exemple donné est le KPI :

-HSDPA Throupout (DL) : Ce compteur indique le débit moyen de liaison descendante pour un HSDPA d'un UE dans une cellule. Lorsque les données sont transférées vers une cellule serveur HSDPA, le contrôleur RNC mesure le temps de transfert de données de tous les UE et le nombre total d'octets envoyés dans la cellule. À la fin de la période de mesure, le RNC divise le nombre total d'octets par le temps total de transfert de données pour obtenir le débit moyen en liaison descendante dans la cellule. L'en-tête RLC et les données retransmises sont exclus.

II.2.1.5 Le trafic (Trafic)

Les indicateurs de performance clés liés au trafic sont utilisés pour vérifier le trafic en circulation, comme Erlang CS Equivalent, le trafic PS et le nombre UE moyen pour divers types de services dans un RNC ou un cluster. On note le KPI suivant :

- Number of HSDPA Users : Cet indicateur fournit la valeur moyenne, maximum et minimum d'HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) d'équipements d'utilisateurs (EU's) dans une cellule serveur HSDPA. Le contrôleur RNC échantillonne périodiquement le nombre d'HSDPA d'EU dans la cellule serveur HSDPA. À la fin de la période de mesure, le RNC obtient le nombre moyen et maximal d'EU HSDPA.

II.2.2 Les tests Drive

Le Drive test est un procédé de mesure et l'évaluation de la couverture et la QoS d'un réseau de radiotéléphonie mobile. La technique consiste à utiliser un véhicule à moteur contenant un appareil de mesure radio mobile, qui permet de détecter et d'enregistrer une grande variété de paramètres physiques et virtuelles comme l'azimut, la longitude, l'inclinaison du Tilt, les frequences du UL et DL du service cellulaire mobile dans une zone géographique donnée.

En mesurant ce qu'un abonné du réseau sans fil éprouverait dans une zone spécifique, les opérateurs sans fil peuvent apporter des modifications destinées à leurs réseaux qui offrent une meilleure couverture et le service à leurs clients. Ces tests nécessitent un véhicule

mobile équipé d'appareils de drive test. Ces équipements sont généralement des dispositifs électroniques hautement spécialisés qui interface avec les téléphones mobiles. Cela garantit que les mesures sont réalistes et comparables à l'expérience réelle de l'utilisateur [26].

II.2.2.1 Les données recueillies au cours d'un Drive Test

L'équipement de drive test recueille généralement les données relatives au réseau lui-même, les services fonctionnant sur le réseau tels que la voix ou des services de données et de l'information GPS pour fournir l'enregistrement de l'emplacement. L'ensemble des données recueillies lors de mesures sur le terrain d'essai d'entraînement peut comprendre des informations telles que : l'intensité du signal, la qualité du signal, l'interférence, les appels interrompus, les événements anormaux, statistiques d'appels, voisines informations de cellule, lieu de coordonnées GPS, et performance du réseau data (débit).

II.2.2.2 Les outils utilisés dans un Drive Test

Pour faire un drive test nous aurons besoin à des outils Hardware (matériels) et Software (logiciels) (figure II.5) dont :

- Un ordinateur portable qui doit être performant et supportant les logiciels et applications nécessaires, doté d'un outil spécial il sert pour l'acquisition et le traitement des données récupérées. Les données sont alors enregistrées par logiciel avec un format précis sur un fichier appelé (Log File) et transmit à l'ingénieur radio pour faire l'analyse sur un autre outil d'analyse.
- Téléphones mobiles ou bien scanner, supportant les technologies (2G, 3G et LTE) selon le besoin.
- Clés de sécurités (Dongle) qui sont communs avec les applications utilisées (Tout dépend l'outil utilise).
- Un diapositive receveur du signale GPS connue par satellites pour déterminer la position géographique pour chaque point de mesure.
- Un automobile équipé fréquent d'utiliser des adaptateurs ou concentrateurs qui permettent l'interconnexion correcte de tous les équipements.

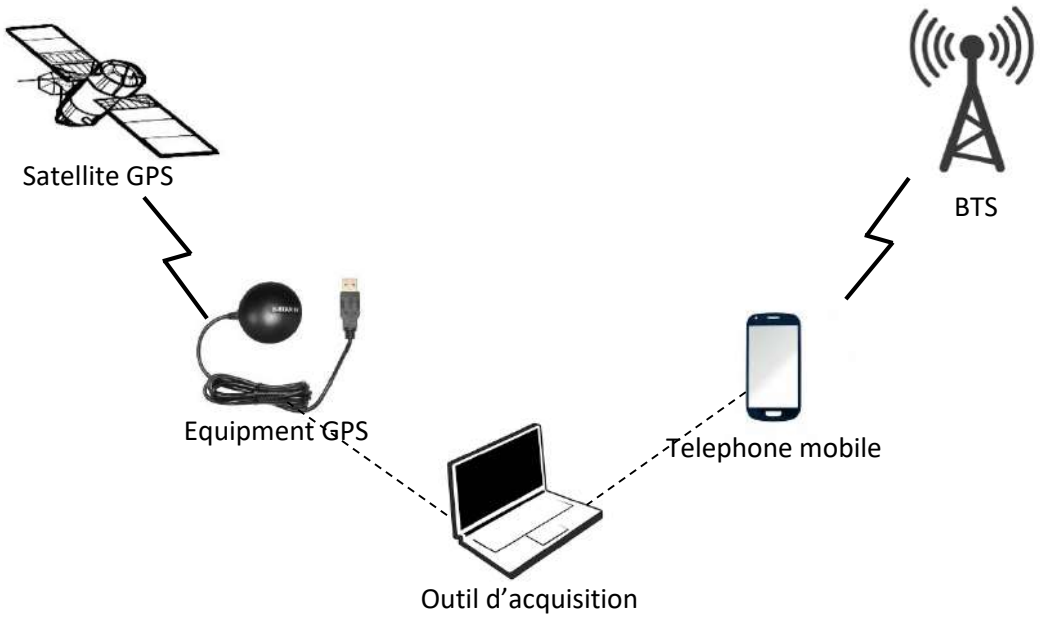


Figure II.5: Les outils du drive test.

II.2.2.3 Les types d'indicateurs et les scenarios du DT

Au bout d'un DT, il est nécessaire de vérifier trois paramètres ou types d'indicateurs principaux :

- L'étude de couverture.
- L'étude de la qualité de signal.
- L'étude du débit.

Afin de mesurer ces derniers il faut suivre un scenario bien spécifié, voici un exemple explicatif de ce dernier :

Mobile1 (MS 1) en mode veille ou bien un scanner.

MS 2 en mode connecté pour des longs appels.

MS 3 en mode connecté pour les appels courts (30 à 120 secondes).

MS 4 et MS 5 en mode connecté pour data.

Avant de commencer le drive test il faut assurer la présence d'ordinateur portable et l'outil nécessaire ainsi que le récepteur GPS qui doit être installer sur la voiture (sur le toit), aussi de choisir le parcours pour tester une certaine zone.

- **Pour étudier la couverture :** l'ingénieur utilise un téléphone mobile MS ou bien un scanner en mode veille qu'il le connecte avec l'ordinateur par USB et il traverse le circuit voulu en collectant les mesures de la puissance de signal, Received Signal Code Power (RSCP) en dBm, la figure II.6 montre un exemple réel.

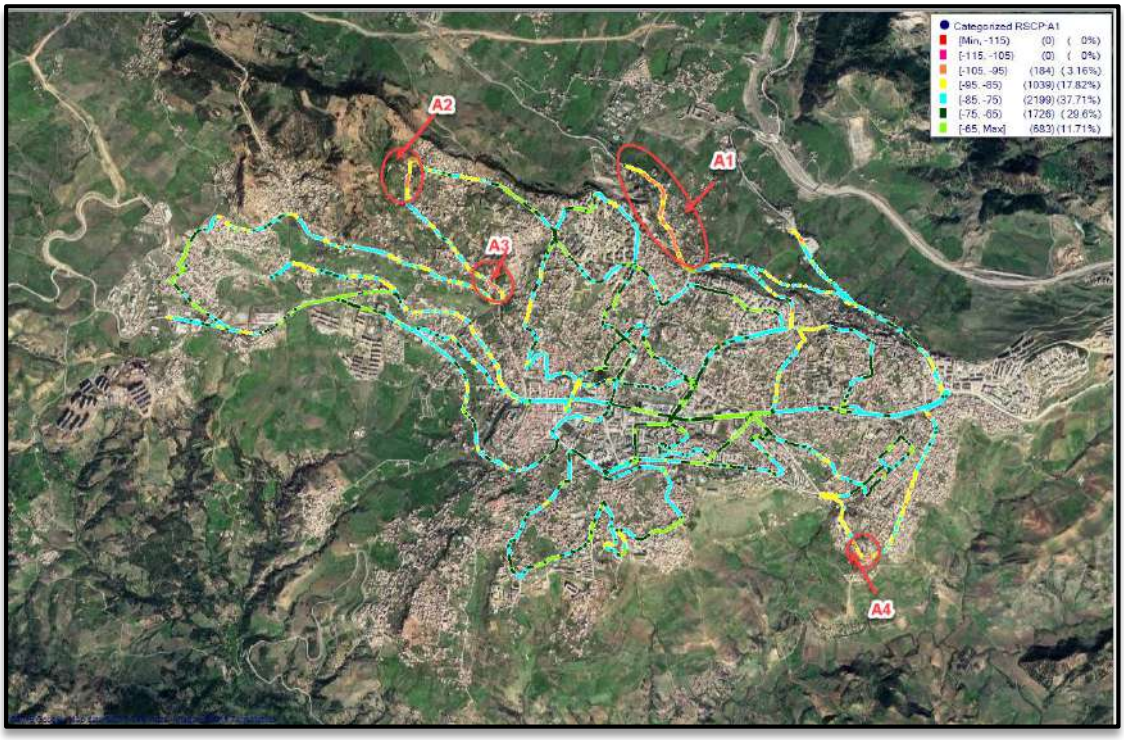


Figure II.6: L'analyse de couverture avec le DT.

D'après la figure on détecte les zones de mauvais RSCP d'après la légende posée (de -115 au -90 dBm) dues au cellules non dominantes et dépassées, la solution est d'élever la puissance de transmission de certaines cellules du 20 W au 40W et modifier le l'angle d'équerre Tilt du NodeB.

- **Pour l'étude de la qualité :** il connecte un deuxième MS en même temps en mode connecté (effectuer un long appel) et prendre les mesures du taux et la qualité de signal Ec/No, ainsi de détecter les mauvais évènements comme les appels interrompus dans ce cas, et apercevoir les actions du handover. Dans le même test plusieurs courts appels sont effectués par un troisième MS jusqu'à la fin du parcours pour dévoiler les évènements anormaux dont les appels bloquées et interrompus.

La figure II.7 affiche les mesures de qualité de signal Ec/No et précise les zones de mauvaises qualité due au pilot pollution (interférence causée par couverture de plusieurs cellules d'une même zone).

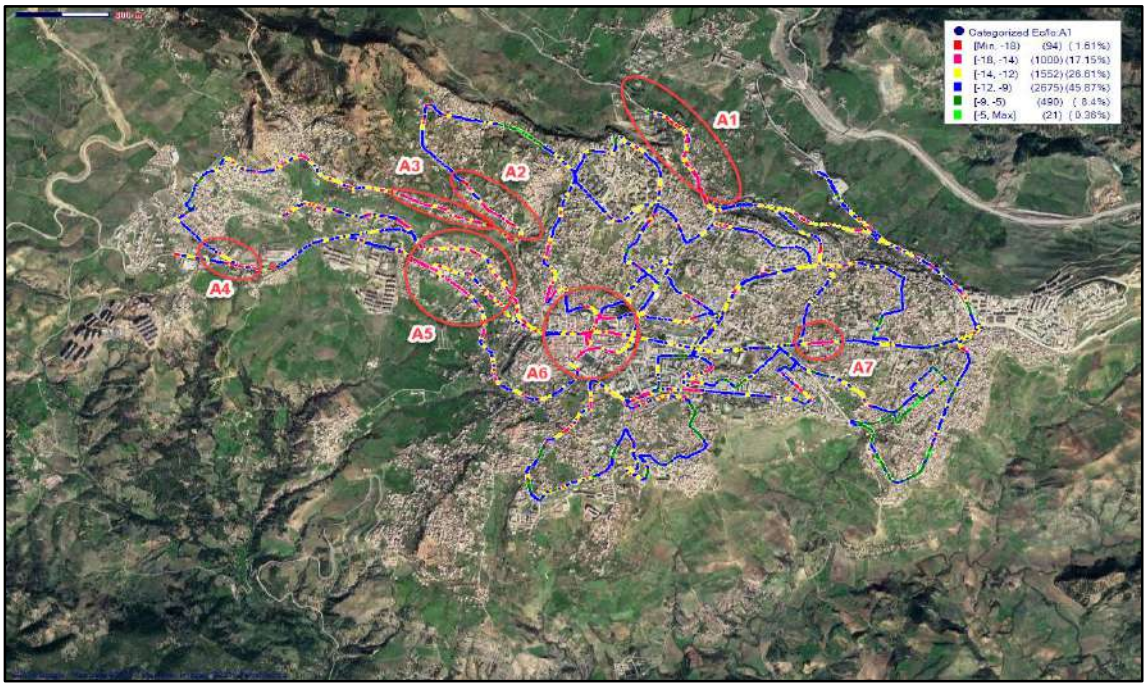


Figure II.7: Mesure de la qualité de signal (Ec/No) avec le DT.

- **L'étude du débit :** nécessite un quatrième et cinquième MS (smart phones) qui s'assemblent avec l'ordinateur, l'un pour télécharger des données et l'autre pour l'envoi, on résulte le débit montant et descendant en kbps par ces derniers. On donne un exemple du DT pour le débit descendant dans la figure II.8.

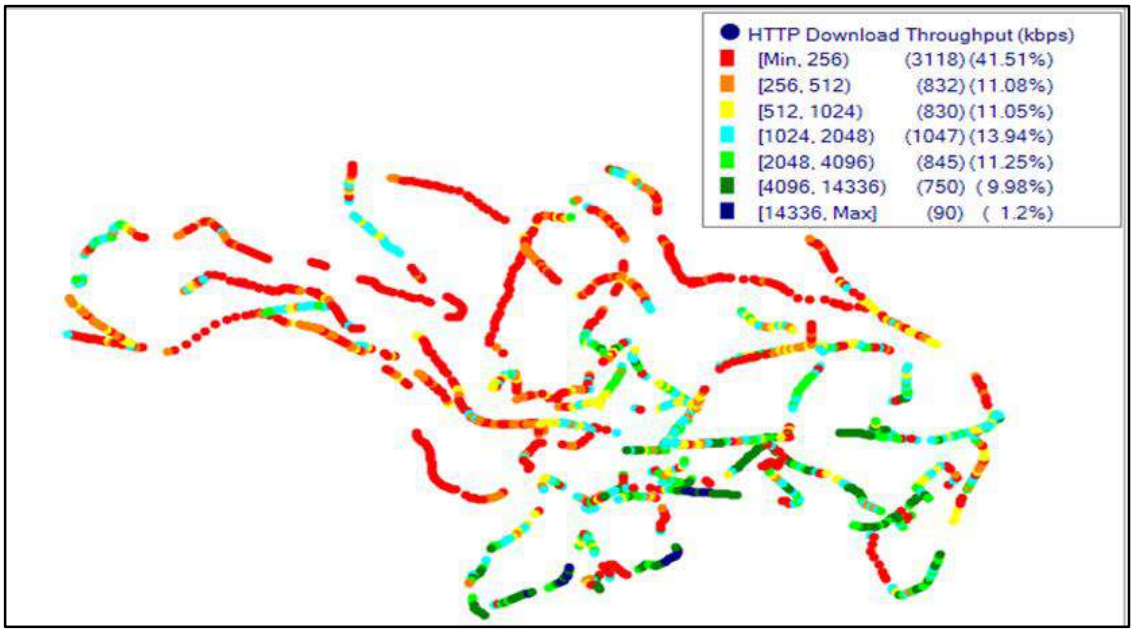


Figure II. 8: Mesure de débit par le DT.

La tache précédente donne les mesures de débit du téléchargement dans le même DT et montre les aires incluent un mauvais débit due aux médiocres conditions radio aussi aux sites de cluster qui n'affectent pas toutes les ressources aux utilisateurs, l'une des solutions est d'activer les codes d'allocation dynamiques pour améliorer l'expérience utilisateur.

II.2.3 les réclamations des clients

La RC est un paramètre très important dans l'optimisation car elle guide l'ingénieur à trouver et localiser bien le problème survenu, il doit collecter un maximum de données d'après le client selon les évènements posés (la nature du problème et la période dont il se passe …etc.)

L'optimiseur doit mettre en priorité les réclamations et régler les problèmes dans une durée étroite et rapide pour assurer la satisfaction des clients et garder toujours la bonne qualité du service.

Le taux de réclamations durant une période donne une vision et juge sur la qualité du réseau, aussi elle oriente vers une optimisation modérée tant vers un bon chemin qui assure une bonne QoS aux clients. Un exemple sur le taux de RC annuel sur une tel région est dans la figure II.9.

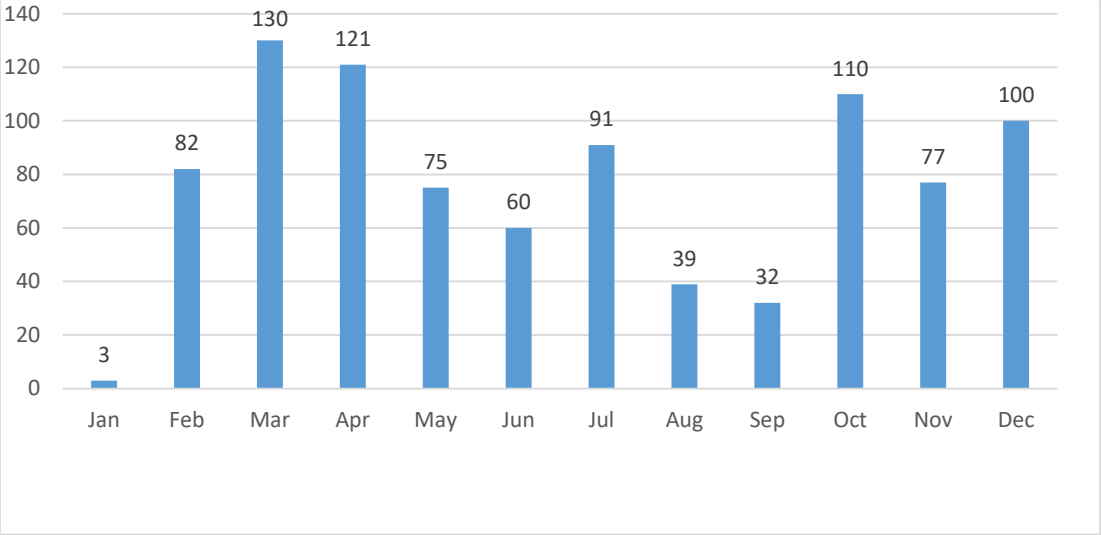


Figure II. 9: Présentation du taux annuel de réclamations clients.

II.3 L'avenir dans l'optimisation

Récemment, on a observé une augmentation considérable de la demande de services de communications mobiles haut débit et de haute qualité, des nouvelles spécifications pour les communications mobiles atteignant $100\,Mb/s$ et $1\,Gb/s$, respectivement. Ces spéciations peuvent être atteintes par les réseaux 4G, dont le déploiement est déjà en place. Cependant, la demande croissante de débits de données supérieurs à $1\,Gb/s$ pour les connexions à faible mobilité a amené le secteur des télécommunications à se renseigner sur la mise en œuvre des réseaux 5G futuristes, qui devrait atteindre $10\,Gb/s$. La prise en charge de débits supérieurs à $1\,Gb/s$ nécessite une bande passante élevée, disponible pour les fréquences porteuses plus élevées. En revanche, la bande passante disponible est limitée et les hautes fréquences sont très sensibles au bruit et à la pluie, il est donc plus judicieux de réduire la taille des cellules. En conséquence, le réseau de prochaine génération sera très dense, comparé au réseau existant. Pour faire face à un réseau aussi dense, il est essentiel de créer un mécanisme innovant qui contrôle la cellule de manière auto-organisée qui s'appelle **l'auto-optimisation,** elle permet au système d'ajuster périodiquement et automatiquement les paramètres clés de radiofréquence (RF) au moyen d'algorithmes intelligents pour assurer une bonne couverture et capacité, qui est l'une des tâches les plus importantes dans le contexte des réseaux auto-organisés (Self Organisation Network SON) [27,28].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur le processus général de l'optimisation radio des réseaux, afin de visualiser les problèmes et les détecter par des paramètres comme les indicateurs de performances, les drives tests et les réclamations des clients, en précisant leurs méthodes et étapes d'optimisation.

Afin d'apporter des améliorations sur ce contexte pour rendre l'optimisation plus efficace, mais quelques problèmes dépassent la capabilité d'optimisation, alors il est nécessaire d'améliorer les réseaux en investissant et produisant des techniques pour les résoudre. Nous allons étudier et travailler sur l'une de ces dernières dans le prochain chapitre, connue par *spectrum refarming*.

Chapitre III

Processus du refarming pour l'UMTS900 et son impact sur les réseaux 2G et 3G

Introduction

Avec l'évolution rapide des technologies et l'adaptation du monde à celle-ci, les services data deviennent très nécessaires et efficace. Pour cela les opérateurs mobiles insistent à assurer toujours un bon service aux besoin des clients, avec la croissance mondiale du trafic data mobile, les réseaux radio-mobiles sont naturellement appelés à évoluer afin de supporter cette montée en trafic sur les réseaux des nouvelles générations (3G, 4G), dans notre chapitre on va prendre l'exemple de la 3G suffisamment demandé dans la société qui devient de plus en plus surchargée, cette problématique posée s'inscrit sur l'une des solutions possibles, le refarming.

Cette solution promet beaucoup dans ce sens avec des meilleures performances techniques et une couverture dominante et préférable. Dans la plupart des pays, la bande 900 MHz est utilisée pour le GSM, prise en considération comme une bande assez libre. Par conséquent, il est possible d'utiliser cette même bande pour l'usage de la 3G.

Ce chapitre est rappelé le contexte général de réutilisation de fréquences en Algérie, dans lequel s'inscrit la question de l'introduction du refarming dans la bande 900 MHz. Ensuite est présentée dans une deuxième partie la procédure, le déploiement d'UMTS900 et l'impact du refarming dans les réseaux GSM/UMTS.

III.1 L'étude théorique de refarming

III.1.1 Définition du refarming

C'est le terme utilisé pour le processus régissant la réutilisation des bandes de fréquences historiquement alloués aux services mobiles 2G (utilisant la technologie GSM) pour les nouvelles générations de technologies mobiles, y compris les systèmes de troisième génération (utilisant la technologie UMTS) et de quatrième génération (utilisant la technologie le LTE) [29].

Il consiste à libérer une portion de spectre de la bande GSM sans affecter le réseau pour l'usage d'autres standards, comme l'UMTS dans notre cas.

III.1.2 Pour quoi le refarming U900

La demande de services à large bande mobile, services data augmente sans cesse, alors il préférable de renforcer le réseau UMTS sur la bande de fréquence 900 MHz pour beaucoup des bonnes raisons notamment :

- La meilleure couverture : selon les caractéristiques de propagation des ondes radio, les signaux radio sont transmis plus loin à une fréquence porteuse plus

basse et permettent à un site de couvrir une zone plus étendue. Cela fait de l'UMTS900 une excellente solution de couverture large, couverture des zones rurales par le service 3G avec une meilleure performance on prend un exemple de comparaison par la longueur d'onde λ.

$$\lambda = c/f = 3 * 10^8/2100 = 142857.1428\ [m] \quad \text{(III. 1)}$$

$$\lambda = c/f = 3 * 10^8/900 = 333333.3333\ [m] \quad \text{(III. 2)}$$

- Une capacité renforcée : la bande 900 est une bande à spectre large qui a le potentiel pour supporter un service UMTS de très hautes performances. Cette capacité supplémentaire peut être particulièrement utile dans les zones urbaines denses alors la qualité de service est améliorée et une meilleure expérience utilisateur est activée

- Bénéfice en faible coût : l'indisponibilité des fréquences et l'adaptation des nouveaux sites est coûteuse, d'autre part le réseau GSM est déjà installée alors il suffit de trouver des solutions physique et technique sur les sites du GSM.

- Excellentes performances : la pénétration par haute fréquences dans les zones urbaines est meilleure que les basses fréquences, mais ça demande beaucoup d'énergie, alors avec une même énergie offerte aux sites d'UMTS et GSM, les signaux de porteuses de basses fréquences notamment l'U900 subissent moins de pertes lorsqu'ils pénètrent dans les murs avec meilleur couverture intérieure.

III.1.3 Processus et concept de la technique (refarming U900)

III.1.3.1 L'étude spectrale

- **La bande de fréquence allouer à l'UMTS selon les normes mondiales**

L'interface aérienne permet la communication sans fil entre un appareil utilisateur (téléphone mobile) et une station de base. La méthode de transmission utilisée pour l'UMTS est totalement nouvelle et différente de celle utilisée pour le GSM. Il s'agit du WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), qui permet à tous les utilisateurs d'un réseau de communiquer sur la même fréquence. Les canaux sont séparés au moyen d'un code attribué à chaque utilisateur lors de l'établissement de la liaison. Le procédé est représenté schématiquement dans l'illustration suivante (figure III.1) :

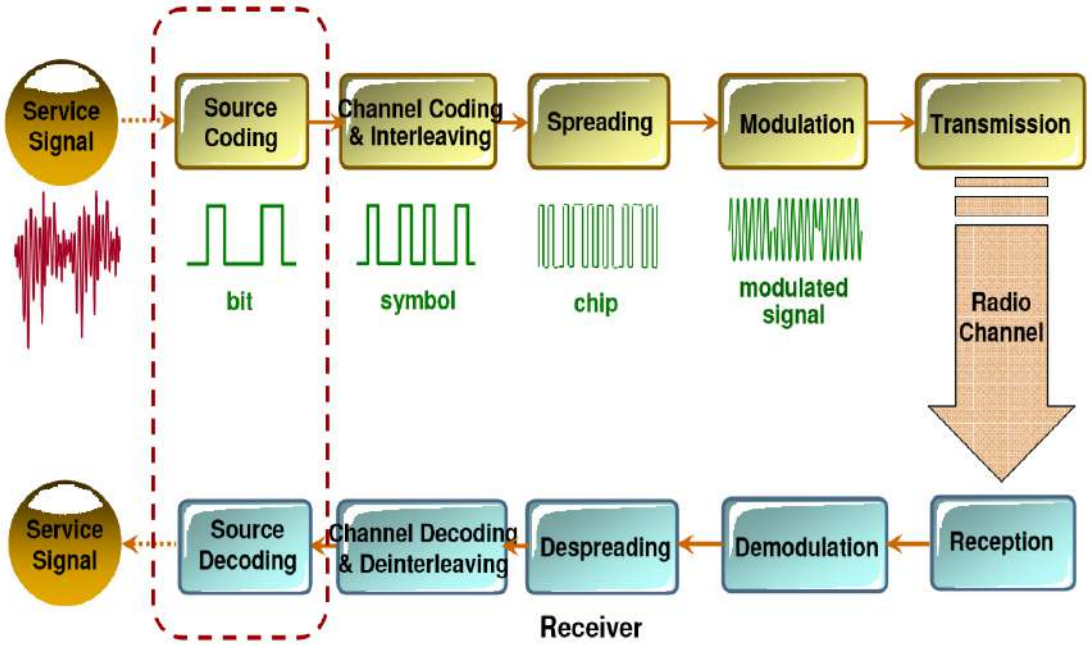


Figure III.1:Procédure de génération et traitement de porteuse en WCDMA.

Cette transmission aérienne se base sur la génération d'une fréquence porteuse, elle débute par la convention du signal source de l'analogique vers le numérique, ce signal se code en bit (les données après le codage de source), ce dernier peut augmenter l'efficacité de la transmission, pendant la transmission, il y a de nombreuses interférences et évanouissements. Pour la garantir d'une façon fiable, le système doit surmonter cette influence par le biais du codage de canal, qui comprend le codage en bloc, le codage de canal et l'entrelacement.

Le contrôle de redondance cyclique (CRC) est une méthode courante de codage en bloc, il ajoute des bits redondants au bloc de bits et le décodeur les utilise pour déterminer si une erreur s'est produite lors de la transmission, L'ajout des bits CRC est effectué avant le codage du canal et ils sont vérifiés après le décodage du canal.

Ensuite, le codage de canal qui se fait en deux modes au niveau l'UTRAN, par les codes de convolution qui sont utilisées pour éviter les interférences et les turbo codes (figure III.2), l'idée est d'ajouter une redondance au flux de bits transmis, afin que des erreurs de bits occasionnelles puissent être corrigées dans l'entité réceptrice.

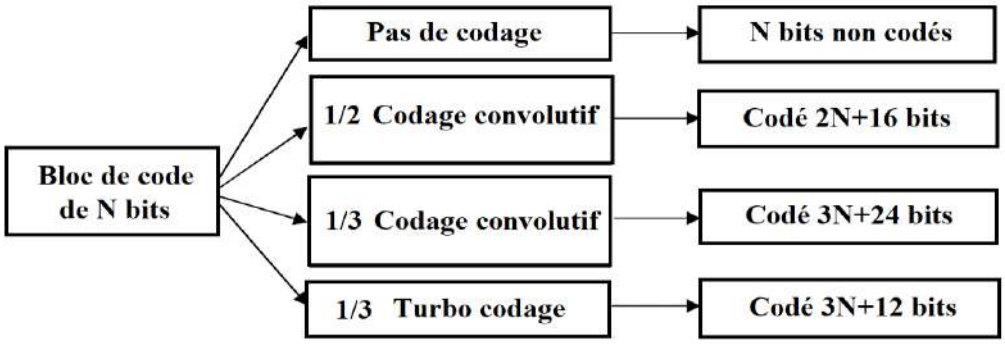


Figure III.2: Codes attribués au codage des canaux.

Ce codage est pour améliorer la corrélation entre les symboles afin de récupérer le signal en cas d'interférence ainsi qu'il fournit une meilleure correction d'erreur au récepteur, mais augmente le retard. Durant le codage de canal, il faut un entrelacement pour obtenir les symboles (données après codage et entrelacement de canaux) au but de réduire la probabilité d'erreur de bits consécutifs, la figure III.3 explique ce principe.

Les périodes d'entrelacement les plus longues offrent une meilleure protection des données.

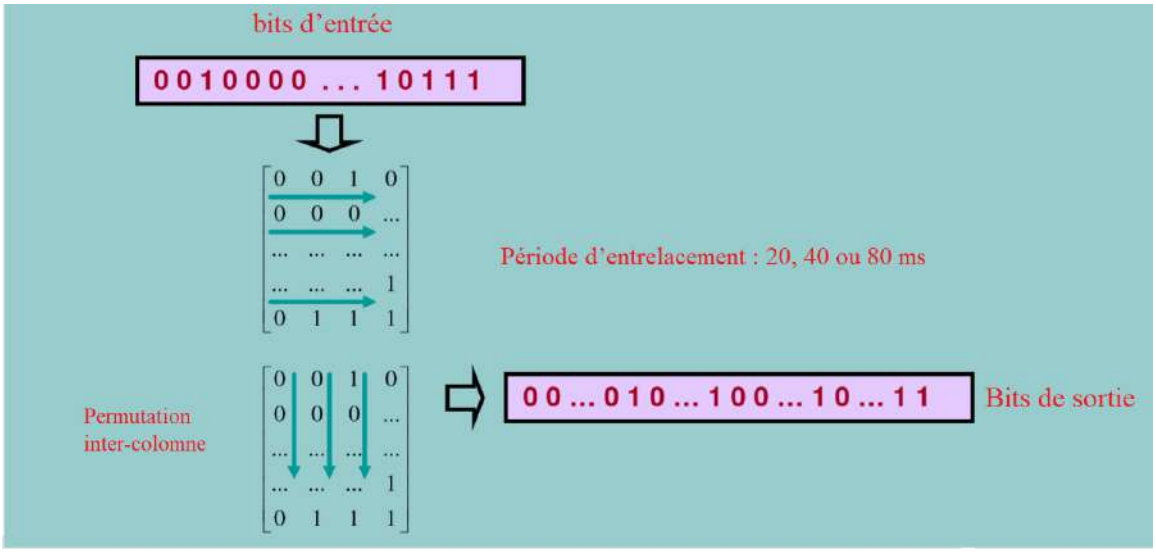


Figure III.3: Principe d'entrelacement des bits.

Maintenant c'est l'étape d'étalement du spectre connue par l'étalement du spectre (SS), avant ça la porteuse est sous forme d'un signal a bande étroite, l'étalement consiste à multiplier ce dernier avec le facteur d'étalement (SF) qui est bien défini, pour avoir le signal à large bande de 3.84 MHz de bande utile, avec les bandes de garde requises de 580 KHz, la bande passante totale est de 5 MHz (figure III.5), ce mécanisme d'étalement confirmé par la coopération entre organismes de standardisation en télécommunications 3GPP (Third Generation Partnership Project), cette porteuse à large bande est additionnée avec d'autre signaux, notamment le signal bruit, la figure III.4 résume ce principe d'étalement.

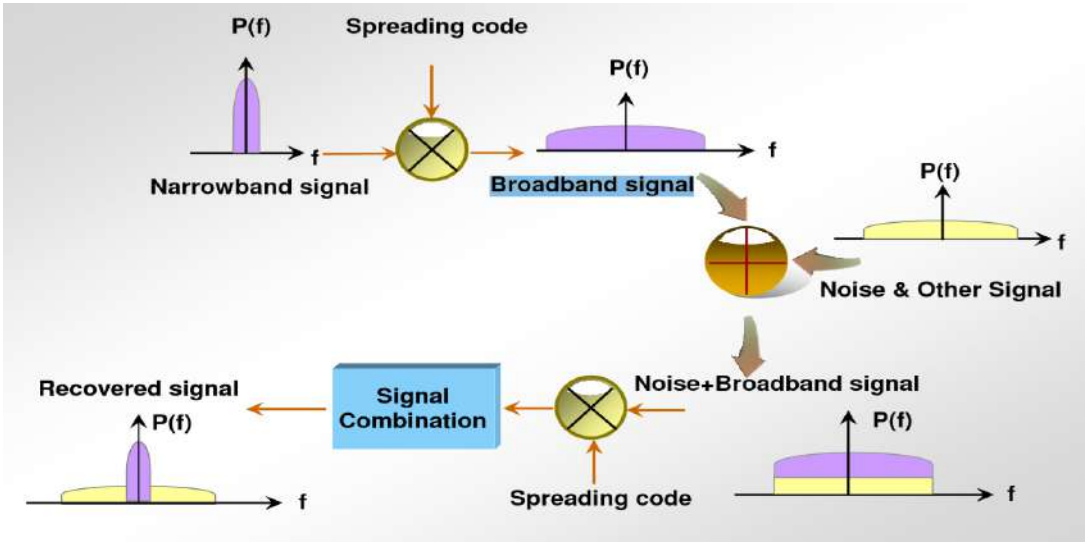


Figure III.4: L'étalement du spectre en UMTS.

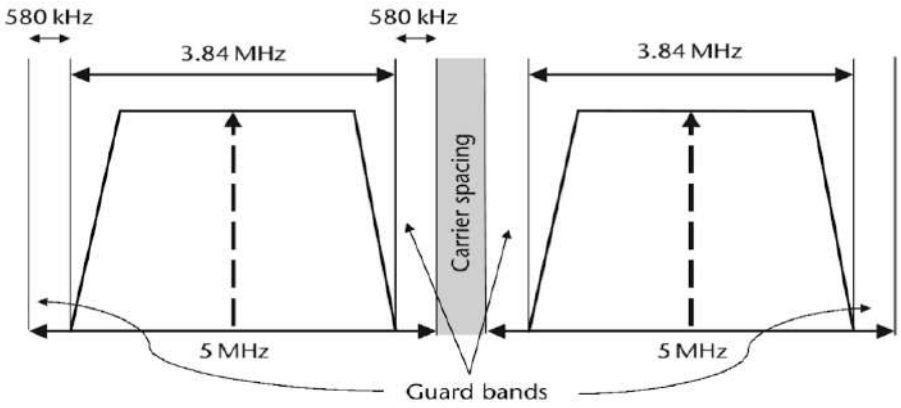


Figure III.5: Bande passante et bande de garde pour la porteuse d'UMTS.

L'opération d'étalement est importante dans la canalisation, elle est effectuée par un nombre de différents SF au but d'éviter les interférences et assurer la transmission de l'information utile, parallèlement une autre opération se fait, c'est l'opération d'embrouillage (Scrambling).

Voici un tableau qui détermine les rôles pour l'étalement et l'embrouillage :

Tableau III.1: La différence entre l'étalement et l'embrouillage.

	Embrouillage	Etalement
Up Link	Différentier les terminaux mobiles.	Différentier les canaux (canalisation).
Down Link	Différentier les cellules.	Différentier les canaux (canalisation).

L'embrouillage est utilisé au-dessus de l'étalement, il ne modifie donc pas la largeur de bande du signal, mais permet uniquement de séparer les signaux de différentes sources (séparer les terminaux ou les stations de base les uns des autres).

Cette opération est réalisée par des codes d'embrouillage, il existe 2^{24} codes de brouillage de liaison montante qui sont utilisés pour le brouillage des signaux, ils sont attribués par RNC. Pour la liaison descendante, 512 codes de brouillage primaires sont utilisés.

Cependant le signal est prêt pour être modulé et transmis, pour la réception ces opérations et mécanismes s'effectueront d'une manière inverse [29].

III.1.3.1.1 Le passage de 5 MHz vers 4.6 et 4.2 MHz

On a cité avant que la bande d'UMTS est de 3.84 MHz plus deux bandes de gardes de 580 KHz non manipulable dans les bandes dédiées pour l'usage UMTS, par contre quand un operateur opère cette bande dans des autres bandes comme la bande GSM dans ce cas, il devient possible de maitriser la bande UMTS900 d'une façon libre, car il n'y a pas des interférences intérieurs (UMTS/UMTS). L'opération consiste à gagner plus de fréquences pour l'usage GSM par diminuant les bandes de garde d'UMTS900, cette dernière rendre la bande totale d'UMTS900 de l'ordre de 4.2 ou 4.6 MHz.

III.1.3.2 Refarming solution (type d'allocation de fréquences)

Les fréquences sont des aspects très précieux est importants chez les opérateurs, chaque dernier est autorisé par d'utiliser des bandes bien précises et limitées donc il faut les manipuler d'une façon économique et efficace pour ne pas les gâcher, dans le cas de ce refarming on a deux méthodes d'allocation pour déployer les fréquences de l'UMTS900 dans la bande GSM900, ces méthodes sont Sandwich et Edge.

- ***La méthode Sandwich***

Dans la bande de fréquence d'une porteuse donnée, la fréquence UMTS est placée au centre, avec la bande de fréquence GSM sur ses deux côtés (figure III.6). L'écart de fréquence

entre le centre d'UMTS et le GSM des deux côtés est égal et peut être configuré en fonction des besoins en espace du produit.

Si $f1$ et $f2$ sont égaux et que les deux sont inférieurs à 2,6 MHz, les bandes de fréquences situées de part et d'autre de l'UMTS peuvent interférer avec le système GSM. Dans l'attribution de type sandwich, les spectres de porteuses UMTS peuvent être placés n'importe où dans le spectre des opérateurs (pas nécessairement le centre du spectre). Ce placement devrait être déterminé en fonction des stratégies de chaque opérateur. Par exemple, une entreprise de télécommunication peut souhaiter diviser ultérieurement certains spectres pour obtenir 2 bandes UMTS, ce qui peut réduire les ajustements de fréquence UMTS ultérieurs.

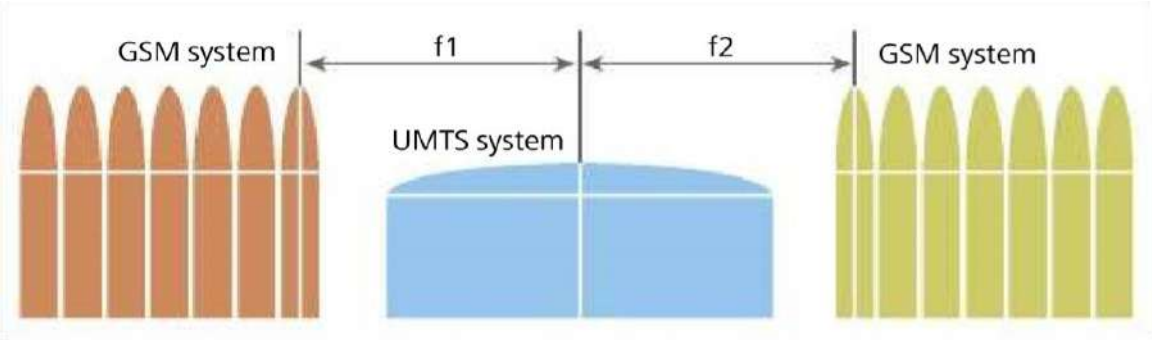


Figure III.6: Allocation du bande d'U900 par le type Sandwich.

- ***La méthode Edge***

Pour une porteuse donnée, la bande de fréquence UMTS900 est placée sur l'une des extrémités de cette bande GSM900 (figure III.7). L'écart de fréquence (f1) entre le bord de la bande GSM et le centre de la bande UMTS peut être configuré en fonction des besoins en espace du produit. Pour f2, l'écart de fréquence avec la bande de toute autre entreprise de télécommunications ne doit pas être supérieur à 2,5 MHz. S'il est supérieur à 2,6 MHz, le réseau GSM de l'autre opérateur, compte tenu de ses performances RF inconnues et peut interférer avec le réseau UMTS.

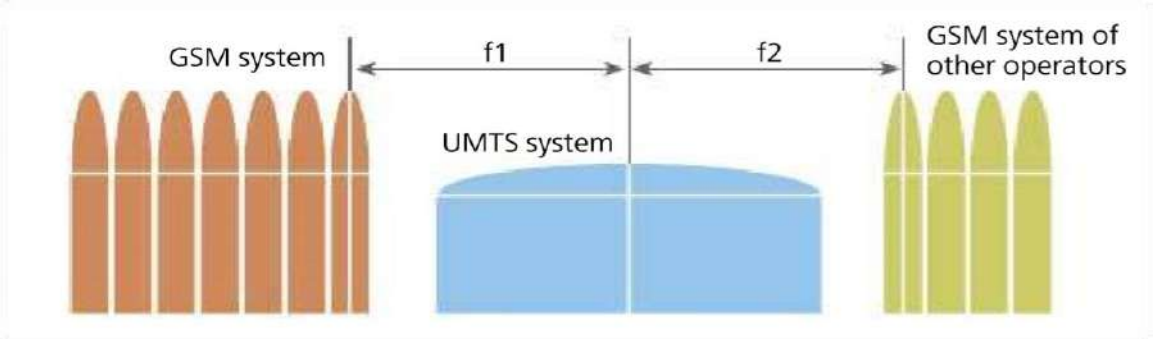


Figure III.7: Allocation du bande d'U900 par le type Edge.

III.1.3.3 Gestion du trafic

On sait que GSM opère dans la bande des 900 MHz dans l'Algérie, où 2 fois 25 MHz de bande ont été alloués. Les deux parties correspondent au sens montant et au sens descendant de la liaison (uplink et downlink), la largeur des canaux étant de 200 kHz, on obtient 124 canaux. Les 124 canaux sont partagés sur les opérateurs existants, alors qu'ils doivent déployer et réutiliser ses canaux selon le concept cellulaire.

D'après ça, on prévient que la BTS procède des fréquences, ces porteuses transportent l'information à travers le principe de TDMA par des trames de huit intervalles de temps (Time Slots), 1 $TS = 0.5769\ ms$, ils sont délivrés par des TRX (Transmitter Receiver Unit) c'est un émetteur récepteur qui gère une paire de fréquences porteuses (une en voie montante, une en voie descendante). On peut alors multiplexer jusqu'à huit communications GSM simultanées sur un TRX, théoriquement un BTS a une capacité de supporter 12 TRX (figure III.8).

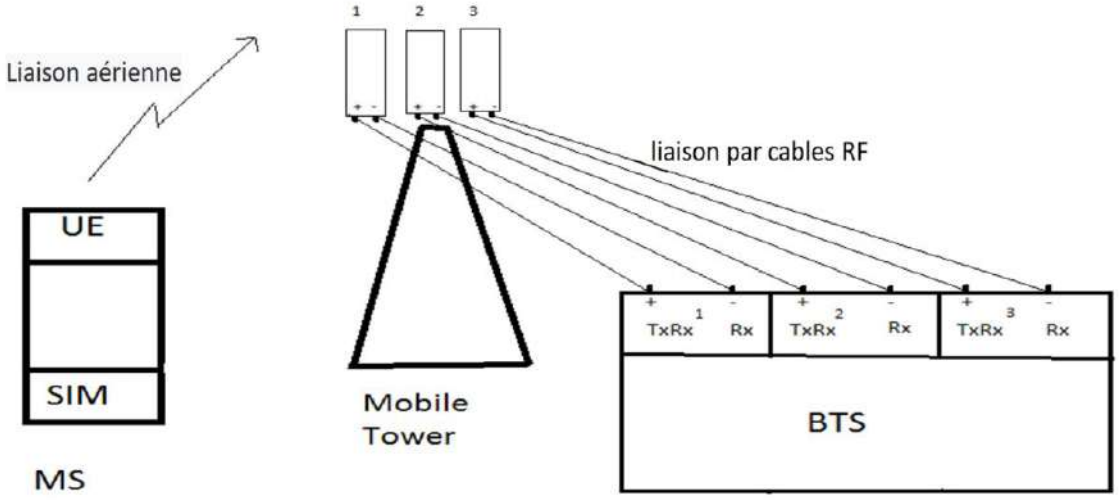


Figure III.8: Représentation du transfert du trafic entre UE et BTS.

III.1.3.4 La migration du trafic

Avant de déployer la bande U900 il faut lui libérer un spectre de 5 MHz alors qu'il va rester presque 3 MHz pour la bande G900 (concernant les opérateurs en Algérie), et ces insuffisante pour gérer le trafic du GSM. Alors qu'il faut migrer une partie du trafic du GSM900 vers les bandes 1800 et 2100 MHz suivant des différentes techniques de migration selon la nature du cas.

Après que la partie voulue sera migrer, une autre étape connue par (TRX downgrade) se suit, elle consiste à rétrograder et éliminer un nombre de TRX du GSM pour pouvoir déployer U900 par l'emplacement de ses équipements.

III.1.3.5 Replanification des fréquences GSM900

Après le Refarming et le déploiement de la U900, la bande GSM900 se rétrécit, alors que peu de porteuses serons disponibles pour le GSM, pour ce fait il faut une replanification de ses fréquences en tenant à éviter les phénomènes d'interférence, ce processus est effectué par un logiciel.

III.1.3.6 Solution physique et technique

Après l'allocation des fréquences UMTS900 il faut des solutions de propagation, dans le scénario Refarming, le système UMTS est construit sur le système GSM existant, ce qui peut réduire le coût de construction du réseau, on distingue deux types d'antennes pour réaliser cette technique :

- Deux antennes séparées chaque antenne dédiée pour une technologie (GSM/UMTS) (figure III.9), ils peuvent être installer sur un ou deux pilons sans les combiner, cette solution est défavorisée car elle est couteuse, de nouveaux matériels doit être utilisés avec beaucoup de câblage, ça provoque la surcharge sur le pilon, avec la probabilité du décalage de couverture GSM ainsi que l'interférence entre les deux antennes.

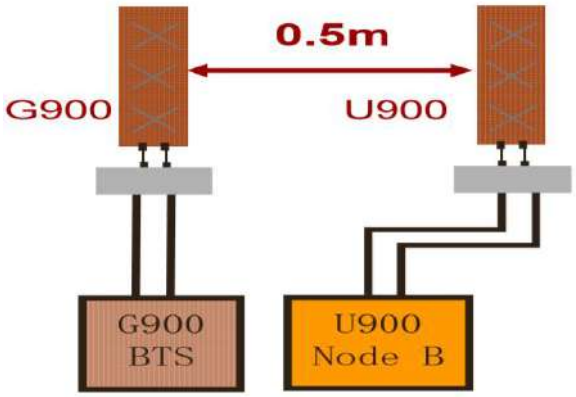


Figure III.9: Solution de propagation par antennes séparées.

- Co-antenne : soit une seule antenne supporte les deux technologies (GSM/UMTS) en mode superposition, la combinaison entre le BTS et le NodeB se fait par deux solutions, par le combinateur traditionnel mais il nécessite des nouveaux sites pour conserver la couverture GSM existante et réduit la couverture, aussi les systèmes 3G et 2G ne peuvent pas régler indépendamment l'angle du tilt et l'azimut avec une augmentation du perte pour le DL jusqu'à 3dB, parallèlement ils peuvent être combinés par la solution SASU (Same Antenna Sharing Unit) qui est la meilleure avec un négligeable impact sur le GSM et faibles pertes pour le UL et DL ainsi que la couverture s'améliore sans perte avec un faible coût total de possession qui rend la couverture rurale abordable, car la structure de coûts est bien optimisée, les deux solutions sont représentées sur la figure III.10.



Figure III.10: Solution de propagation par une seule antenne.

III.2 L'application et l'impact de processus refarming sur le réseau ATM Mobilis

Pour bien comprendre la technique de *refarming*, nous avons renforcé nos connaissances avec une étude pratique, effectuée par un stage chez la société d'ATM Mobilis d'Alger, au niveau du service NPOC (Network Performance Optimization center).

Avant de commencer on schématise le plan du travail du déploiement d'UMTS900 suivi par la société :

- L'allocation des fréquences d'UMTS900.
- La capacité et la migration du trafic de la GSM et replanification de ses fréquences.
- Dimensionnement et planification d'UMTS900.
- Dimensionnement et planification d'UMTS900.
- Gestion de la mobilité.

III.2.1 L'allocation des fréquences d'UMTS900

Le spectre de GSM en Algérie est devisé entre trois opérateurs, alors que ATM Mobilis a une bande de 8 MHz pour ce standard, de l'ordre de 40 canaux de 200 KHz, de 907 à 915 MHz comme est défini dans la figure III.11.

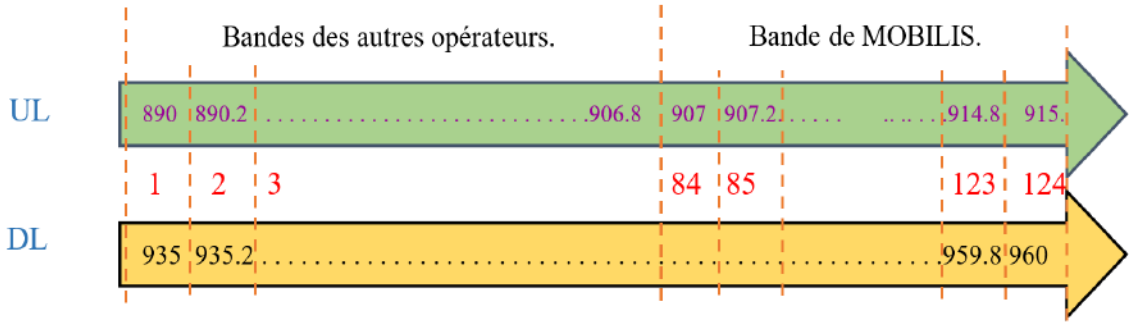


Figure III.11: Représentation de la bande GSM dédiée à Mobilis.

Comme l'opérateur peut manipuler d'une façon libre dans sa propre bande, ATM Mobilis a choisie de déployer l'UMTS900 par une bande de 4.2 MHz, en préférant la solution d'allocation Edge car son spectre fréquentiel GSM est placé sur la fin du spectre global (figure III.12).

L'utilité de la solution Edge pour le cas de cette société est de mettre une seule bande de garde et gagner la deuxième étant qu'une fréquence pour le GSM.

Cette allocation a prêté 22 canal pour le déploiement d'UMTS afin de garder 18 canal pour GSM. On a choisi une wilaya pour étudier la technique Refarming.

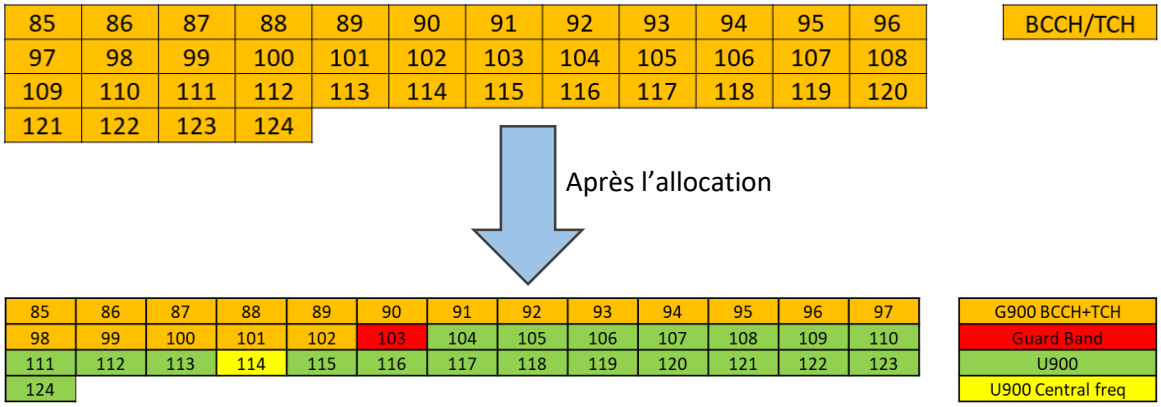


Figure III.12: Allocation de la bande U900 par ATM Mobilis.

III.2.2 La migration du trafic 2G

Le trafic de GSM900 a été migré vers les bandes GSM1800 et UMTS2100, selon des mécanismes pour permettre aux équipements mobiles de favoriser le camping sur les cellules G1800 et U2100 (figure III.13), au but de libérer une bande de 4.2 MHz de G900 pour l'usage UMTS.

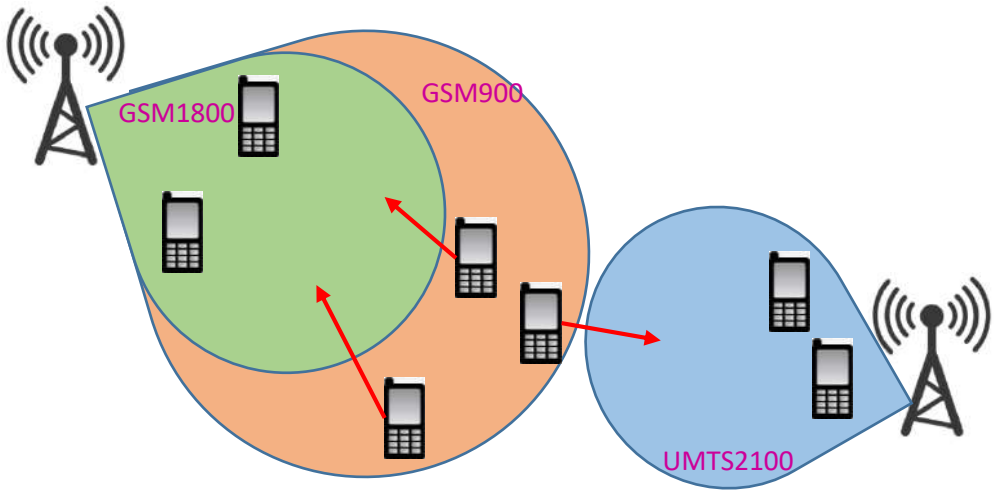


Figure III.13: Méthode de migration du trafic.

III.2.2.1 Techniques de migration

La bande GSM1800 est disponible et couverte en permanence et elle est riche en fréquences, tant qu'elle est déployée en même antenne avec GSM900 on peut migrer le trafic de cette dernière vers G1800.

La solution utilisée par ATM Mobilis pour cette migration est de forcer les équipements mobiles de camper sur les cellules G1800 par les critères de sélection et resélection des cellules,

concernant les équipements mobiles en mode veille, ces derniers sont calculés à l'aide des informations reçues lors du calage de la cellule,

$$C1 = RXLEV - RXLEV_ACCESS_MIN \quad \text{(III. 1)}$$

$$C2 = C1 + CRO - H\,(TO) \quad \text{(III. 2)}$$

Les critères sont satisfaisants si C1>0 et C2>C1 pour la resélection d'où :

- RXLEV est le niveau du signal reçu.

- RXLEV_ACCESS_MIN est le niveau minimum de réception requis dans la cellule fixée sur $-105\ dBm$.

- CRO (CELL_RESELECT_OFFSET) est le seuil de resélection.

- TO (Temporary Offset) est le temps nécessaire pour faire la resélection, H(TO) n'est pas pris en considération alors égale à 0.

Alors pour mettre la resélection des cellules G1800 préférable, on a facilité la resélection des cellules G1800 par monter le seuil CRO (CELL_RESELECT_OFFSET), aussi on a gardé le CRO pour les cellules G900 égale à 0 pour ne pas resélectionner les cellules G900.

Cette configuration ne s'applique pas dans le service NPOC, alors on a demandé de l'appliquer sur le service concernée (BSS Service) par l'interface *Mobilis* de communication entre services comme le montre la figure III.14.

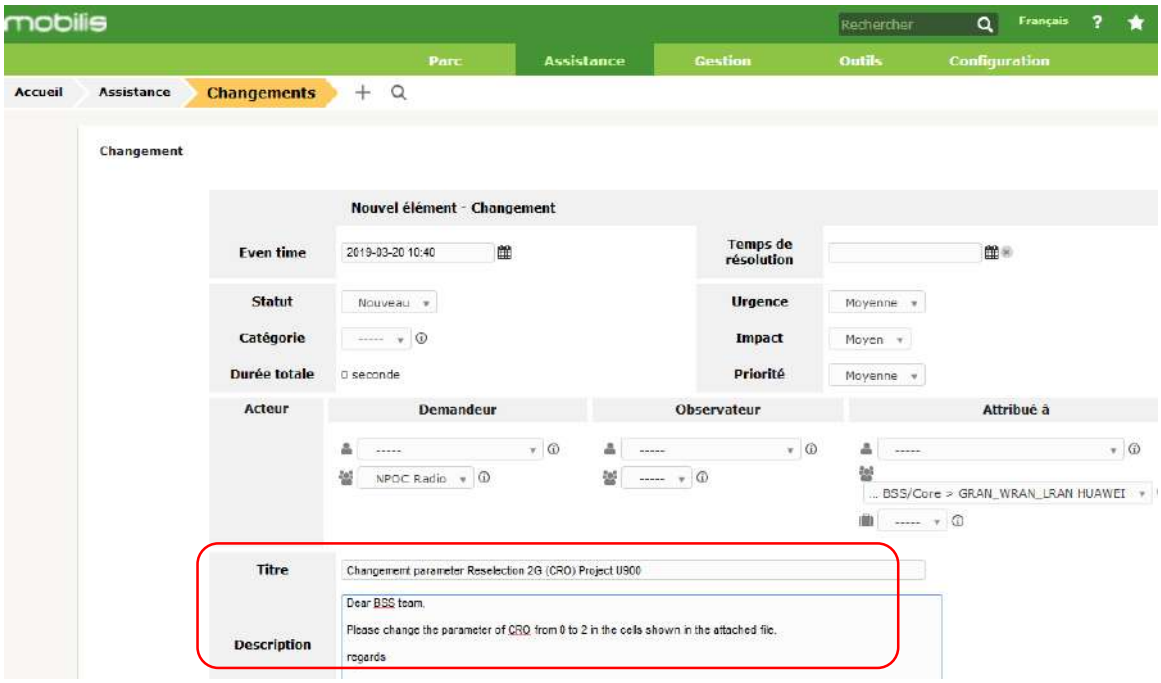


Figure III. 14: Demande pour le changement du paramètre CRO par l'interface *mobilis*.

Concernant le mode connecté on a appliqué des critères pour rendre le handover vers les cellules G1800 préférable que rester sur les cellules G900, alors on a joué sur le seuil Inter_layer_HO_Threshold du handover vers G1800, dans le cas stable le handover vers G1800 effectue quand $RXLEV_{Mesured} = -95\ dBm$ par :

$$RXLEV_{Mesured} = -110\ dBm + Inter_layer_HO_Threshold \quad \text{(III. 3)}$$

D'où, Inter_layer_HO_Threshold = 25, donc on a l'ajusté vers 23.

La migration vers UMT2100 subit le même mécanisme concernant les terminaux supportant la technologie 3G.

Ainsi qu'on a compté sur une autre procédure pour augmenter la capacité, il s'agit d'activer le mode Half Rate pour la capacité du G1800 et U2100, le principe de ce mode est de transmettre la parole ou données à demi-débit (6,5 Kbits/s), ou le canal est partagé entre deux utilisateurs ça peut doubler la capacité des cellules G1800.

L'activation de ce mode est configurée de commencer quand la capacité de G1800 et U2100 dépasse les 30 %, de ce fait la qualité de service va diminuer légèrement par contre la capacité va augmenter pour pouvoir absorber le trafic migré du G900.

III.2.2.2 L'étape de rétrogradation des TRX's

Après la migration du trafic GSM de la bande 900 MHz, une telle bande sera libérée pour être occupée par l'UMTS. Après cette libération on va l'éliminer par l'opération de rétrogradation des TRX's (TRX downgrade), elle consiste à exclure des TRX's jusqu'avoir 2 à 3 TRX par cellule, car la bande restante de 3.6 MHZ peut être gérer par un maximum de trois TRX.

Les résultats d'ATM Mobilis de rétrogradation des TRX's de la wilaya X qu'on a effectué le refarming sont représentées dans la figure III.15.

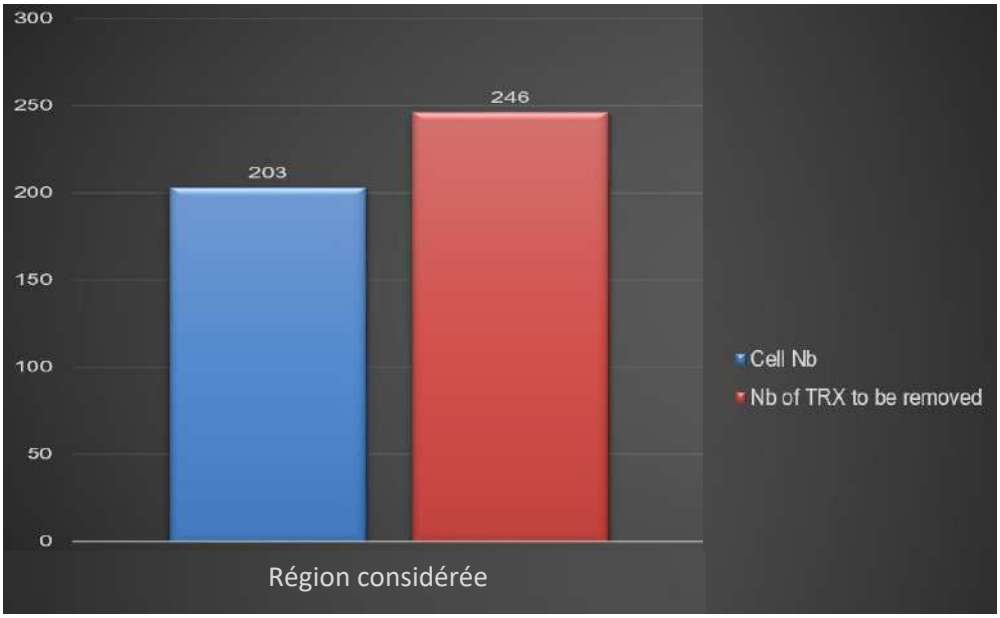


Figure III.15: Rétrogradation des TRX's opérée dans la région étudiée pendant nos expériences.

III.2.2.3 Replanification des fréquences de GSM900

Après l'effectuation des étapes précédentes, des fréquences sont éliminer et autres sont rester pour l'usage GSM, alors les BTS nécessitent une replanification avec les fréquences restantes, cette étape a été faite par des outils dans le département de planification, en diminuant la probabilité d'interférence par configurer l'outil de ne pas utiliser les mêmes fréquences dans les cellules adjacentes.

Pour éviter les phénomènes d'interférences entre les surfaces courées par G900 et U900 et d'autre par G900, la solution *Buffer Zone* peut être suivie pour ces phénomènes. Elle consiste à isoler les surfaces mentionnées entre eux par une zone *Buffer*, cette dernière se situe au bord de la zone couvée par GSM uniquement, elle est allouée par des fréquences différentes à celles de la zones G900/U900 et la zone G900 seulement comme montre la figure III.16.

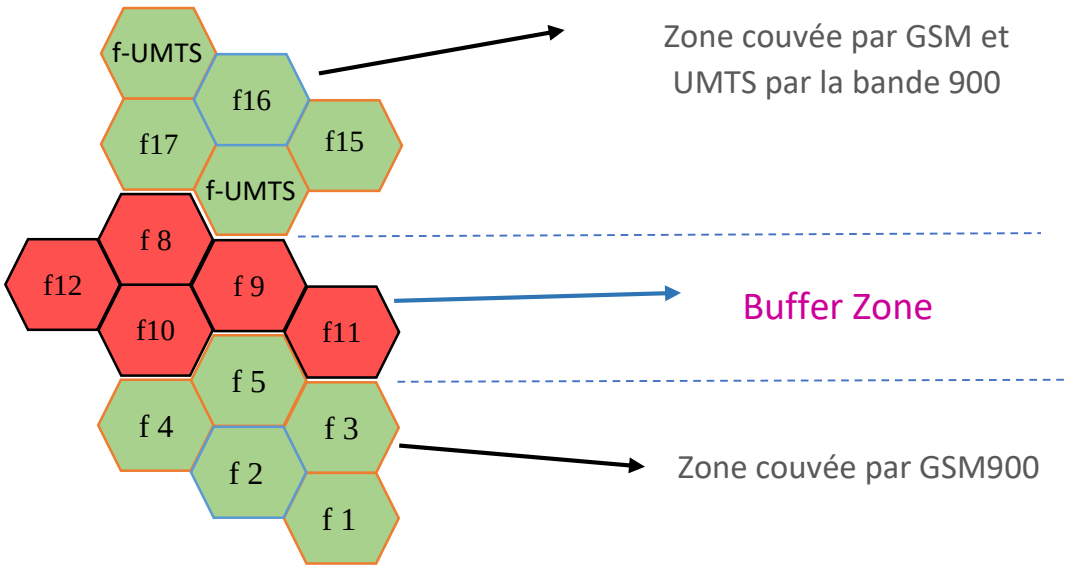


Figure III.16: La solution Buffer Zone dans la replanification des fréquences.

La solution *Buffer Zone* est en cours d'exécution chez ATM Mobilis car le projet n'est pas encore terminé.

III.2.3 Dimensionnement et planification d'UMTS900

La planification des fréquences U900 a été dimensionnée par ATM Mobilis en terme d'amélioration de la couverture 3G, son choix pour planter des cellules U900 est de résoudre les zones ayant une mauvaise couverture, avant de les couvrir par la bande U900.

La résolution de la mauvaise couverture est basée sur les mesures d'RRC (Radio Resource Control), y'a compris RRC Request et RRC Release pour chaque cellule pour localiser les zones à faible couverture, le rapport de ces mesures est défini par :

$$taux = \frac{nombre\ dacces\ avec\ success\ par\ UE}{nombre\ totale\ de\ demande\ daccess\ par\ UE} \times 100\% \qquad (III.3)$$

Les cellules couvertes par U900 sont les cellules ayant un taux de plus de 10%, elles sont montrées dans la figure III.17.

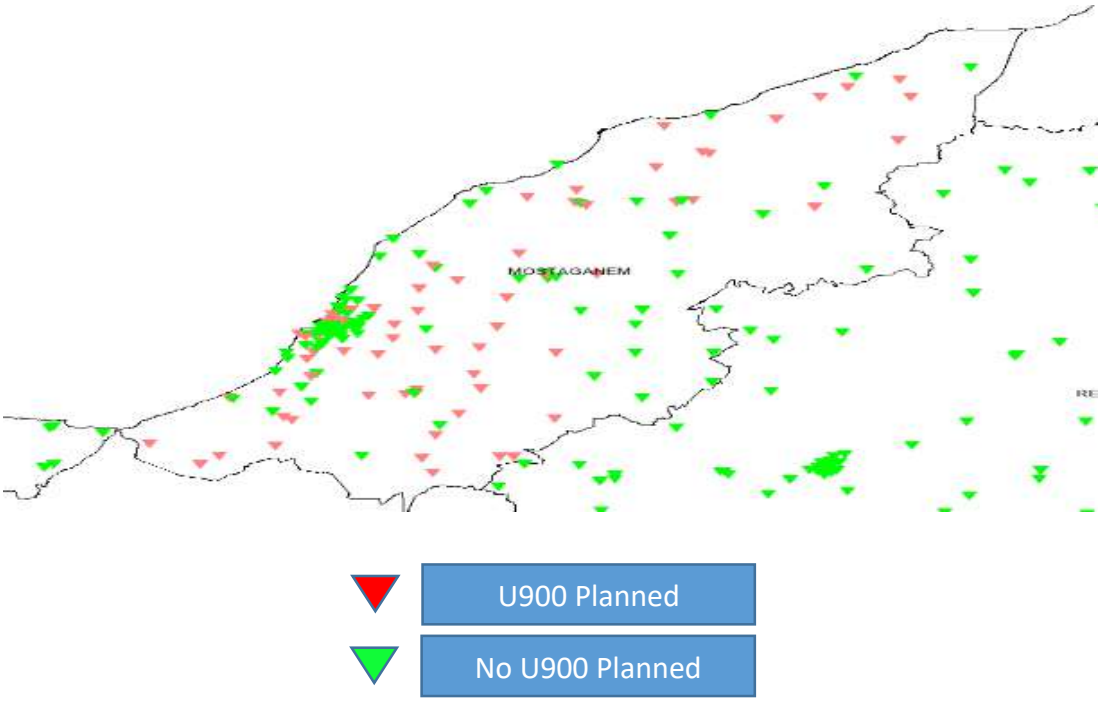


Figure III.17: Planification et plantation des fréquences d'UMTS900.

III.2.4 Solution de propagation d'UMTS900

Pour répartir la bande U900 dans les zones sélectionnées, ATM Mobilis a choisi de propager des fréquences G900 et U900 en mode mixé (Mixed Mode), tant que le réseau GSM existe.

Alors la solution est d'utiliser des co-sites, il s'agit de rajouter du hardware pour UMTS900 dans les sites du GSM (l'ajout des cartes d'UMTS dans les unités des sites GSM) (figure III.18), les hardwares du 2 technologies sont combinées et un seul câblage vers l'antenne.

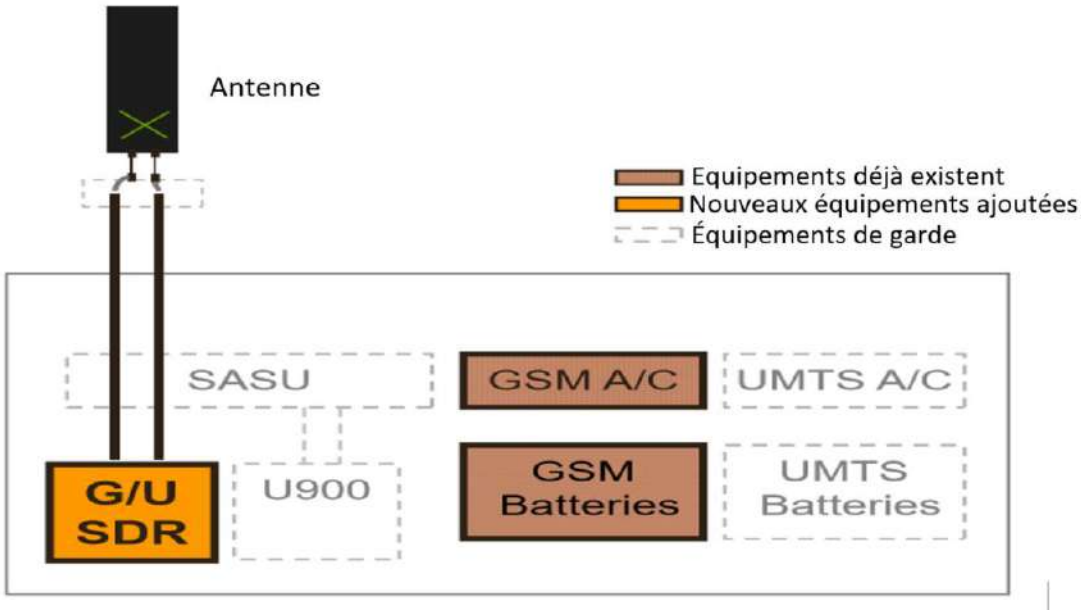


Figure III.18: Présentation de la co-antenne.

III.2.5 Gestion de la mobilité

On sait que la mobilité d'équipements mobiles entre les cellules s'effectue par les critères de sélection et resélection en mode veille, et par les types du handover en mode connecté.

Le type du handover effectué entre la bande U900 et G900 est l'Inter-RAT handover (Inter Radio access technology handover) c'est une technologie qui permet à l'équipement mobile en mode connecté utilise les services CS d'effectuer un unidirectionnel Inter-RAT handover d'UMTS vers GSM, pour les services PS (DATA), l'équipement permet d'effectuer un bidirectionnel Inter-RAT handover entre les deux bandes U900 et G900 (figure III.19), ainsi que l'Inter-RAT resélection pour assurer la continuité du service. Ces mécanismes se fait d'une manière transparente pour l'abonné (figure III.20).

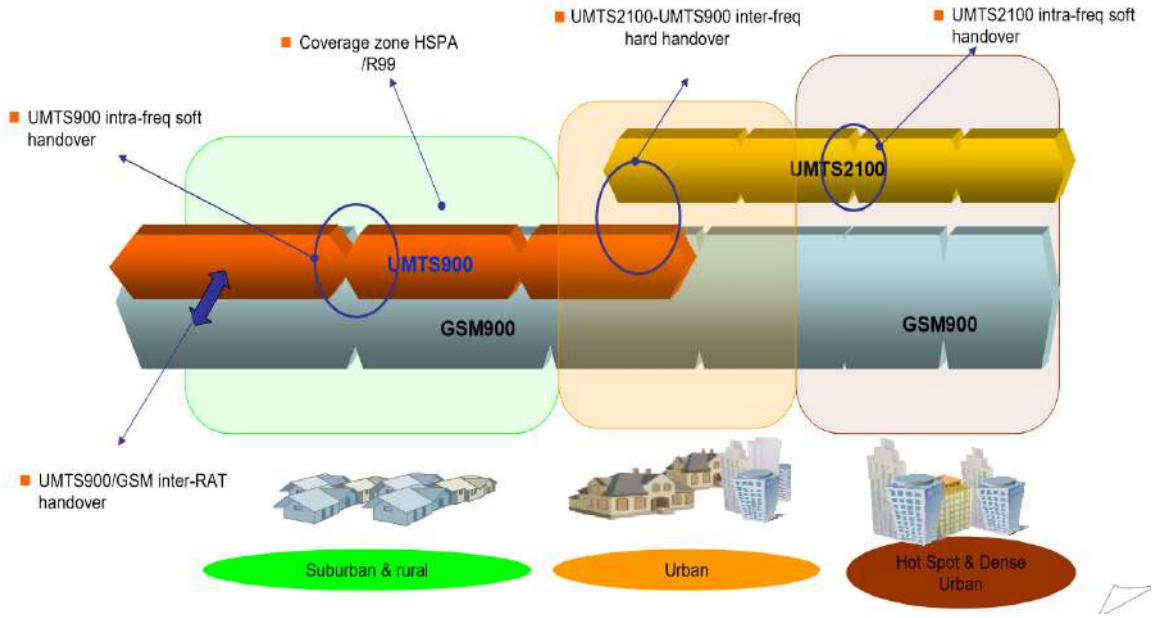


Figure III.19: Types des handover's entre les systèmes.

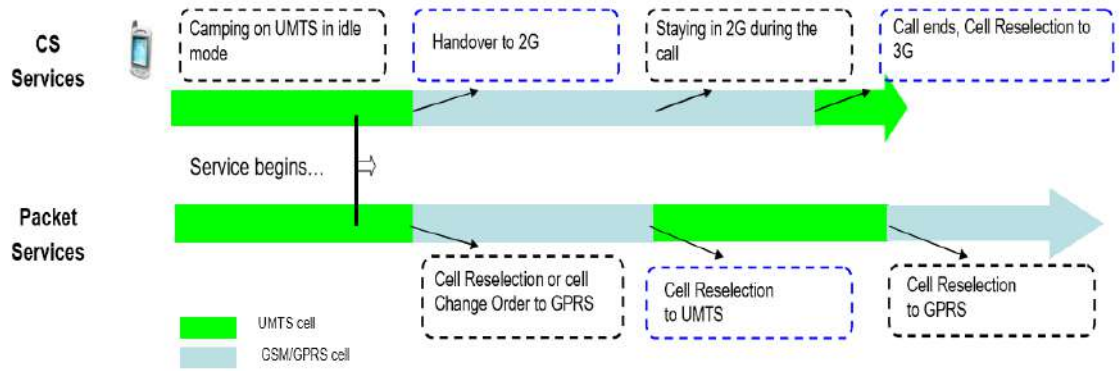


Figure III.20: Gestion de la mobilité entre les systèmes en mode veille et connectée.

III.2.6 L'impact du déploiement d'UMTS900 dans les réseaux 2G/3G

Après avoir terminé les processus de refarming, et déployer la bande UMTS900 qu'on a fait sur la wilaya X, il est important d'étudier les résultats et l'impact de ce projet. De ce fait on va conclure l'influence de cette technique en terme de : couverture, de qualité, de trafic, d'expérience d'utilisateurs.

Pour voir ces résultats, on a accédé à la plateforme de surveillance et la gestion de performance du réseau iManager PRS de Huawei.

Pour voir les rapports de mesures sur une wilaya étudiée, on a choisi l'RNC lié à cette dernière, en précisant le moment de calcul de ces derniers pour chaque jour ainsi que la période voulu (avant et après Refarming) et (figure III.21) afin d'exporter ces rapports sur un fichier Excel.

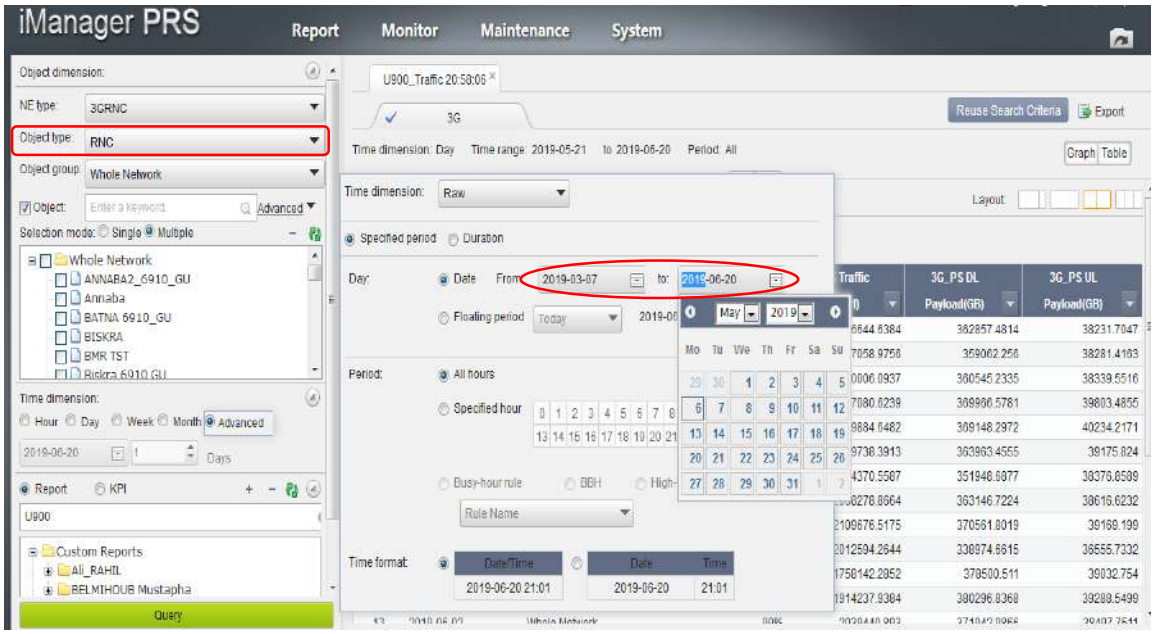


Figure III.21: L'exportation des rapports de mesures par iManager PRS.

III.2.6.1 L'impact sur la couverture

Pour étudier la couverture du réseau UMTS, on a pris les mesures du taux d'RSCP avant et après Refarming sur l'RNC de la wilaya concernée, selon les bonnes et mauvaises couvertures (figure III.22).

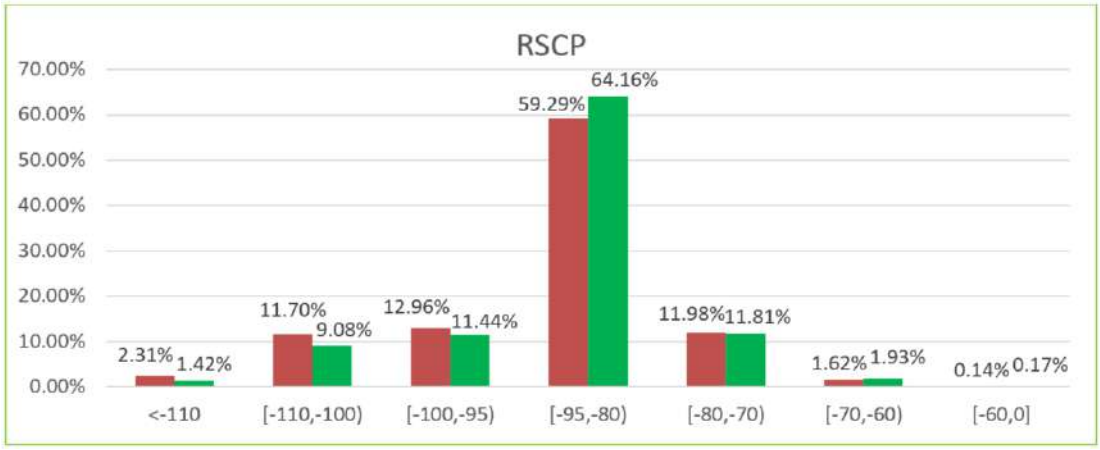


Figure III.22: Les mesures du taux RSCP avant et après Refarming.

Tableau III.2: Présentation des mesures du taux RSCP avant et après Refarming.

RSCP (dBm)	Before	After	GAP
<-110	2.31%	1.42%	-0.89%
[-110,-100)	11.70%	9.08%	-2.62%
[-100,-95)	12.96%	11.44%	-1.52%
[-95,-80)	59.29%	64.16%	4.87%
[-80,-70)	11.98%	11.81%	-0.17%
[-70,-60)	1.62%	1.93%	0.31%
[-60,0]	0.14%	0.17%	0.03%

Selon les résultats, on résout que le taux d'RSCP > -95 dBm a augmenté de 73.03% à 78.07% dans les échantillons de la bonne couverture, par un écart de 5.04%. Cela rends la couverture du réseau UMTS excellente grâce à la bande UMTS900, ce qui implique que l'UMTS900 a couvert plus de zones.

III.2.6.2 L'impact sur la qualité

Dans ce cas on prend l'exemple de la mesure de la qualité Ec/Io en dB sur l'RNC de la wilaya, montrée sur la figure III.23 avant et après la technique de Refarming, selon les bons et les mauvais échantillons de la qualité.

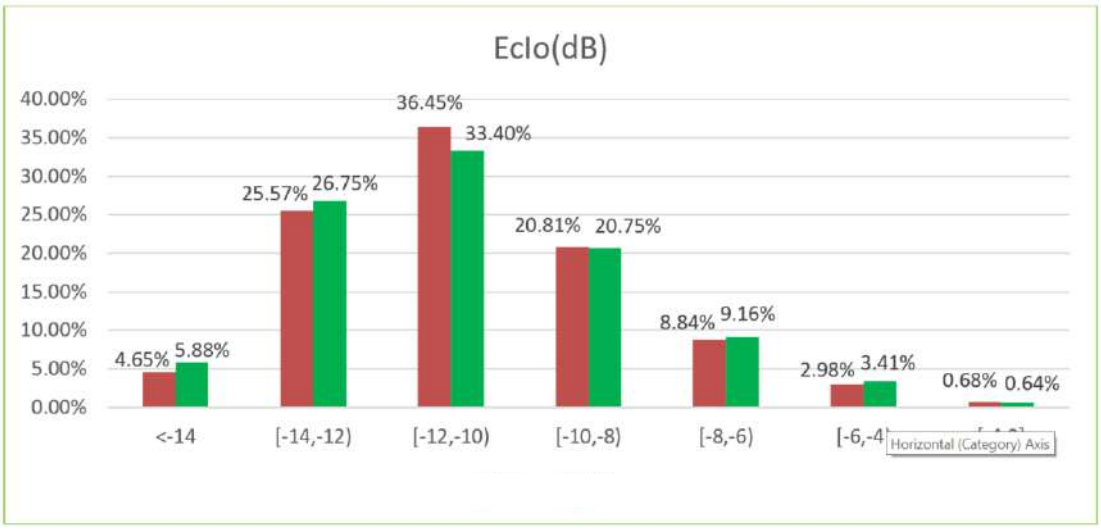


Figure III.23: Mesure de qualité en Ec/Io avant et après Refarming.

Tableau III.3: Présentation des mesures de qualité en Ec/Io avant et après Refarming.

Ec/Io(dB)	Before	After	GAP
<-14	4.65%	5.88%	1.23%
[-14,-12)	25.57%	26.75%	1.18%
[-12,-10)	36.45%	33.40%	-3.05%
[-10,-8)	20.81%	20.75%	-0.06%
[-8,-6)	8.84%	9.16%	0.32%
[-6,-4)	2.98%	3.41%	0.43%
[-4,0]	0.68%	0.64%	-0.04%

Les résultats indiquent que le taux de l'Ec/Io > -8dB est amélioré de 12.5% à 13.21%, soit l'équivalent de 0.71% pour les échantillons de bonne qualité (échantillons de -8dB à 0dB), cette amélioration est significative et c'est un bon saut de qualité.

III.2.6.3 L'impact sur le trafic

Pour voir l'impact de Refarming d'U900 sur le trafic, on a pris les mesures du trafic de la voix (CS) échangé en Erlang et DATA (PS) en GB dans la wilaya, on commence par les mesures du trafic CS pour le réseau 3G (figure III.24).

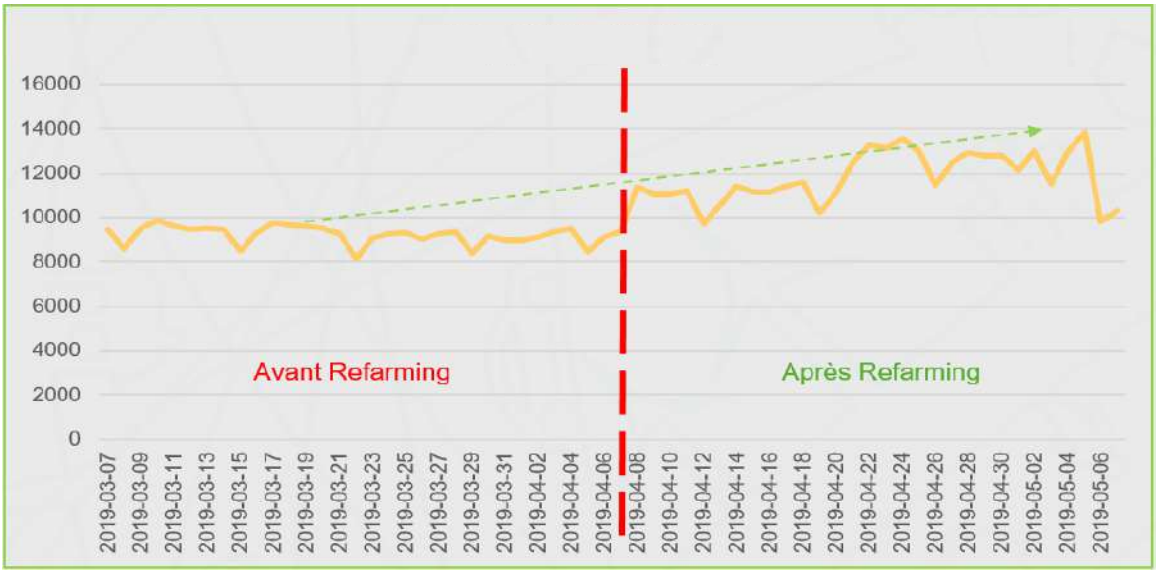


Figure III.24: Mesures du trafic CS pour la 3G avant et après Refarming.

On a trouvé que le trafic CS est augmenté par 4267 Erlang, de 9266 à 13533 Erlang, soit l'équivalent de 46.1%, c'est un pique très important pour le trafic du réseau 3G, ce signifie que la couverture 3G est améliorée et plus de zones sont touchées par elle, plus d'indoor trafic est absorbé par l'U900, ainsi que c'est un bénéfice pour l'opérateur.

En parallèle on présente les mesures du CS en Erlang échangé dans le réseau 2G dan la figure III.25.

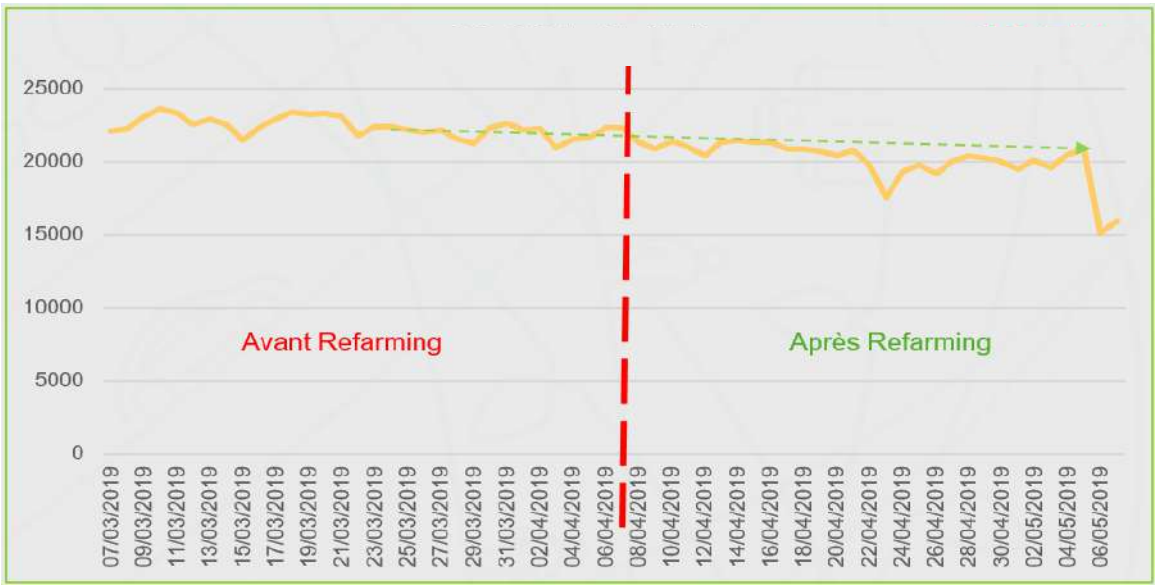


Figure III.25: Mesures du trafic CS pour la 2G avant et après Refarming.

Le trafic CS dans la 2G est légèrement diminué par 2828 Erlang, il devient 19357 Erlang après qu'il était 22185 Erlang, c'est une dégradation considérable de 12.7%. Cette dernière est causée par l'enrichissement des anciennes zones couvertes par la 2G avec un service 3G.

Alors la totalité du trafic est augmentée par 33.4%, l'équivalent de 1439 Erlang, qui y'est un bénéfice pour l'opérateur.

Maintenant on expose les résultats d'échange du trafic PS avant et après le Refarming, on débute par la 3G, les mesures du volume de trafic PS avant et après Refarming sont posés sur la figure III.26.

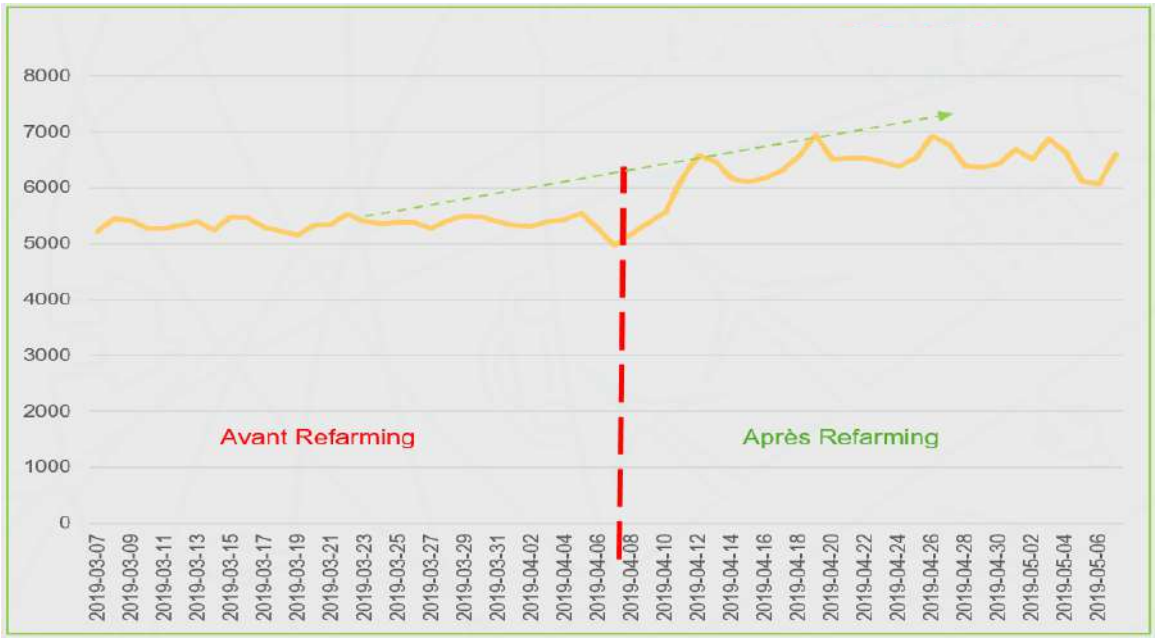


Figure III.26: Mesures du trafic PS pour la 3G avant et après Refarming.

Le volume du trafic PS dans la 3G est augmenté de 5538GB au 6945GB, par une différence de 1407GB, c'est une augmentation majeure de 25.41%, alors c'est un grand avantage pour le Refarming U900, car elle a renforcé la couverture de la 3G ainsi que leur qualité.

Concernant ce trafic PS pour la 2G, la figure III.27 affiche le changement de son volume.

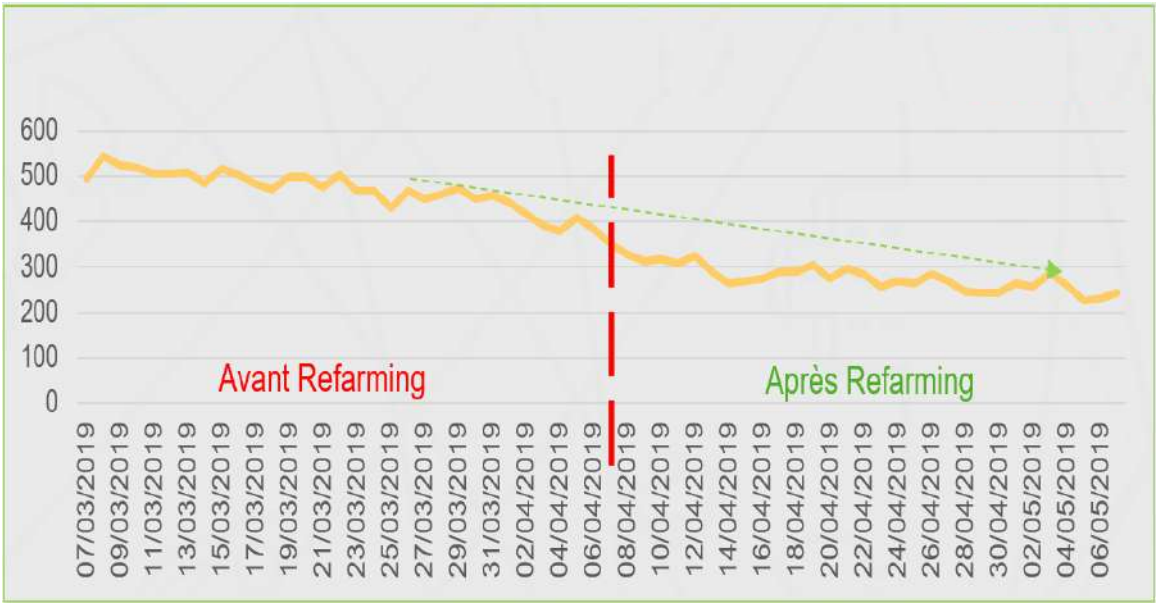


Figure III.27: Mesures du trafic PS pour la 2G avant et après Refarming.

Le volume de trafic PS du réseau 2G a diminué de 46,73% (236 GB), passant de 505 GB à 269 GB, cette diminution revient au déploiement du Refarming en même causes avec diminution du trafic CS. Ce qui donne plus avantages à un réseau 3G qu'un réseau 2G

III.2.6.4 L'impact sur l'utilisateur

Cette partie défini le comportement qui revient à l'abonné, notamment le débit de chargement et téléchargement, ainsi que la permittivité à l'utilisateur de connecter en mode HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).

La figure III.28 montre le changement au niveau du débit en kbps concernant l'UMTS mesuré par les équipements mobiles avant et après Refarming.

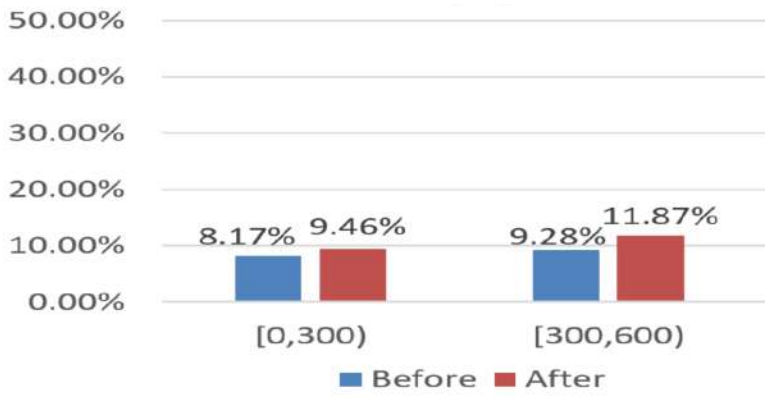


Figure III.28: Mesures du débit (Download/Upload) avant et après Refarming

Le débit mesuré est augmenté par 3.83% de 17.63% avant Refarming à 21.33% après, donc les utilisateurs UMTS recevaient un bon service par apport au service avant de déployer l'U900.

La figure III.30 définir les nombres d'utilisateurs connectant par l'HSDPA dans la wilaya concernée,

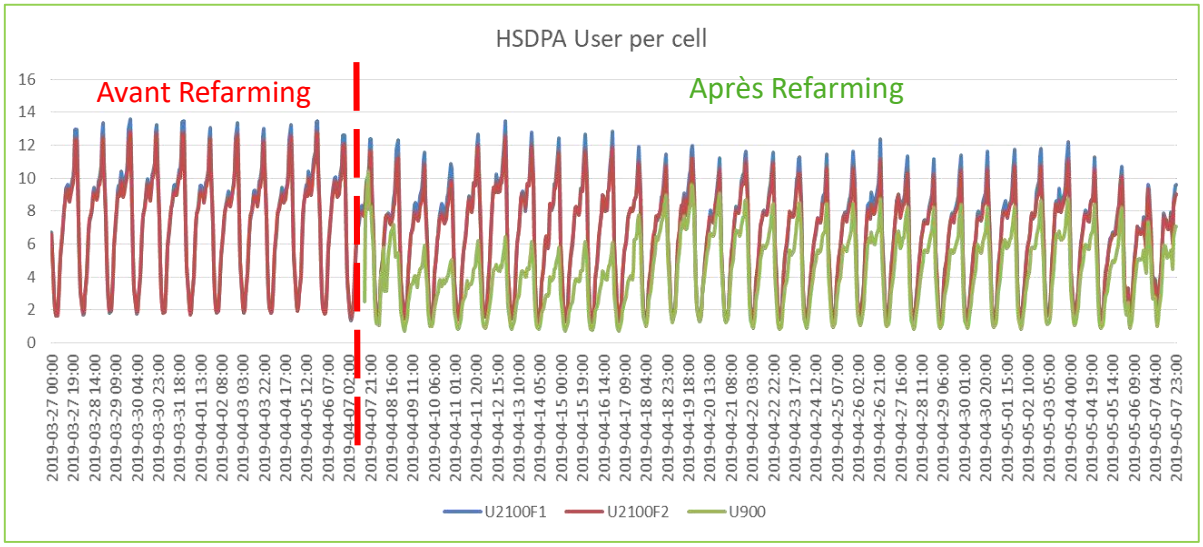


Figure III.29: Mesures des nombres d'utilisateurs d'HSDPA avant et après Refarming.

On remarque le nombre d'utilisateurs qui connectaient en HSDPA était de 24 à 25 utilisateurs par cellules avant d'effectuer Refarming, dès que ce dernier est appliqué, le nombre est augmenté par une moyenne de 8 utilisateurs par cellules. Cela revendique un très bon service à l'utilisateur mieux qu'avant, ainsi qu'il soit conforté au près du réseau 3G.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons parlé sur le déploiement d'U900 et son impact sur les réseaux 2G/3G. Dont on a expliqué d'une façon général la technique de Refarming, pourquoi nous l'avons choisi.

Théoriquement on a parlé sur les différents étapes suivis pour réaliser cette technique que pratiquement on a défini avec l'équipe d'ATM Mobilis la solution et les processus à suivre et la stratégie utiliser pour ce déploiement. Ainsi qu'on a interprété les résultats, après qu'on a appliqué cette solution sur une wilaya choisie, avant et après le Refarming en précisant son impact sur la couverture, la qualité, le trafic et l'expérience d'utilisateurs sur les réseaux 2G et 3G, et d'une façon générale l'impact sur le réseau de la société.

Après qu'on a vu les résultats précédents, ainsi que leurs influences sur les réseaux 2G et 3G, on a conclu que la solution Refarming pour le déploiement de la bande UMTS900 sur le

réseau d'ATM Mobilis est revendiqué car elle est bénéfique et rentable à moindre coût, grâce à ses résultats sur les réseaux 2G et 3G, d'où elle offre une meilleure couverture pour le réseau 3G, avec une bonne qualité de service satisfaisante aux clients, qu'ils vont apporter un gain intéressant à la société.

Conclusion générale

Ce rapport présente notre travail de projet de fin d'études, qui avait déroulé sous le thème déploiement d'UMTS900, cette solution admet la technique de Refarming que nous avons analysé et étudié, en collaboration avec la société ATM Mobilis par un stage pratique.

Avant de commencer notre étude, on a parlé sur les différentes générations du réseau cellulaire dans le premier chapitre pour introduire les informations basiques de chaque génération, ainsi que leurs caractéristiques et fonction pour bien comprendre leurs particularités, aussi pour suivre l'actualité des générations des réseaux cellulaires, leurs amélioration et développement.

Nous avons exprimé les mécanismes d'optimisation et de la supervision de la qualité de service Dans le deuxième chapitre, pour la visualiser et l'améliorer, en présentant les différentes méthodes de la supervision dont les KPI's et les drives tests.

Finalement on a conclu une solution pour le déploiement d'U900, et on a vu son impact grâce à l'application réelle de cette solution sur une wilaya choisie, afin d'assurer son bons effets et rendement sur le réseau de l'opérateur.

Bibliographie

[1] Lagrange, X. (2004). Réseaux mobiles 2G et 3G. *Dép. RSM, ENST Bretagne*.

[2] génération de système cellulaire 1G[en ligne], http://www.marche-public.fr, (page consultée le 13/05/2019).

[3] Système de 1ère génération(1G) , [en ligne], https://slideplayer.fr, (page consultée le 13/05/2019).

[4] Basic Radio Awareness Modulation and Radio Building Blocks, [en ligne], https://www.taitradioacademy.com, (page consultée le 13/05/2019).

[5] Demoulin, C., & Van Droogenbroeck, M. (2004). Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. *Revue de l'AIM*, *4*, 3-18.

[6] GSM : Global System for Mobile Communications Architecture, Interfaces et Identités [en ligne], http://www.efort.com/ ,(page consultée le 13/05/2019).

[7] Réseaux Télécom Protocoles du GSM (Partie 1) [en ligne], https://reseauxtelecom.wordpress.com/, (page consultée le 15/05/2019).

[8] BELABDELLI, A., & OUKAZ, M. (2012). *Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi* (Doctoral dissertation).

[9] Introduction to the EDGE standard [en ligne], http://www.tech.windelslife.com/edge-2-75g/, (page consultée le 15/05/2019).

[10] Girodon, S. (2002). Réseaux GSM, GPRS, UMTS. Architecture évolutive pour une stratégie services.

[11] Lucidarme, T. (2002). *Principes de radiocommunication de troisième génération: GSM, GPRS, UMTS...* Vuibert informatique.

[12] UMTS ,[en ligne] ,https://www.memoireonline.com/07/08/1383/u-m-t-s.html ,(page consultée le 15/05/2019).

[13] Bouchentouf.H et Boudghene Stambouli.R (2013) ,«Etude des performances des réseaux.

4G (LTE) », mémoire Master en Télécommunication, Université de Tlemcen ,76p

[14] Demoulin, C., & Van Droogenbroeck, M. (2004). Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. *Revue de l'AIM*, *4*, 3-18.

[15] MEURISSE, E. (2007). L'UMTS et le haut-débit mobile. *Rapport Institut d'électronique et d'informatique*.

[16] Holma, H., & Toskala, A. (2006). *Hsdpa/hsupa for umts* (pp. 29-30). John Wiley & Sons Ltd.

[17] B .Yannick, H. Éric, W. François, "LTE et les réseaux 4G" ISBN : 978-2-212-12990-8, Groupe Eyrolles, pages. 41-300, 2012.

[18] Pérez, A. (2017). *Mise en oeuvre d'IP et Ethernet dans le réseau de mobiles 4G*. ISTE éditions.

[19] LTE-Advanced ,[en ligne] ,https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced,(page consultée le 15/05/2019).

[20] Doppler, K., Rinne, M., Wijting, C., Ribeiro, C. B., & Hugl, K. (2009). Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks. IEEE Communications Magazine, 47(12), 42-49.

[21] Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., ... & Gutierrez, F. (2013). Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!. *IEEE access*, *1*, 335-349.

[22] AYAD, H., & MEKIDICHE, R. A. Optimisation de la couverture radio 4G (LTE-A) des opérateurs de télécommunications (Doctoral dissertation).

[23] Cao, J., Li, L. E., Bu, T., & Sanders, S. W. (2013). U.S. Patent Application No. 13/436,212.

[24] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD, RAN KPI Reference, 2012.

[25] La mobilité, [en ligne], https://www.scribd.com/document/153866425/La-mobilite-est-possible-grace-au-handover-docx, (page consultée le 20/05/2019).

[26] Le Drive Test, [en ligne], https://www.scribd.com/document/215126010/Le-Drive-Test, (page consultée le 21/05/2019).

[27] Recommendation, I. T. U. R. M. (2003). 1645: Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000. *ITU-R Radio Assembly*.

[28] Papaioannou, C., Onireti, O., Imran, M. A., & Arshad, K. (2015, August). Self-optimization of cell sizes in cellular networks. In 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) (pp. 1406-1411). IEEE

[29] How to implement Spectrum Re-farming, [en ligne], https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2017/11/10-Day-2-Session-3-How-to-Implement-Spectrum-Refarming-Shola-Sanni.pdf, (page consultee le 24/05/2019).

[30] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD, WCDMA RAN Fundamental , 2009.