République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr Yahia Farès de Médéa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département du Génie électrique et de l'Informatique

Mémoire de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de Master
en Systèmes de Télécommunication

Thème :

OPTIMISATION DU PLAN DE FRÉQUENCES DANS UN RÉSEAU GSM

Présenté Par :

M. TOUBAL Djamel-Eddine

Encadré Par :

M. Dali

M. KADIK Rachid

Promotion : 2011 - 2012

Remerciement

C’est avec le plus grand honneur que je réserve cette page en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés durant cette formation.

Avant tout, Je tiens à remercier le Bon Dieu de m’avoir gracié pour vivre, apprendre davantage et découvrir ...

J’adresse mes remerciements les plus sincères à mes encadreurs M .Dali et M. KADIK Rachid, Veuillez agréer messieurs l’expression de mes sentiments les plus respectueux.

Je remercie également les membres du jury d’avoir accepté de juger notre travail.

J’exprime ensuite une profonde gratitude, et ces mots sont pesés, Jose Angel Gomez de m’avoir aidé, à la réalisation de ce travail.

J’adresse également mes profondes considérations à tous, qui de loin ou de près, ont aidé à la réussite de ce projet.



Dédicaces

A celui qui a toujours garni mes chemins force et lumière…mon trop cher père, Puisse Dieu l'accueillir dans son infinie miséricorde

A la plus belle perle au monde…ma tendre mère

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour et de l'affection dont elle ne cesse de me combler,

Qu'elle trouve dans ce travail un témoignage de mon profond amour et éternelle reconnaissance,

Que dieu leur procure bonne santé et longue vie,

A mes chers frères Ahmed, Abdenour et Abdelmoughni

A mes chères sœurs Nacira, Fatiha, Amina et Salima

A toute la famille TOUBAL et la famille BEN BACHA ainsi qu'à tous mes amis,

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Je dédie ce travail…

Djamel-Eddine

Table des Matières

Résumé …….

Tables de matière……...

Tables de figures……

Introduction générale……01

CHAPITRE I : Architecture des réseaux radio mobile GSM

I.1 Introduction ……..……..……..03

I.2. Architecture…….....…….....03

I.2.1. Le sous-système radio BSS …….....…….…….. 04

1.2.2. Le sous-système réseau NSS ……..……05

I.2.3. Le sous-système opérationnel OSS……..……..06

1.3. La numérotation GSM…….....06

I.3.1. MSISDN (Mobile Station Identity Subscriber Digital Network)….....06

I.3.2. IMSI (International Mobile Subscriber Identity)……..……07

I.3.3. TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)……..07

I.3.4. IMEI (International Mobile Equipment Identity)…… ……...08

I.3.5. IMSRN (Mobile Station Roaming Number)……08

I.4. Les interfaces GSM…….…..08

I.4.1. Les interfaces BSS ……..…..09

I.4.2. Les Interfaces NSS …….....10

I.4.3. Les Interfaces REM……10

I.5. Les canaux logiques …….……10

I.5.1 Canal logique de trafic TCH …….……..10

I.5.2 Canal logique de contrôle CCH……11

I.6. L'évolution du GSM vers EDGE ……..……..13

I.6.1. GPRS (General Packet Radio Service)……..……13

I.6.2. EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) …….……14

I.7. Conclusion ……....…….....15

CHAPITRE II : Caractéristiques de l'interface Radio Fréquence

II.1. Introduction ……16

II.2. Les méthodes d'accès FDMA, TDMA et CDMA ……16

II. 2.1. FDMA (AMRF : accès multiple à répartition par fréquence)……16

II.2.2. TDMA (AMRT : accès multiple à répartition par le temps)…… 18

II.2.3. CDMA (AMRC : accès multiple à répartition par code) ……22

II.3. Gestion des fréquences ……..23

II.3.1. Principe de réutilisation des ressources……23

II.3.2. Saut de fréquence : « Frequency Hopping »……..24

II.4. Affectation de fréquences …… 27

II.4.1. Processus el algorithmes d'affectation de fréquences …… 27

II.4.2. Allocation de fréquences manuelle …… 30

II.4.3. Allocation de fréquence automatique …….. 31

II.5. Conclusion …….. 32

CHAPITRE III : Modélisation et algorithmes d'affectation de fréquence

III.1. Introduction……...33

III.2. Modélisation du Problème d'Affectation de Fréquences ……..34

III.2.1. Les données d'entrée .. ……..34

III.2.2. L'évaluation d'une solution ……..35

III.3 Complexité du problème d'affectation de fréquences ……....37

III.4. Modélisation génétique du problème d'affectation de fréquences ……..38

III.4.1 Présentation des algorithmes génétiques ……38

III.4.2. Génération de la population initiale. ……..39

III.4.3. Opérateurs génétiques. ……..39

III.4. Choix et présentation de la recherche tabou ……..41

III.4.1 Choix de la recherche tabou.. ……41

III.4.2 Présentation de la recherche tabou.. ……..……42

III.5. Algorithmes hybride ……..……...…45

III.5.1 Modélisation hybride du problème d'affectation de fréquences . …….47

III.5.2. Application de la recherche tabou ……..……48

III.6. Conclusion ……..……..…51

CHAPITRE IV : Application

IV.1. Introduction ……..……..…….52

IV.2. Présentation de l'outil Optimi xAFP ……..……52

IV.2.1. Procédure d'OPTIMI xAFP……..……..55

IV.3. Description et construction de notre projet xAFP ……..……....55

IV.3.1 Description du projet……..……..……..……..55

IV.3.2. Performances du réseau avant l'optimisation . ……..……...56

IV.3.3. Construction du projet pilote. ……..……..57

IV.4. Génération et validation de la matrice d'interférence……..……..63

IV.4.1. Validation de la matrice d'interférence……..……..64

IV.5. Optimisation du plan de fréquence……..……70

IV.6. Résultat de notre projet sur la zone de grand Alger……..…….73

IV.7. Choix du nouveau plan de fréquences et implémentations. ……..…….76

IV.8. Conclusion ……..……..…….78

Liste des Figures

Figure I-1: Architecture générale du réseau GSM……..…….3
Figure I.2 : Le format du MSISDN……..….6
Figure1.3 : Le format de l'IMSI……7
Figure 1.4 : Le format de l'IMEI……...…8
Figure I.5: Les interfaces GSM……...9
Figure 1.6: le canal TCH…….11
Figure 1.7: Le canal CCH……...11
Figure II.1 : La technique d'accès multiple FDMA……..……....17
Figure II.2: Les bandes fréquentielles du GSM.…….……...……...17
Figure II.3 : Le partage fréquentiel duplex..……....…..……18
Figure I1.4 : La technique d'accès multiple TDMA..……..……19
Figure II.5: Description d'un time slot**.....**……...….**.....**19
Figure II.6 : Présentation de la structure hiérarchique des multitrames …….……..20
Figure II.7: L'importance du Timing Advance……..21
Figure II.8 : La technique d'accès multiple CDMA……..22
Figure II.9 : Exemple de motif à 3 cellules……23
Figure II.10 : Exemple de motif à 7 cellules……..24
Figure II.11 : Saut de fréquence……...……..24
Figure III.1 : Organigramme de l'algorithme génétique……39
Figure III. 2 : Procédure de croisement……...……..40
Figure III.3 : Organigramme de la recherche tabou…….43
Figure III.4 : Organigramme de l'algorithme hybride..…….44
Figure IV.1 Procedure de xAFP…….……51
Figure IV.2. Performances du réseau avant optimisation…….53
Figure IV.3. Distribution de Fréquences pour les deux band 900/1800……54
Figure IV.4. Import de données Physique sur Optimi xAFP…….55
Figure IV.5 Projet xAFP…….56
Figure IV.6. Import de données Physique sur Optimi xAFP……..57
Figure IV.7. Programmation des mesures MMR(FAS) sur RNO.…….58

Figure IV.8. Import des fichiers MMR(FAS) …….…….58
Figure IV.9. Programmation des mesures RXQual/RxLev(MRR) sur RNO.…….59
Figure IV.11. Correspondance BCCH-BSIC quotidienne.…….…...60
Figure IV.12. Exemple de rapport de trafic par BO.……..61
Figure IV.13. Génération de la matrice d'interférence.……...62
Figure IV.14 : Menu de la Consistancy check.……..63
Figure IV.15 : Résultat de l'inconsistancy check…….……...63
Figure IV.16 : Résultat de OLAP table..…….…….64
Figure IV.17 : Paramètres du simulateur de QoS..……..65
Figure IV.18 : Résultats du simulateur de QoS.……...66
Figure IV.19 : Paramètres de l'optimisation ……...68
Figure IV.20 : Résultats des différents scénarios de la bande 900 ……...69
Figure IV.21 : Résultats des différents scénarios de la bande 1800 …….70
Figure IV.22 : Performances de la zone optimisée.……...72

Acronymes et abréviations

A

AFP : Automatic Frequency Plan

AGCH : Access Grant CHannel

AuC : Authentification Center

B

BSS : Base Station Subsystem

BTS : Base Transceiver Station

BSC : Base Station Controller

BCH (Broadcast CHannel)

BCCH : Broadcast Common Channel

C

CBCH : Cell Broadcast Channel

D

DTX : Discontinuous Transmission

E

EIR : Equipement IdentificationRegister

F

FAP : Frequency Assignment Problem

FACCH : Fast Associated Control Channel

FCCH : Frequency Correction Channel

H

HLR : Home Location Register

M

MI-CAP : Minimum Interference fixed Channel Assignment Problem

MSC : Mobile services SwitchingCenter

Services Digital Network

MSISDN : Mobile SubscriberInegrated

ME : Mobile Equipment

O

OMC : Operation and Maintenance Center

R

RACH : Random Access CHannel

T

TCH : Traffic Channel

I

IMSI : International **M**obile **S**ubscriber Identity

N

NSS: Network Switching Subsystem

P

PCH : Paging Channel

S

SCH : Synchronized CHannel

SDCCH : Stand-alone Dedicated Control CHannel

SACCH : Slow Associated Control Channel

Bibliographie

[1] *Xavier Lagrange, Phillipe Godlewski, Sami Tabbane*, **« Réseaux GSM-DCS »**, Edition Hermès, Paris, 1996.

[2] *Joham Dréo, Alain Pétrowski, Patrick Siarry, Eric Taillard*, **« Métaheuristiques pour l'optimisation difficile »**, Edition EYROLLES, France, Juillet 2003.

[3] *Mohamed Tahar MISSAOUI*, **« Etudes des Techniques de Densification dans les Réseaux Radio Mobiles Cellulaires »** : Thèse de doctorat, ENIT, 2004.

[4] *Adel Akrout***, « Problème d'affectation de fréquences : méthodes basées sur le recuit simulé »**, Rapport technique, 1994, France Télécom CNET, Paris.

[5] A.Ortega, M.Karray, **« Algorithme de coloration de graphes et d'affectation des fréquences »**, Rapport technique, 1995, France Télécom CNET, Paris.

[6] A.Ortega, M.Karray, **« Algorithme d'affectation des fréquences »**, Rapport technique, 1996, France Télécom CNET, Paris.

[7] A.Ortega, M.Karray, **« Algorithme d'affectation des fréquences »**, Rapport technique, 1996, France Télécom CNET, Paris.

[8] A.Ortega, **« Application des techniques de coloration des graphes et de recuit simulé au problème d'affectation de fréquences»**, Rapport technique, 1995, France Télécom CNET,
Paris.

[9] *Jean-Marie Gorce,* **« réseaux mobiles »** , CITI, INSA Lyon, 2003.
Laatitla Jourdan, **« Métaheuristiques pour l'extraction de connaissances : Application à la génomique »** : Thèse de doctorat, 2003.

[10] *D. E. Goldberg****,*** **« Genetic Algorithms - in Search, Optimization and Machine Learning
»,** Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

[11] *Emmanuel Kerrinckx, Laurent Bigot, Géraud Bouwmans, Marc Douay, Yves Quiquempois,*
« Conception de fibre à cristal photonique à l'aide d'un algorithme génétique », Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, UMR 8523

[12] *Hakim Mabed, Alexandre Caminada, Jin-Kao Hao, Denis Renaud,* **« A Dynamic Traffic Model for Frequency Assignment »**, 2002.

[13] *Graham Kendall et Mazlan Mohamad*, **« Channel assignment in cellular communication using a great deluge hyper-heuristic » ,** Automated Scheduling, Optimisation and Planning (ASAP) Research Group, University of Nottingham, School of Computer Science and IT Nottingham NG8 1BB, UK

[14] *Andreas Eisenblatter*, **« Frequency assignment in GSM networks : Models, Heuristics and Lower bounds »**, université de Berlin, Juin 2001.

[15] *R. Montemanni and D.H. Smith*, **« A tabu search algorithm with a dynamic tabu list »**, Division of Mathematics and Statistics, 29 October 2001.

[16] *Ralf Bornd, Orfer Andreas EisenblBL, Atter Martin, Otschel Alexander Martin,* **« Frequency Assignment in Cellular Phone Networks »,** Konrad-Zuse-Zentrum four Informationstechnik Berlin, 1998. *AT & T Wireless*, **« Dev Central White Paper »**, 9/16/2003.

[17] *J. K. Hao et al*, **« Simulated Annealing and Tabu Search for Constraint Solving »**, Fifth Int. Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics, AIM'98, Fort Lauderdale, Florida, USA, 1998.

[18] *B. Jabbary*, **« Fixed and Dynamic Channel Assignment »**, *in The Communications Handbook, 2nd edition, CRC Press LLC, 2002.*

[19] *M. Hellebrandt, F. Lambrecht, R. Mathar, T. Niessen, R. Starke,* **« Frequency Allocation and Linear Programming »,** proc. IEEE VTC, N°48, 1999.

[19] *J. Hao, R. Dorne, P. Galinier,* **«Tabu Search for Frequency Assignment in Mobile Radio Networks »**, Journal of heuristics, N°4, pp 47-62, 1998.

[20] *Hakim Mabed*, **« Modèles et techniques d'optimisation dynamique pour les réseaux radiomobiles »** : Thèse de doctorat, Ecole doctorale d'Angers, 2003.

[21] *Hakim Mabed*, **« Optimisation dynamique: Application au fréquençage »**, Séminaire du SeT, 2004.

[22] Le HELP de l'outil Outil Optimi Xafp de Ericsson http://www.optimi.com/

[23] Ericsson GSM System survey.

[24] Ericsson GSM Cell Planning Principals.

[25] Optimi xAFP tool of Ericsson.

ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة تخطيط و توزيع الذبذبات الهرتزية في شبكات الهاتف المحمول و يعتبرهذا من أصعب المشاكل التي تواجه المهندسين، تبين أن المناهج التقليدية جد محدودة و لذا تحتم علينا استعمال الخوارزميات الجينية و الخوارزميات الهجينة التي تسمح بالاقتراب من النتيجة في وقت مقبول، كتطبيق استعملنا برنامجا إلكترونيا يستعمل الخوارزميات الهجينة و جربناه على منطقة تحتوي على عدد كبير من المرسلات الذبذبية في شبكة الهاتف المحمول نجمة، النتائج المتحصل عليها برهنت على جدوى و نجاعة هذه الخوارزميات

.الكلمات المفتاحية: التخطيط، الذبذبات الهرتزية، الخوارزميات، الهجينة، الجينية

Résumé

Ce travail a pour objet l'étude du problème de planification de fréquences dans un réseau GSM, étant donné que ce problème est de complexité énorme, les méthodes traditionnelles s'avèrent très limités et pour cela nous a avons fait appel aux algorithmes génétiques et hybride qui permettent de se rapprocher de la solution optimale en un temps plus ou moins acceptable, pour application nous avons utilisé un outil de planification de fréquence utilisant l'algorithme hybride et avons testé sur une zone dense du réseau de l'opérateur mobile NEDJMA, les résultats obtenu montrent l'efficacité de ces algorithmes

Mot-clef : Planification, fréquences, algorithme, hybride, génétique

Abstract

This work aims to study the problem of frequency planning in GSM network, since this problem is enormously complex, traditional methods are very limited hence we have used genetic and hybrid algorithms that can approximate the optimal solution in a more or less acceptable time, as an application we used a frequency planning tool which uses the hybrid algorithm and tested it on a dense area of mobile operator network NEDJMA, the results obtained show the effectiveness of these algorithms

Key words: planning, frequency, algorithm, hybrid, genetic.

Introduction Générale

L'essor formidable des réseaux radio-mobiles aux cours de ces dernières années est dû en grande partie aux possibilités de communications offertes par ces systèmes en position de mobilités(Handover) et d'itinérance(Roaming). Pour l'accès au réseau, les systèmes radio mobiles utilisent une liaison radio entre le téléphone mobiles et un ensemble de stations de bases réparties sur le territoire. Si l'itinérance est un résultat de l'effort de normalisation, la mobilité est un effet direct de la couverture et de la qualité du réseau. Pour satisfaire les besoins de communication de leurs clients en situation de mobilité, les opérateurs doivent porter une attention toute particulière à la phase de la conception, ou de design, du réseau mobile : Localisation des stations de bases et paramétrages de leurs ressources.

Le design représente une étape incontournable du cycle de vie du réseau radio. Le rôle de design est de définir de façon prévisionnelle, sur papier ou l'aide de logiciels, les configurations matérielles et celles des paramètres, si possible optimale, répondant aux objectifs techniques et économiques fixé par les engagements de licences. Cette étape fait appel à des données de toutes sortes, géographiques, marketing, techniques ainsi qu'à des données remontées du réseau éventuellement existant. La croissance continue de la demande en communication fait du design des réseaux radio mobiles une tache perpétuelle. Cette tâche est d'une grande complexité du fait du volume immense de données à gérer ainsi que de l'emboitement de plusieurs problèmes d'ingénierie séparables en apparence.

Parmi la gamme des problèmes de l'ingénierie qu'on peut rencontrer durant le design des réseaux radio mobiles, nous nous sommes intéressés tout particulièrement aux problèmes d'affectation de fréquences dans les réseaux cellulaires non réguliers et auquel je fais face quotidiennement dans mon travail au sein de l'opérateur de téléphonie mobile Nedjma. Le problème d'affectation de fréquence se rapporte au concept de partage de ressources radio. Chaque station de base requiert un ensemble de fréquence pour assurer les communications sur son aire de service. Il s'agit alors de répartir l'ensemble de fréquences disponible sur les stations de manière à réduire les interférences sur la zone.

L'objectif de mon PFE est d'étudier les algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème d'affectation de fréquences, et l'application avec un outil OPTIMI xAFP d'Ericsson nouvellement acquis par Wataniya Télécom Algérie et de montrer son efficience sur un échantillon de réseau : le grande Alger composé de Alger, Tipaza, Blida, Boumerdes et Tizi ouzou comportant plus de 60% du trafic voix et data.

Notre travail est composé de quatres parties : Le premier chapitre confère une présentation générale de l'architecture du réseau GSM, les différents composants du réseau sont brièvement introduits ainsi qu'une vue générale des réseaux de troisième génération.

Dans le deuxième chapitre une vue détaillée de l'aspect Radio des réseaux GSM y est donnée, nous nous sommes intéressé surtout aux problèmes des interférences dues à la réutilisation des fréquences ainsi qu'au différents techniques d'allocation de fréquences permettant à la fois de satisfaire le besoin en capacité et d'assurer un niveau d'interférence minimale dans le réseau.

Dans le troisième chapitre, nous proposons une modélisation du problème d'affectation de fréquences (FAP : Frequency Assignement Problem) ainsi qu'une présentation des différents algorithmes fréquemment utilisé, on détaille surtout l'algorithmes hybride qu'utilise OPTIMI xAFP résultant d'une coopération entre un mécanisme de recherche par saut assuré par l'algorithme génétique et d'un mécanisme de recherche local assuré par une méthode heuristique appelée la recherche tabou .

En fin le quatrième chapitre détaille les différentes étapes de conception du Projet xAFP et son application sur la zone Grand Alger ainsi que les résultats sans précédent obtenus.

CHAPITRE I

Architecture des réseaux radio mobile GSM

CHAPITRE II

Caractéristiques de l'interface Radio Fréquence

CHAPITRE III

Modélisation et algorithmes d'affectation de fréquence

CHAPITRE VI

Application

Introduction Générale

Conclusion Générale et Perspectives

[redacted]

Résumé

[redacted]

[redacted]

Dédicace

[redacted]

[redacted]

Remerciement

[redacted]

Bibliographie

Table des matières

Table des figures

I.1. Introduction

Le GSM, (Global System for Mobile communications), est un système cellulaire et numérique de télécommunication mobile. Il a été rapidement accepté et a vite gagné des parts de marché telles qu'aujourd'hui plus de 180 pays ont adopté cette norme et plus d'un milliard d'utilisateurs sont équipés d'une solution GSM. L'utilisation du numérique pour transmettre les données permettent, des services élaborés, par rapport à tout ce qui a existé. On peut citer, par exemple, la possibilité de téléphoner depuis n'importe quel réseau GSM dans le monde. Les services avancés et l'architecture du GSM ont fait de lui un modèle pour la troisième génération de systèmes cellulaires, le réseau UMTS. Ce chapitre donne une vue globale de l'architecture du réseau, des liaisons radio, et du fonctionnement du réseau

I.2. Architecture

Un réseau GSM est constitué de trois sous-systèmes :

- Le sous-système Radio BSS (Base Station Sub-system).
- Le sous-système Réseau NSS (Network and Switching Sub-system)
- Le sous-système d'exploitation OSS (Operation Support Sub-system)

Ainsi, on peut représenter schématiquement un réseau radio mobile de la manière suivante :

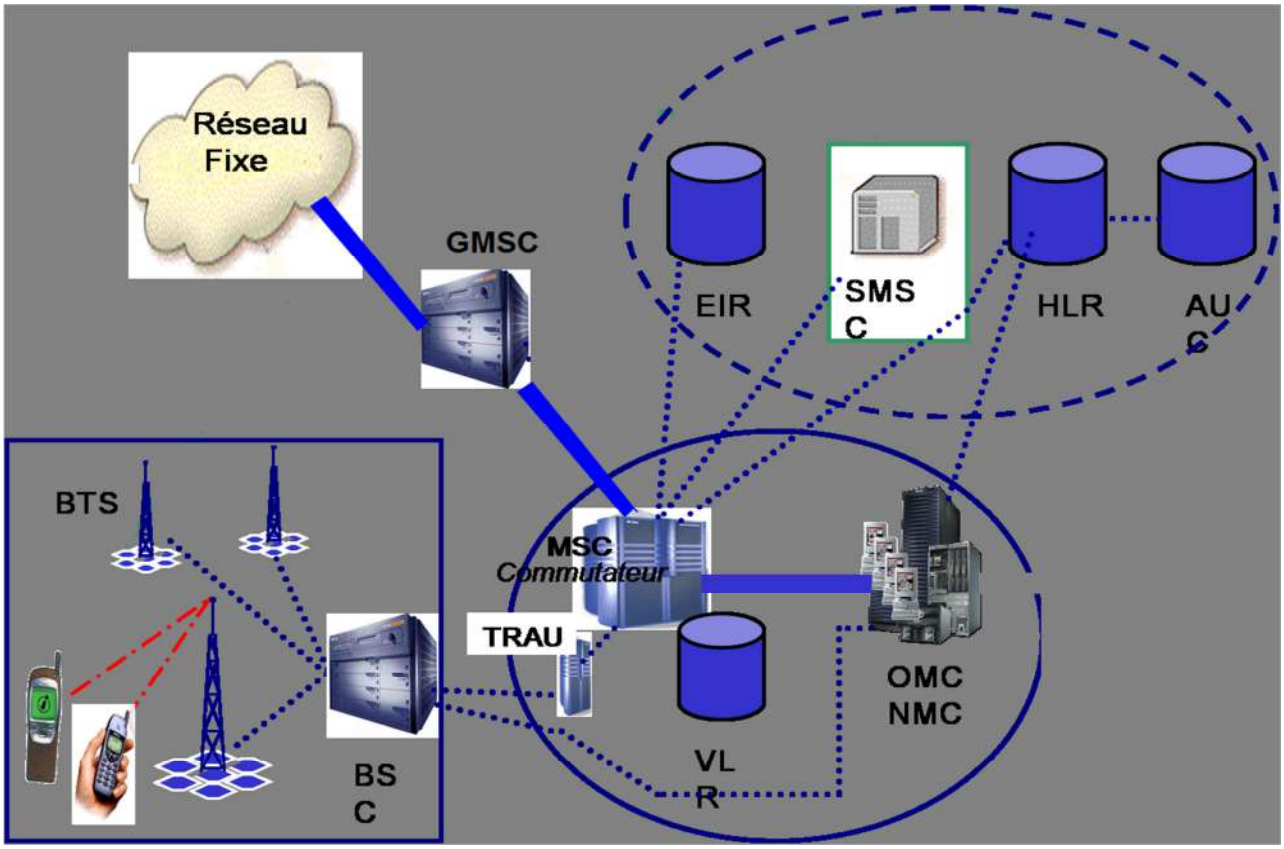


Figure I-1: Architecture générale du réseau GSM **[24]**

I.2.1. Le sous-système radio BSS:

Sa fonction principale est la gestion de l'attribution des ressources radio, indépendamment des abonnés, de leur identité ou de leur communication. On distingue dans le BSS :

a. La station mobile (MS):

La MS (Mobile Station) n'est autre que l'appareil mobile se trouvant dans la zone de couverture d'opérabilité du BSC. La station mobile se compose de:

- L'équipement mobile(ME).
- La carte SIM.

b. La station de base BTS :

Elle permet le dialogue avec le mobile sur l'interface Air (aussi appelée interface Radio ou interface Um). Ses principales fonctions sont :

- Contrôle de la couche physique (couche 1 de l'interface radio) : transmission de la parole et des données, ordres de contrôle de puissance et de handover...
- Mesures des interférences sur les canaux non alloués à des communications (idle channels).
- Mesures sur la liaison montante (uplink), servant à l'algorithme de décision du handover.
- Calcul de l'avance de temps (Timing Advance) pour la synchronisation temporelle, selon la distance qui sépare la BTS du mobile.
- Détection des demandes d'accès des mobiles reçus sur le canal de contrôle commun (RACH).
- Détection des messages de handover access (HO ACCESS).

c. Le contrôleur de la station de base BSC :

Il assure le contrôle d'une ou de plusieurs BTS. La plupart des fonctions intelligentes de BSS sont implantées à son niveau, notamment les fonctions de gestion des ressources radioélectriques :

- L'allocation des canaux.
- La gestion de la configuration des canaux.
- Le traitement des mesures et la décision de handovers intra BSC.

Avec La BSC on trouve souvent une entité intermédiaire La **TRAU** (Transcoder and Rate Adaptation Unit, ou unité de transcodage et d'adaptation de débit), est une unité (un équipement) de transcodage présente dans les réseaux de

téléphonie mobile de type GSM. Le débit du canal radio GSM est de 13 kbit/s, tandis que celui du canal de liaison PCM du téléphone fixe est de 64 kbit/s : il est donc nécessaire de réaliser un transcodage au niveau des stations de base (BTS). Donc au lieu de faire passer le débit de chaque canal à 64 kbit/s. Dans ce cas le débit entre BTS et BSC est quatre fois plus important que ce qu'il devrait être, on a préféré le multiplexage de quatre canaux à 13 kbit/s pour produire un canal à 64 kbit/s. Dans ce cas, le débit est relativement faible entre la BTS et la BSC, c'est la fonction de la TRAU **[1]**.

1.2.2. Le sous-système réseau NSS:

Il assure principalement les fonctions de commutation et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

a. Le MSC (Mobile Services Switching Center):

C'est la partie centrale du NSS. Il prend en charge l'établissement des communications de et vers les abonnés GSM. Du fait de la mobilité, l'implantation de la seule fonction de commutation n'est pas suffisante. Le MSC gère la mobilité et enregistre la localisation des abonnés visiteurs (base de données VLR).

b. Le HLR (Home Location Register):

C'est la base de données qui gère les abonnés d'un PLMN donné. Elle contient toutes les informations relatives à l'abonnement et aux droits d'accès. D'autre part, le HLR est une base de données de localisation. Il mémorise pour chaque abonné le VLR où il se trouve.

c. Le VLR (Visitor Location Register):

C'est la base de données qui gère les abonnés présents dans une certaine zone géographique. Ces informations sont une copie de l'original conservé dans le HLR.

d. L'AuC (Authentication Center):

Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour le chiffrement des communications. En général, un AuC est associé à chaque HLR.

e. L'EIR (Equipment Identity Register):

L'EIR est une base de données qui gère des numéros d'identité des

équipements mobiles (IMEI).

f. Le GMSC (Gateway Mobile services Switching Center):

Ce commutateur est l'interface entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique public. Le GMSC est chargé d'acheminer les appels du réseau fixe à un usager GSM

I.2.3. Le sous-système opérationnel OSS :

Il assure la gestion et la supervision du réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM. La supervision du réseau intervient à de nombreux niveaux:

- Détection de pannes.
- Mise en service de sites.
- Modification de paramétrage.
- Réalisation de statistiques.

Dans les OMC (Operation and Maintenance Center), on distingue l'OMC/R (Radio) qui est relié à toutes les entités du BSS, à travers les BSC, l'OMC/S (System) qui est relié au sous-système NSS à travers les MSC. Enfin l'OMC/M (Maintenance) qui contrôle l'OMC/R et l'OMC/S **[1]**.

1.3. La numérotation GSM :

1.3.1. MSISDN (Mobile Station Identity Subscriber Digital Network):

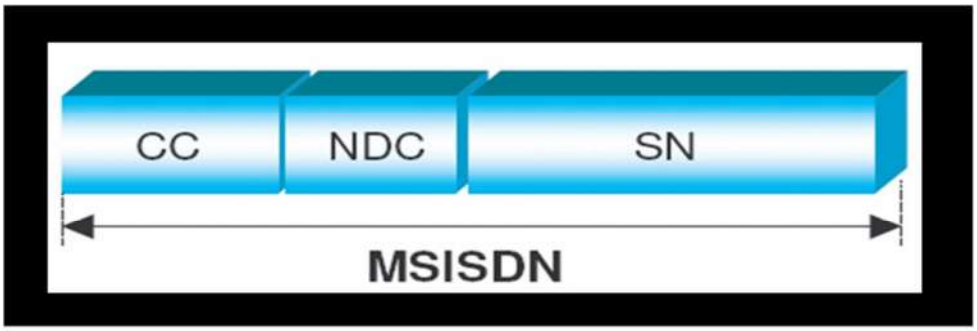


Figure I.2 : Le format du MSISDN **[24]**

MSISDN La structure du MSISDN est comme suit :

- CC (Country Code): indicatif du pays dans lequel l'abonné a souscrit son abonnement.
- NDC (National Destination Code): indicatif du PLMN particulier dans le pays.
- SN (Subscriber Number) : attribué librement par l'opérateur.

I.3.2. IMSI (International Mobile Subscriber Identity):

C'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.

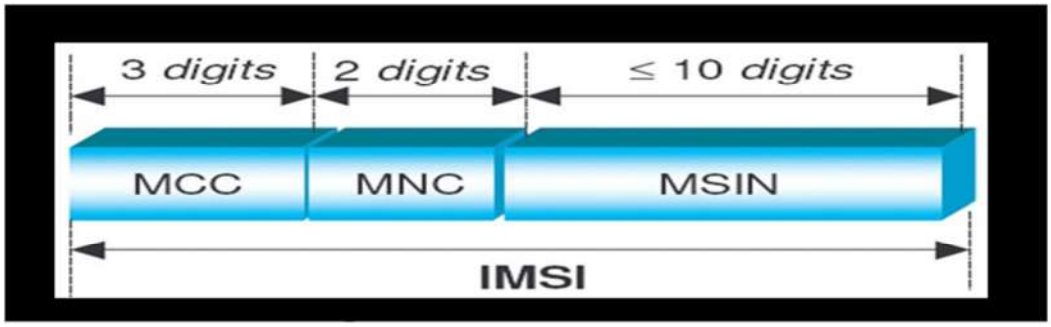


Figure1.3 : Le format de l'IMSI **[24]**

- MCC (Mobile Country Code) : indicatif du pays du domicile de l'abonné mobile (603 pour l'algerie).
- MNC (Mobile Network Code) : indicatif du PLMN nominal de l'abonné (01 pour MOBILIS, 02 pour DJEZZY, 03 pour NEDJMA).
- MSIN (Mobile Subscriber Information Number) : numéro de l'abonné mobile à l'intérieur du réseau GSM.

I.3.3. TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity):

- Assigné seulement après l'authentification réseau de l'abonné.
- Utilisé pour s'assurer que l'identité de l'abonné dans l'interface de l'air est secrète.
- Constitué de 4 octets (8 hexa) déterminés par l'operateur

I.3.4. IMEI (International Mobile Equipment Identity):

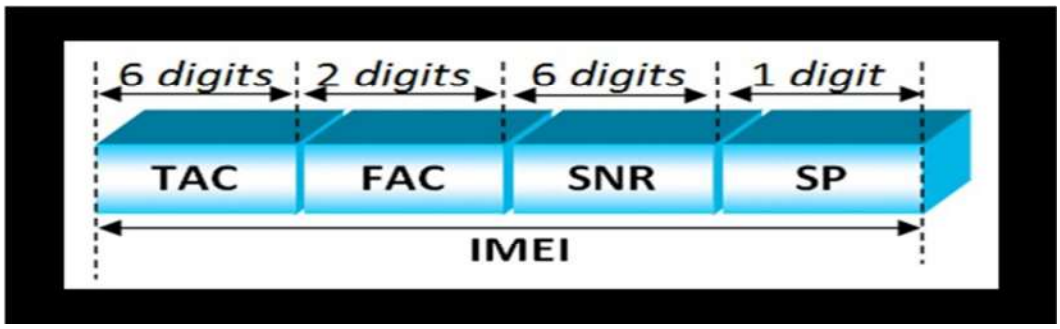


Figure 1.4 : Le format de l'IMEI **[24]**

- TAC (Type Approval Code) : fourni au constructeur lorsque le matériel a passé l'agrément.
- FAC (Final Assembly Code) : identifie l'usine de fabrication.
- SNR (Serial Number) : librement affecté par le constructeur.
- SP (Spare) : réservé.

I.3.5. MSRN (Mobile Station Roaming Number):

Il permet le routage des appels entrants directement du commutateur passerelle (GMSC) vers le commutateur courant (MSC) de la station mobile. Il est attribué de façon temporaire/unique par le VLR courant lors de l'établissement d'un appel à destination de la station mobile.

- Code pays du VLR courant (CC)
- Code PLMN du VLR courant (NDC).
- Numéro d'abonné « *Temporaire »* (SN).

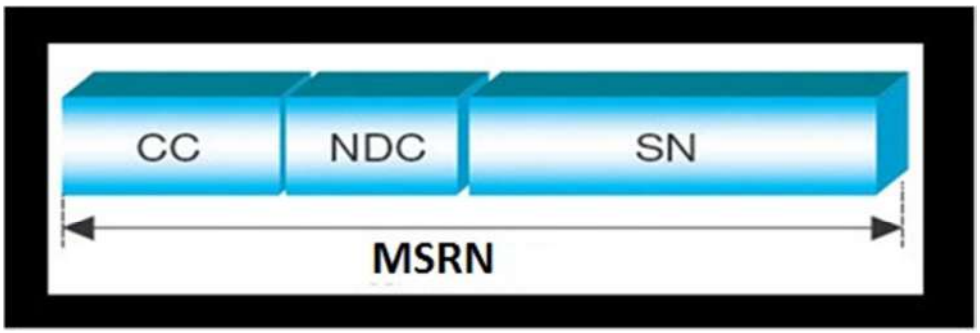


Figure I.2 : Le format du MSRN**[24]**

I.4. Les interfaces GSM :

Les interfaces normalisées sont utilisées entre les entités du réseau pour la transmission du trafic (paroles ou données) et pour les informations de signalisation. Dans le réseau GSM, les données de signalisation sont séparées des données de trafic. Toutes les liaisons entre les équipements GSM sauf avec la station mobile sont des liaisons numériques. La liaison entre BTS et MS est une liaison radio numérique.

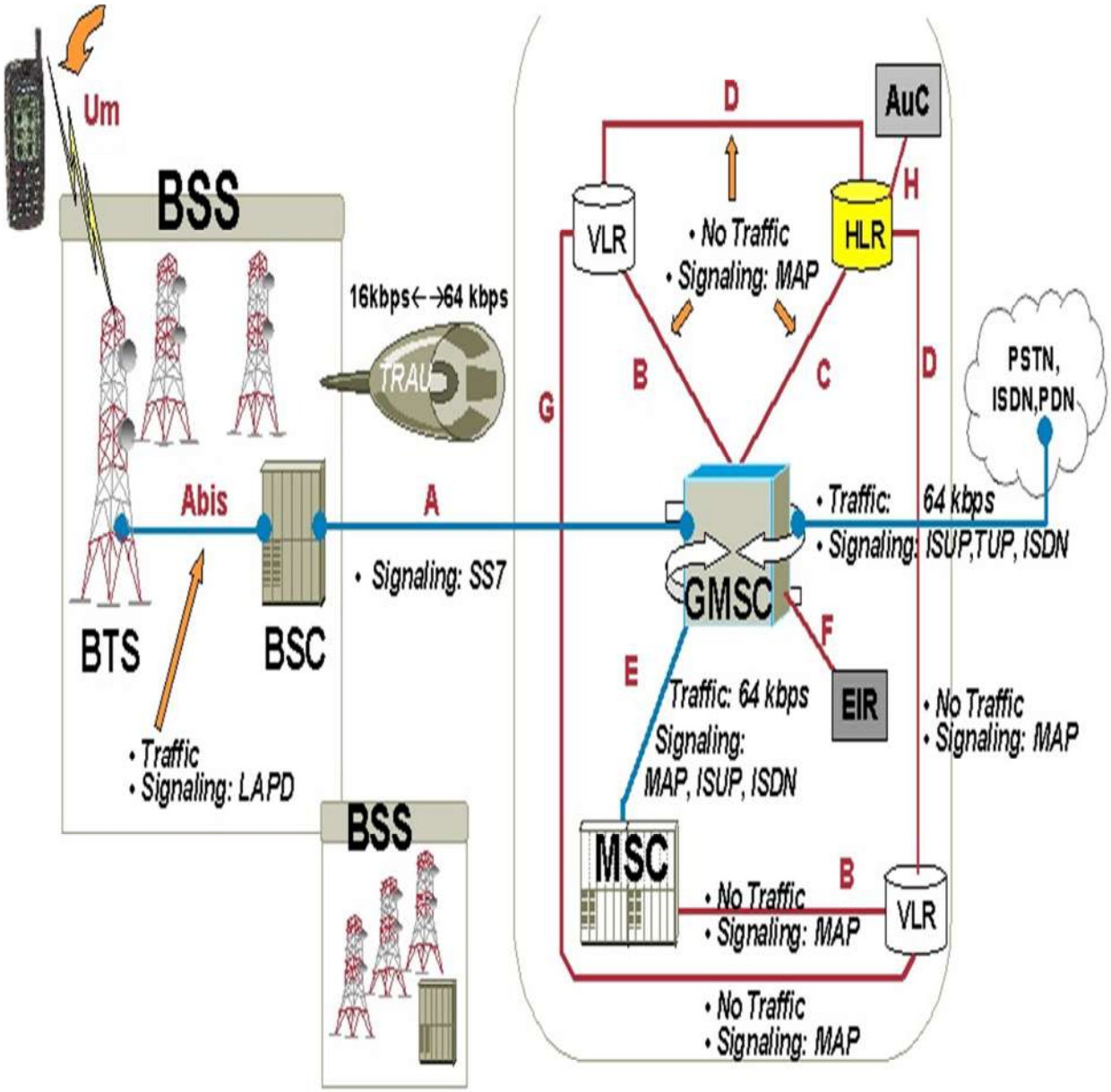


Figure I.5: Les interfaces GSM **[1]**

I.4.1. Les interfaces BSS :

a. ***Interface Um :*** appelée aussi Air ou radio, entre BTS et MS s'appuie sur le protocole LAPDm (Link Access Protocol on the D mobile Channel). Il est utilisé pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le téléphone portable et le sous-système radio communiquent par l'intermédiaire de l'interface Um, qui est une liaison radio.

b. ***Interface ABIS*** : Entre BTS et BSC s'appuie sur le protocole LAPD. Il est utilisé pour le transport du trafic et des données de signalisation. Son support physique peut être sur fibre optique ou bien Faisceaux hertziens, le protocole de transfert et le PDH, la hiérarchie numérique plésiochrone (en anglais Plesiochronous Digital Hierarchy) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec plesio (proche) et chronos (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments pratiquement mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local

Ces débits sont nommés Ei avec :

- E1 correspondant à 2 048 kbit/s
- E2 correspondant à 8 Mbit/s
- E3 correspondant à 34 Mbit/s
- E4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé)
- 560 Mbit/s n'ayant jamais été normalisé, bien que mis en œuvre sur TAT-9, TAT-10, liaisons sous-marines transatlantiques 1992)

L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la SDH, Hiérarchie numérique synchronisé (en anglais Synchronos digital hierarchy) **[1]**.

c. ***Interface A :*** entre BSC et MSC, s'appuie sur le protocole sémaphore N·7 du CCITT. Il est utilisé le transport du trafic et des données de signalisation. Le sous-système radio et le sous-système réseaux, communiquent par l'intermédiaire de l'interface A.

I.4.2. Les Interfaces NSS :

a. ***Interface B :*** Entre MSC et VLR.
b. ***Interface C :*** Entre MSC et HLR.
c. ***Interface E :*** Entre MSC et MSC.

d. ***Interface F :*** Entre MSC et EIR.

e. ***Interface G :*** Entre VLR et VLR.

f. ***Interface D :*** Entre VLR et HLR/AuC s'appuient sur le protocole sémaphore N·7 du CCITT pour les couche OSI basses (MTP, Message Transfert Protocol) et sur le protocole MAP (Mobile Application Protocole) pour la couches hautes. Ces interfaces sont utilisées en particulier pour le transport des données relatives à l'application des mobiles.

I.4.3. Les Interfaces REM :

Entre OMC-R et BSS ou entre OMC-S et NSS, utilisent un réseau de transmission de donnée de type X25.

I.4.4. Les Interfaces passerelles :

Entre le MSC et les réseaux publics s'appuient sur le protocole sémaphore N°7 du CCITT(UIT-T). Elles sont utilisées pour le transport du trafic et des données de signalisation.

I.5 Les canaux logiques :

Un canal logique est ce que contient le canal physique, autrement dit, c'est l'information contenu dans un time slot de la trame, selon le type de cette information, un canal logique peut être divisé en deux grades parties :

I.5.1 Canal logique de trafic TCH :

Ils transportent des informations utilisateur (voix, données) ou en provenance des couches hautes (applicatives) du système. Suivant le type d'information transportée, il s'agit des canaux de trafic TCH, Traffic Channel, ou des canaux de signalisation SDCCH, Stand-Alone Dedicated Control Channel. Les premiers permettent de transmettre la parole ou les données. Les canaux de signalisation SDCCH ont un débit plus faible que celui des canaux TCH. Ils peuvent être vus comme des TCH de taille réduite, dédiés à la signalisation.

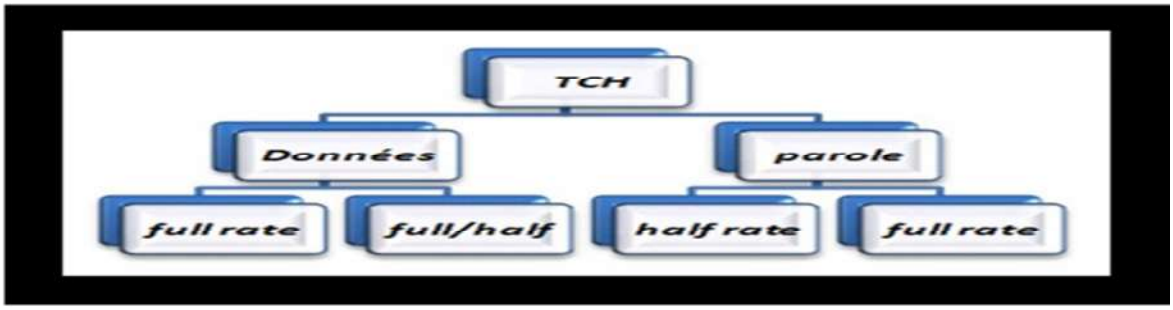


Figure 1.6: le canal TCH **[24]**

I.5.2 Canal logique de contrôle CCH.

Les canaux logiques de control peuvent etre divisés en trois grande familles :

- Les canaux logiques dédiés.
- Les canaux de contrôles communs
- Les canaux de contrôles diffusés

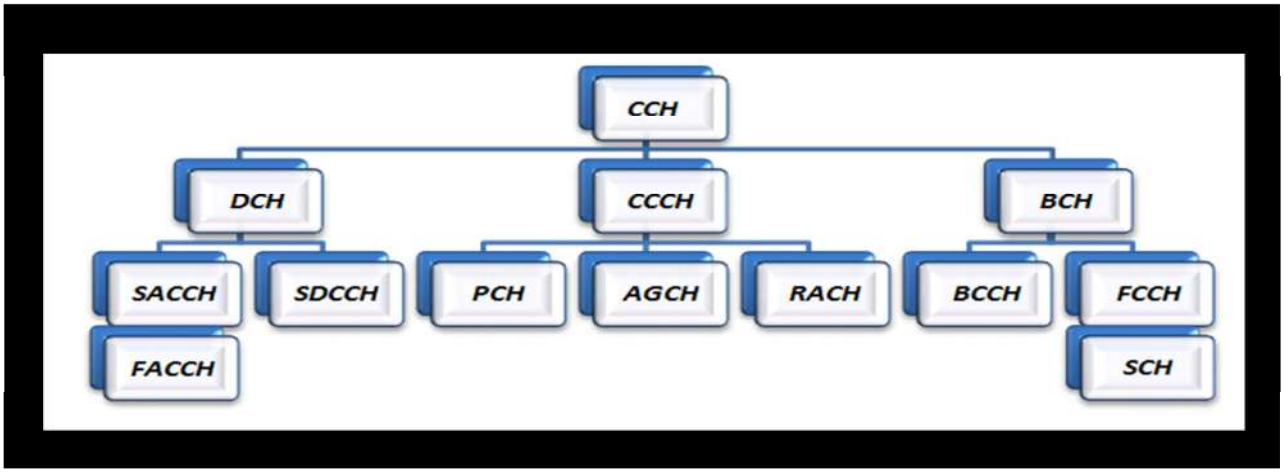


Figure 1.7: Le canal CCH **[24]**

I.5.2.1. Les canaux dédiés :

a. SDCCH :

Les canaux SDCCH sont requis pour mener à bien les procédures suivantes:

1. Mise à jour de localisation : le mobile informe le système dans quelle zone de localisation il se trouve.
2. Procédure IMSI Attach, qui permet au mobile de se faire connaître auprès du réseau et d'accéder aux services souscrits.
3. Procédures IMSI Detach, qui Permet au mobile ou au réseau de s'informer l'un ou l'autre lorsque les services gérés par le MSC ne sont plus accessibles.
4. Initiation d'appel. · SMS, Short Message Service.

b. SACCH :

Une liaison radio est fluctuante. Il n'est pas possible de dédier un canal à un mobile sans le contrôler en permanence. Il faut constamment ajuster des paramètres pour conserver une qualité de service acceptable. Enfin, le réseau doit vérifier que le mobile est toujours actif sur

le canal. Les canaux dédiés TCH et SDCCH possèdent chacun un canal de contrôle associé à faible débit appelé SACCH, Slow Associated Control Channel. Le canal SACCH supporte les informations suivantes :

1. Compensation du délai de propagation aller-retour (round trip delay) par le mécanisme d'avance en temps,
2. Contrôle de la puissance d'émission du terminal mobile,
3. Contrôle de la qualité du lien radio,
4. Rapatriement des mesures effectuées sur les stations voisines.

c. FACCH

Le canal SACCH est alloué conjointement à un canal dédié (TCH ou SDCCH) et permet d'écouler différents types de contrôle ou de signalisation. Cependant son débit est très faible (380 bit/s) et il introduit des délais assez importants de l'ordre d'une demi-seconde. Lorsque le canal alloué est un TCH, on suspend dans ce cas d'urgence, la transmission des informations usagers, et on récupère la capacité ainsi libérée afin d'écouler la signalisation. On obtient donc un nouveau canal de signalisation appelé FACCH, Fast Associated Control Channel.

Lorsque le canal dédié alloué est un SDCCH, ce dernier peut écouler tous les types de signalisation, en particulier la signalisation rapide nécessaire au déroulement d'un handover ; il n'y a pas dans ce cas de nécessité d'introduire le FACCH.

I.5.2.2. Les canaux de contrôles communs CCH (Common Control Channel) :

Ils sont impliqués dans toutes les procédures d'accès du mobile au réseau. On distingue :

a. RACH : Le canal d'accès aléatoire en voie montante

- burst (spécial, plus court) d'accès (access burst) composé de 36 bits de données encodés (8 bits utiles)
- pas d'entrelacement sur plusieurs bursts
- plusieurs configurations suivant la configuration des PCH/AGCH

b. AGCH : le canal d'allocation de ressources AGCH, Access Grant Channel, réseau vers mobile est utilisé pour allouer des ressources dédiées (canal de signalisation SDCCH ou canal de trafic TCH) au mobile qui les a demandées via un canal d'accès aléatoire RACH.

c. PCH : Le canal de messagerie PCH, Paging Channel, réseau vers mobile] est utilisé pour rechercher et avertir un mobile lors d'un appel en provenance du réseau. Il est à noter qu'un mobile n'a jamais l'usage d'un AGCH et d'un PCH en même temps.

I.5.2.3. Les canaux de contrôles diffusés BCCH (Broadcast Control Channel) :

Les canaux logiques en diffusion permettent à chaque mobile de s'accrocher au système local en acquérant les paramètres analogiques et logiques nécessaires. Il s'agit des canaux suivants :

a. ***FCCH :*** Frequency Control Channel, pour le calage en fréquence ;
b. ***SCH :*** Synchronisation Channel, pour la synchronisation en temps ;
c. ***BCCH :*** Broadcast Control Channel, pour la diffusion des informations locales du système.
d. ***CBCH :*** Cell Broadcast Channel, pour la diffusion des informations spécifiques (informations routières, météo, etc.).

I.6. L'évolution du GSM vers EDGE :

La Phase 1 de la standardisation de GSM900 a été complétée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en 1990 et incluait toute les définitions nécessaires aux opérations sur le réseau GSM. Certains services ont été définis tel que la transmission de la voix avec un débit de 13 kbps et la transmission de données à plus de 9.6 kbps mais très peu ont été effectivement ajoutés aux standards. En 1995 est née la Phase 2 des standards GSM pour inclure une large gamme de services comparables aux réseaux digitaux fixes ISDN (Integrated Services Digital Network). En 1996 l'ETSI décida de lancer le GSM dans la Phase 2+ qui inclut la capacité de la 3ème génération des réseaux mobiles.

I.6.1. GPRS (General Packet Radio Service)

Plus qu'un service supplémentaire, le GPRS qui est l'initiative européenne au sein de l'ETSI (Europeen Telecommunication Standard Institue) représente une évolution majeure du GSM. Par l'utilisation de la commutation de paquets et l'augmentation des débits, il ouvre la porte aux applications mobiles multimédias et permet la transition en douceur vers la troisième génération des réseaux mobiles.

I.6.2. EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution)

En utilisant plusieurs timeslots dans le HSCSD et le GPRS, un utilisateur peut augmenter son débit. Le GPRS offre de surcroît différents taux de codage, permettant d'augmenter le débit lorsque les conditions de propagation sont correctes. Néanmoins, le débit brut sur un time slot reste celui du GSM, c'est-à-dire environ 170 Kbit/s.Le EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) permet de s'affranchir de cette limite, grâce à l'introduction

d'un nouveau type de modulation (8PSK), de nouveaux schémas de codage et la généralisation du principe de l'adaptation de lien (link adaptation).

I.6.2.1. Principes généraux du EDGE

EDGE est issu de la constatation que, dans un système cellulaire, tous les mobiles ne disposent pas de la même qualité de transmission. Le contrôle de puissance tente de pallier ces inégalités en imposant aux mobiles favorisés une transmission moins puissante. Cela permet plutôt d'économiser les batteries des terminaux que d'augmenter les capacités de transmission. Nous verrons au chapitre suivant que, dans ces systèmes fondés sur un accès par répartition en code tel que CDMA, ce contrôle de puissance a un rôle autrement plus important.

EDGE permet à ces utilisateurs favorisés de bénéficier de transmissions plus efficaces, augmentant par conséquent le trafic moyen offert dans la cellule. En réalité, EDGE fait correspondre à chaque condition radio rencontrée le schéma de modulation et de codage ou MCS (Modulation and Codage Scheme), le plus approprié en regard de la qualité de service requise sur la liaison. Pour cela, EDGE a évidemment introduit de nouveaux MCS, en comparaison de ceux existant dans le GSM ou le GPRS. Le tableau I.1 décrit à titre d'exemple les MCS définis pour l'E-GPRS et les débits obtenus correspondants.

Schéma	Taux de codage	Modulation	Débit (Kbit/s)
MCS-9	1.0	8PSK	59,2
MCS-8	0.92		54,4
MCS-7	0.76		44,8
MCS-6	0.49		29,6 27,2
MCS-5	0.37		22,4
MCS-4	1.0	GMSK	17,6
MCS-3	0.80		14,8 13,6
MCS-2	0.66		11,2
MCS-1	0.53		8,8

Tableau I.1 Les neuf schémas de codage et de modulation d'E-GPRS **[1]**.

Les principales modifications imposées par EDGE se trouvent au niveau des stations de base qui doivent intégrer un nouvel émetteur/récepteur (une carte RETR à la place de la première carte TRX dans chaque secteur).

I.7. Conclusion :

Dans ce chapitre introductif, nous avons donné une vision globale de l'architecture générale des réseaux GSM dont on a parlé des différents sous-systèmes et leurs composants, on a parlé également des différentes interfaces liant ces composants. Parmi ces interfaces, on s'est intéressé à l'interface air dont on a parlé des différents canaux logiques échangés entre l'utilisateur et le système via cette interface, puis on a parlé brièvement de l'évolution 2G vers 2.75G et les différents composants y introduit.

Le prochaine chapitre donne une vue détaillés de l'interface air et ces caractéristiques : méthodes d'accès, la gestion des fréquences et son allocations, la notion de brouillage ainsi d'autres aspects liés à cette interface.

II.1. Introduction :

L'interface air est l'interface la plus sensible du réseau GSM vue qu'elle est influencée de plusieurs facteurs et dépend essentiellement d'une bonne planification des ressources et des fréquences. On va introduit les différents méthodes d'accès pour le partage des ressources de communication en temps et en bande passante pour augmenter la capacité d'un réseau de communication en nombre d'utilisateurs. La gestion des fréquences est le sujet principale de notre projet de fin d'études, par conséquence une vue détaillée y sera présenté.

II.2. Les méthodes d'accès FDMA, TDMA et CDMA :

Dans tout système de communication, il est fondamental de pouvoir permettre à de multiples utilisateurs de profiter du service proposé. Ainsi dans les systèmes mobiles, il est nécessaire de définir et d'optimiser la façon dont les ressources radio sont allouées entre utilisateurs. Les techniques d'accès multiple suscitent un grand intérêt pour tirer parti de la grande largeur de bande offerte par canal radio.

Les recherches menées depuis de nombreuses années permettent de distinguer plusieurs systèmes d'accès multiple :

- accès multiple en fréquence (AMRF « Accès Multiple par Répartition de Fréquences » ou FDMA « Frequency Division Multiple Access »)
- accès multiple en temps (AMRT « Accès Multiple par Répartition de Temps » ou TDMA « Time Division Multiple Access »)
- et la technique d'accès multiple la plus récente, par l'utilisation de séquences de code (AMRC ou CDMA).

II. 2.1. FDMA (AMRF : accès multiple à répartition par fréquence) :

La technique FDMA a été la première méthode développée et utilisée dans les systèmes de téléphonie analogique. En outre elle consiste à diviser la bande passante du canal en N (nombre d'utilisateurs) sous bandes de fréquences. Ses inconvénients sont : les interférences entre canaux adjacents et la complexité du système d'émission-réception.

Pour ce type d'accès multiple, une bande de fréquence est allouée à chaque utilisateur (Figure II.1). L'ensemble est juxtaposé et transmis sur un même canal de transmission. En réception, un filtre sélectif accordé sur la bande de fréquence de l'utilisateur désiré permet de récupérer les données.

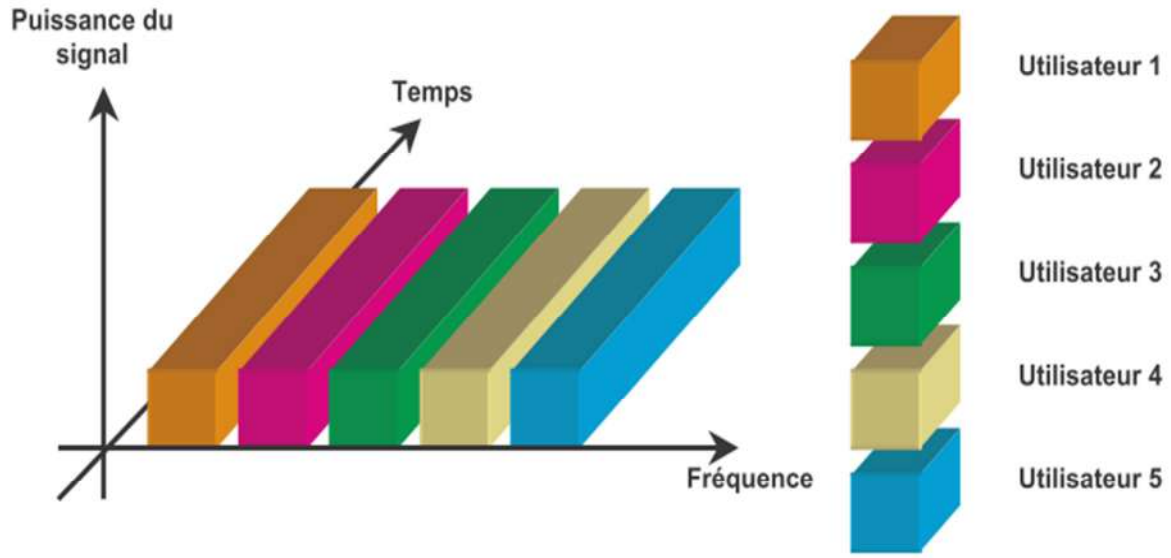
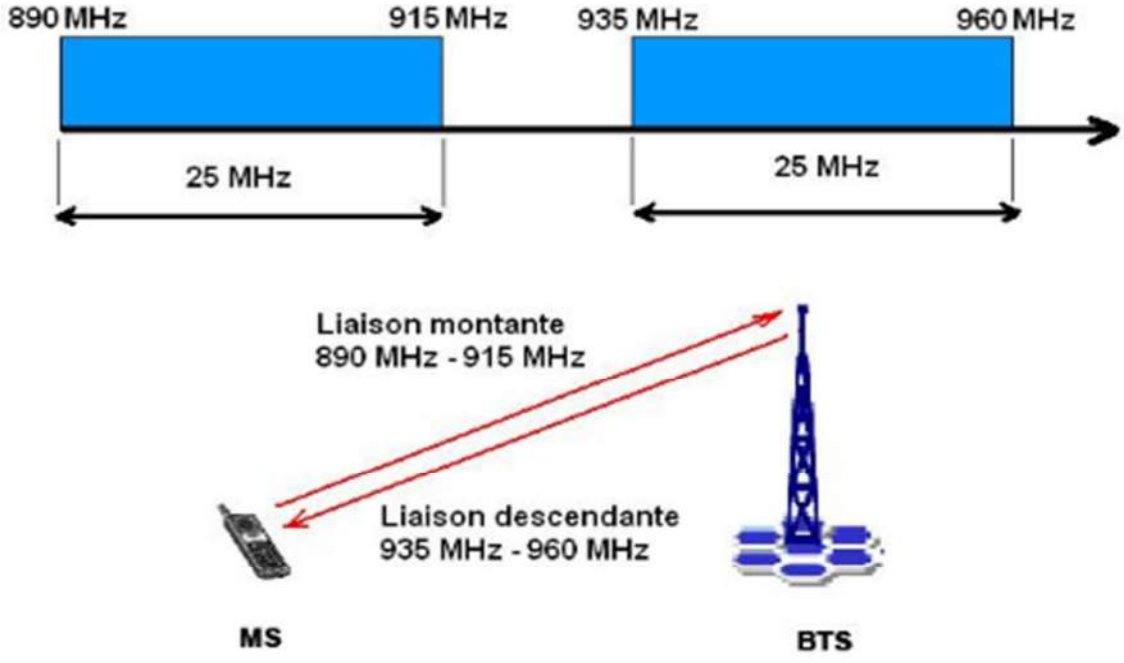


Figure I1-1 : La technique d'accès multiple FDMA **[1]**

Le GSM opère dans la bande des 900 MHz, où 2 fois **25 MHz** de bandes ont été allouées. 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 duplex. Les bandes des deux liaisons ont en outre été séparées par **20 MHz**, ce qui porte à **45 MHz** l'écart duplex. Sur une bande, on émet des signaux modulés autour d'une fréquence porteuse qui siège au centre de la bande.

· La bande **890-915 MHz** pour le sens mobile vers le réseau (*Voie montante ou Uplink*) ;



.

Figure II.2: Les bandes fréquentielles du GSM **[1]**

La bande 935-960 MHz pour le sens réseau vers mobile (*Voie descendante ou Downlink*).

On appelle écart duplex la différence entre deux fréquences correspondantes *UpLink* et *Downlink*. Pour le GSM 900, Il est constant et vaut 45 MHz.

On appelle écart adjacent la différence entre deux fréquences consécutives *UpLink* ou *Downlink*. Pour le GSM 900, Il est constant et vaut 200 KHz**.**

Chaque porteuse (canal) GSM est identifiée de manière unique par un numéro n**,** désigné par le sigle ARFCN *Absolute Radio Frequency Channel Number*, codé sur 10 bits où la fréquence de la voie descendante est exprimée en MHz**.** Pour le GSM 900, si on indique par F_u les fréquences porteuses montantes et par F_d les fréquences porteuses descendantes, les valeurs de fréquence porteuse valent:

$$\mathbf{F_u(n) = 890 + 0.2 * n} \quad \textbf{avec } \mathbf{1 \leq n \leq 124} \qquad \text{(II.1)}$$

$$\mathbf{F_d(n) = 935 + 0.2 * n} \quad \textbf{avec } \mathbf{1 \leq n \leq 124} \qquad \text{(II.2)}$$

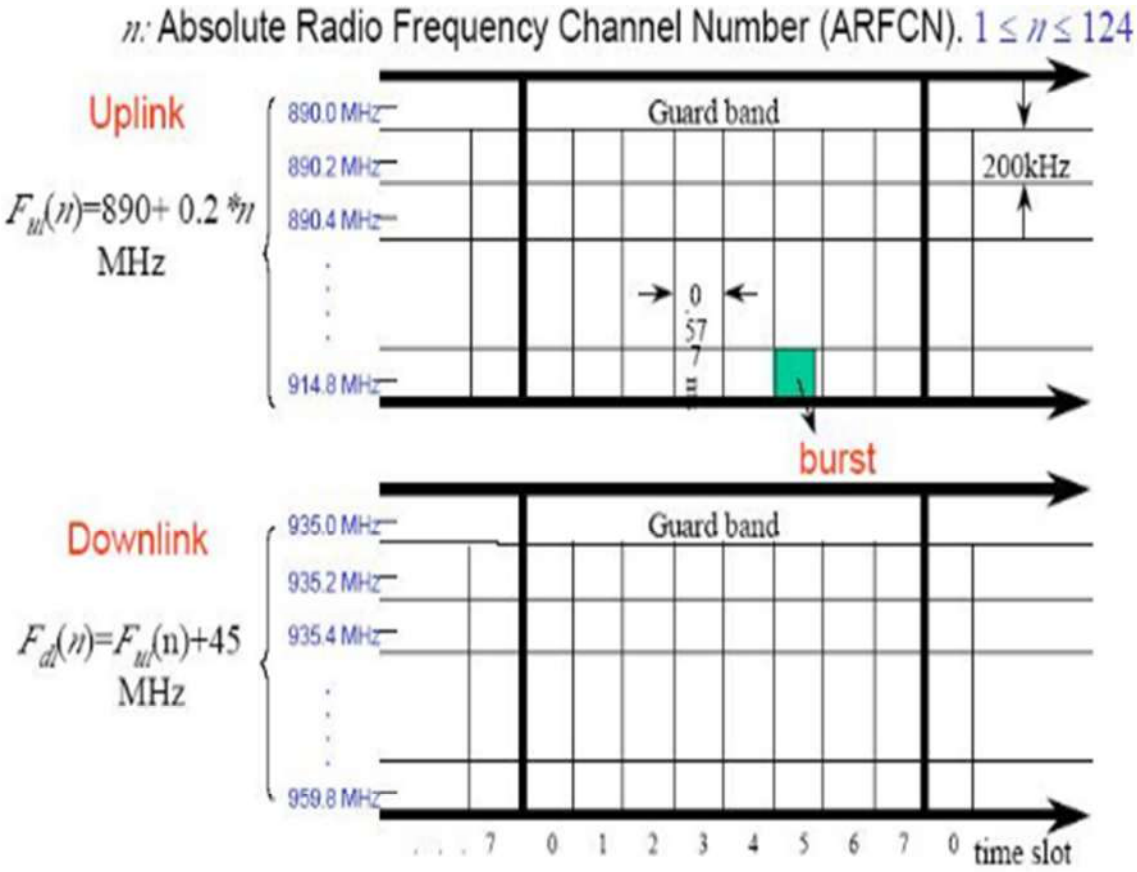


Figure II.3 : Le partage fréquentiel duplex **[1]**

II.2.2. TDMA (AMRT : accès multiple à répartition par le temps) :

La méthode TDMA est basée sur la répartition des ressources en temps. Les utilisateurs partagent la même bande passante et émettent les données à transmettre dans les différents intervalles de temps ou « slot » qui leur sont alloués dont la périodicité est définie par la durée de la trame.

Dans les systèmes TDMA, une des principales difficultés est la synchronisation. Pour éviter ce type de problème, il faut prévoir un intervalle de garde, ce qui revient à avoir une durée du time slot supérieure à la durée du burst (flux) émis.

Le récepteur effectue l'opération de démultiplexage pour récupérer les données.

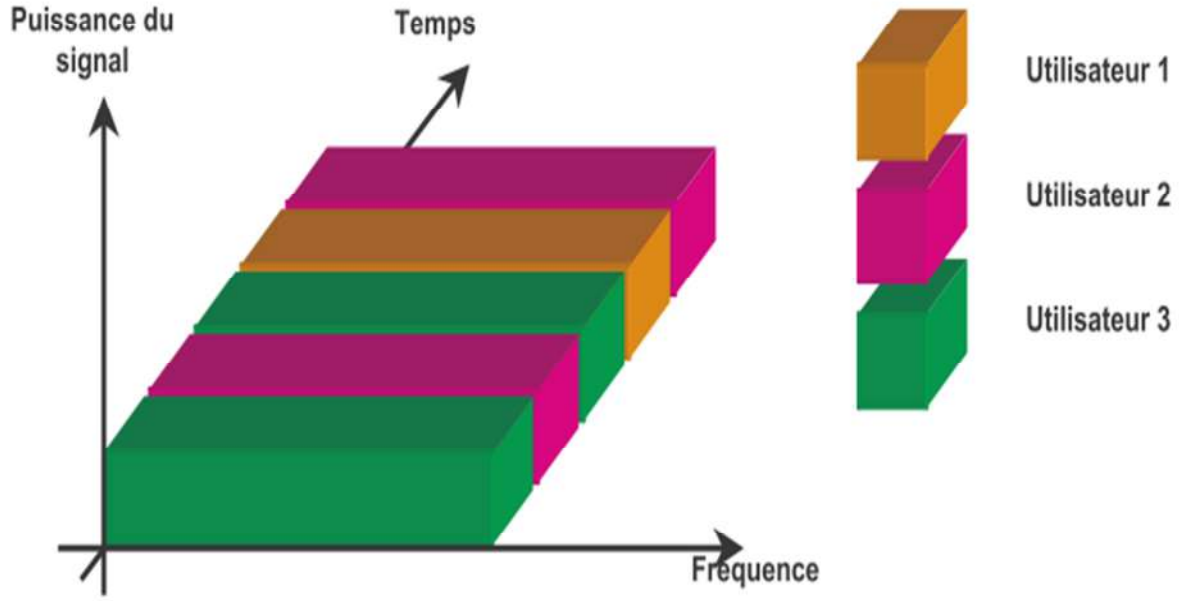


Figure I1.4 : La technique d'accès multiple TDMA **[1]**

Le multiplexage temporel consiste à diviser chaque canal de communication en 8 intervalles de temps de **0, 577 ms** chacun appelé **timeslot (TS)**.

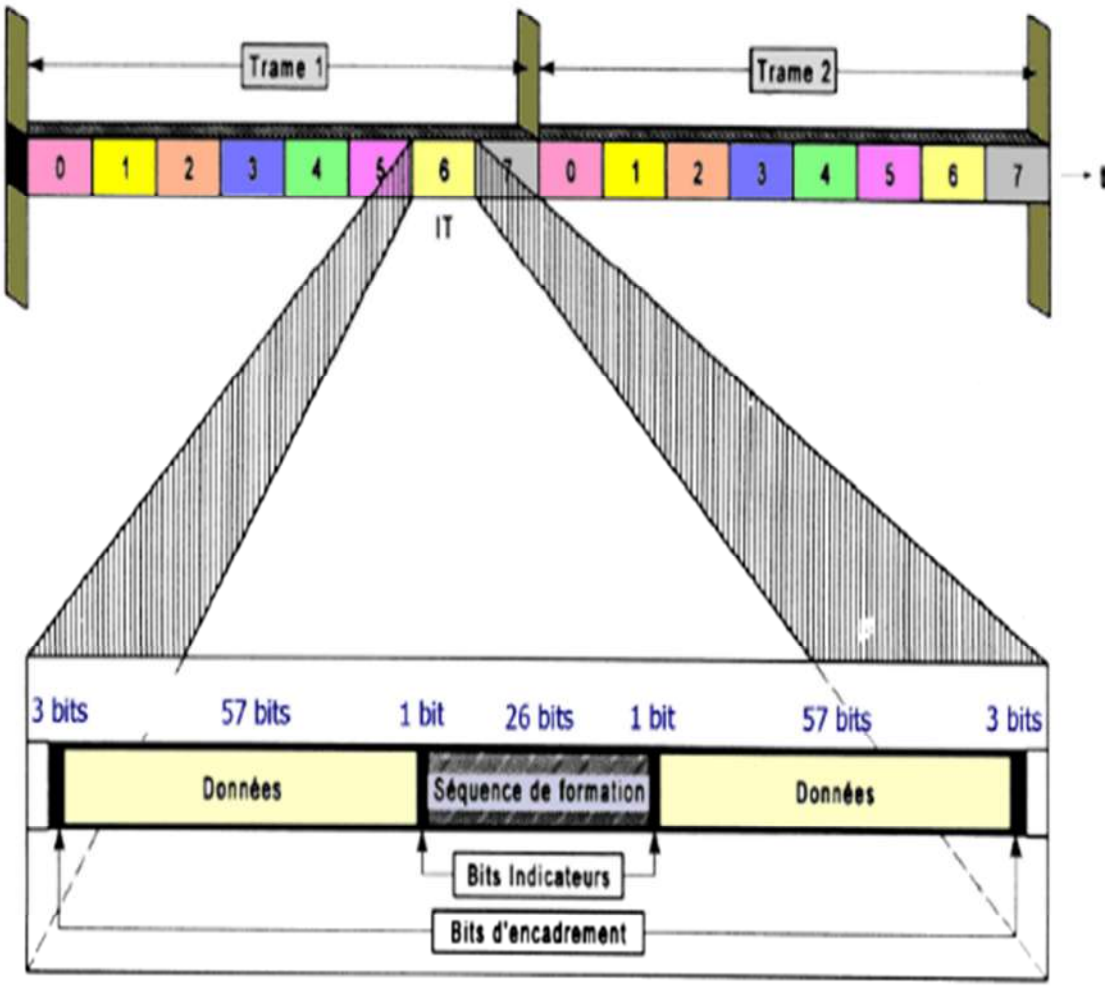


Figure II.5: Description d'un time slot **[1]**

Un mobile n'utilisera qu'un **time slot** pour une communication bien précise, on pourra ainsi faire travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence porteuse. Un *slot* accueille un élément de signal radioélectrique appelé **burst** décrit dans la **Figure I1.5**.

L'accès **TDMA**, *Time Division Multiple Access*, permet aux différents utilisateurs de partager une bande de fréquence donnée. Sur une même porteuse, les *slots* sont regroupés par paquets de 8. La durée d'une trame **TDMA** est donc :

$$\mathbf{T_{TDMA} = 8 * T_{SLOT} = 4.6152\ ms} \qquad \text{(II.3)} \quad \textbf{[1]}$$

Comme il est exclu de transmettre toutes les informations une seule fois, il faut découper l'information et la transmettre au moyen de plusieurs trames consécutives. La norme GSM prévoit une organisation spécifique de structure hiérarchique de trames.

II.2.2.1. Les structures temporelles de la multitrame à l'hypertrame

La norme GSM définit deux structures différentes de multitrame : la multitrame à 26 trames d'une durée de 120 ms et la multitrame à 51 trames d'une durée de 235.8 ms. Afin de disposer d'une structure commune à ces deux types de multitrames, on définit la supertrame composée de 26 multitrames à 51 ou de façon équivalente de 51 multitrames à 26. Sur cette structure de supertrame, on définit à nouveau une structure d'hypertrame composée de 2048 supertrames. L'ensemble est illustré à la Figure 16. La structure de supertrame est secondaire. Seules sont importantes les multitrames, permettant de définir les canaux logiques, et l'hypertrame.

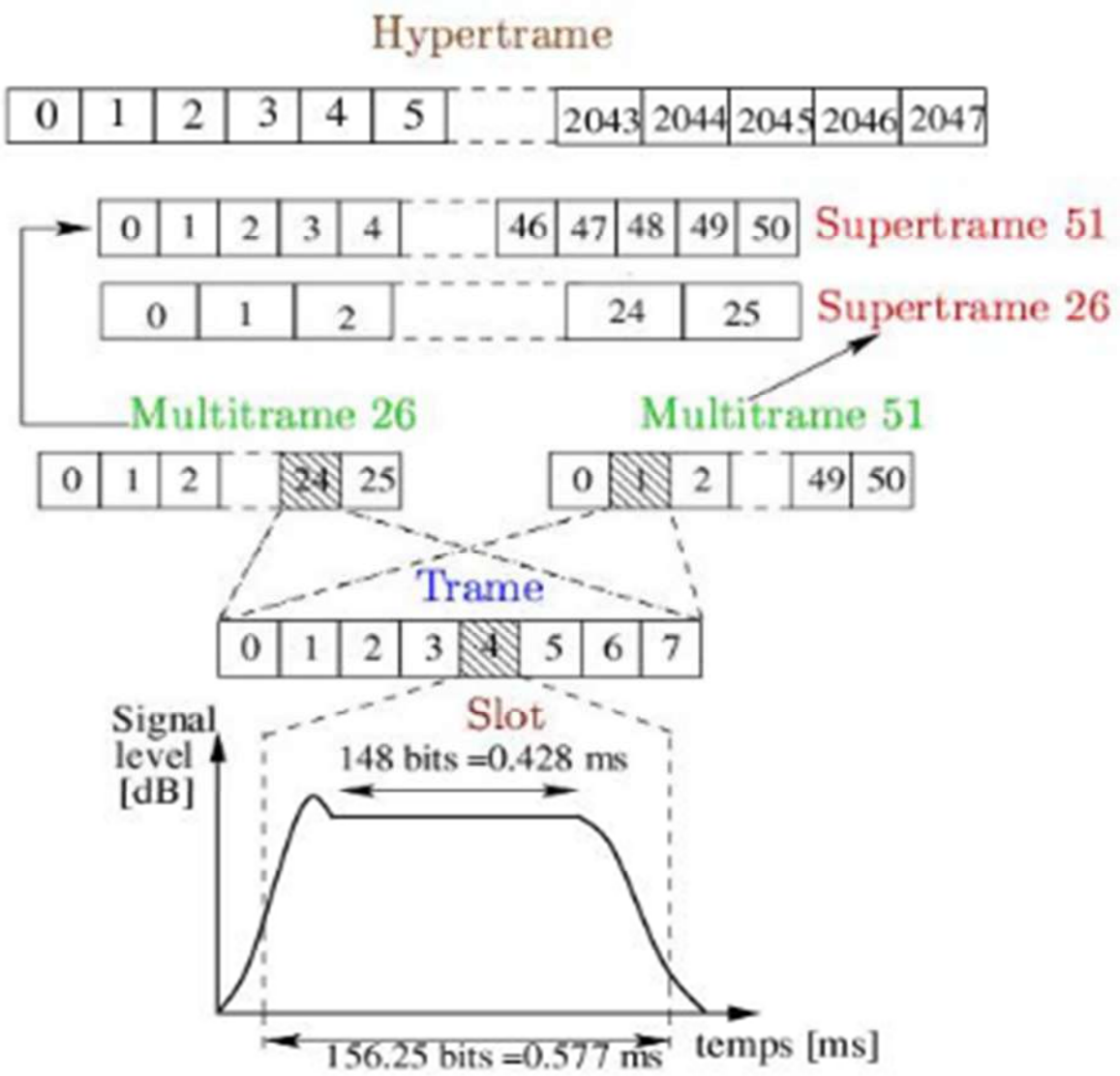


Figure II.6 : Présentation de la structure hiérarchique des multitrames **[1]**

II.2.2.2. Compensation du temps de propagation aller et retour :

Les différents utilisateurs d'un système cellulaire sont à des distances variables de leur station de base et endurent des délais de propagation variables. Or l'onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière soit c = 300 000 km/s. Cette vitesse est très élevée, mais pas infinie et les retards engendrés par la distance se font sentir sur le timing puisqu'une distance de 30 km cause un retard de 100 us.

En l'absence de la compensation du temps de propagation aller et retour, deux mobiles situés à des distances différentes de la BTS et qui émettent consécutivement sur la même trame TDMA voient leurs slots se chevaucher. On introduit dont en plus de la bande de garde un paramètre de compensation appelé « avance de temps » TA, Timing Advance, correspondant au temps de propagation aller et retour. Le mobile éloigné doit avancer l'émission de chacun de ses slots d'une durée ôp par rapport à l'instant nominal de début de slot.

Le Timing Advance est donc une estimation de la distance entre le mobile et la station de base. Par convention la distance en mètres (m) qui en découle est donnée par la relation ci-dessous

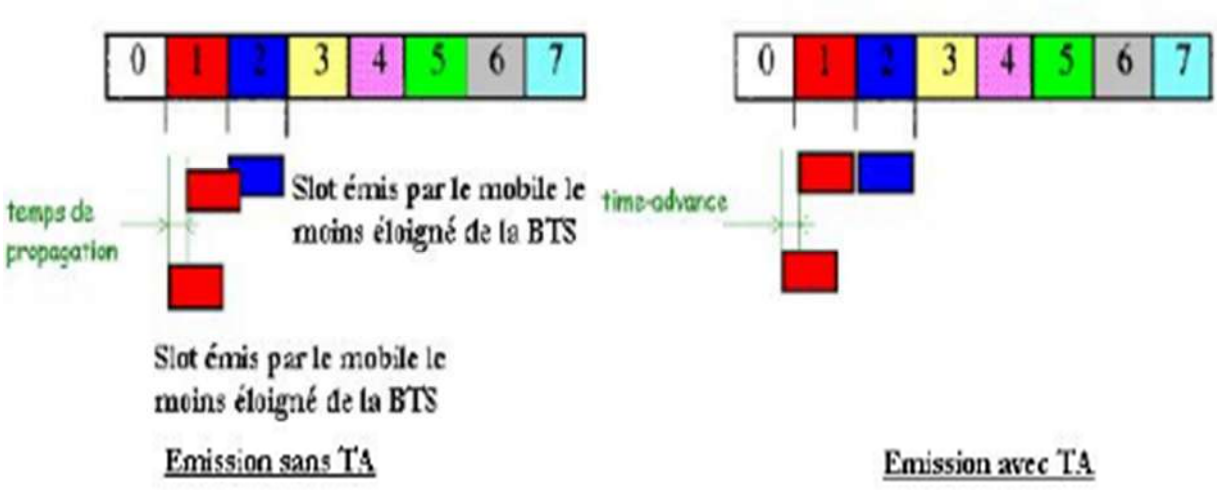


Figure II.7: L'importance du Timing Advance **[24]**

$$D = (TA+1/2) * d_{TA} \qquad \text{(II.4)} \quad \textbf{[1]}$$

Où

$$d_{TA} = 1/2 * 3.69*10^{-6} * C \qquad \text{(II.5)} \quad \textbf{[1]}$$

étant donné que $C = 3*10^{-8}$ m/s et Les 3.69 us représentant la période d'un symbole, cela va donner D = 554 m.

II.2.3. CDMA (AMRC : accès multiple à répartition par code) :

Le premier système CDMA, issu des États-Unis (standard IS-95), est une technique large bande dans laquelle le spectre radiofréquence est partagé en canaux qui ont à peu près 1,23 MHz de large. Les canaux de trafic sont obtenus en assignant à chaque usager un code unique à l'intérieur de ce canal. Chaque signal d'usager est ensuite étalé sur toute la largeur du canal pour être transmis.

Une des particularités du système CDMA est que, bien qu'il y ait naturellement des limites à la capacité de trafic d'un canal donné, cette limite n'est pas fixe. La capacité du système va dépendre de plusieurs facteurs que l'opérateur du réseau peut contrôler.

Avec la méthode CDMA (Figure II.8), tous les utilisateurs ont accès simultanément à la totalité de la bande du canal de communication, ils sont distingués à la réception grâce à des codes distincts pour chacun d'entre eux.

Le principe est le suivant : à chaque utilisateur correspond une clé (ou code) à l'aide de laquelle son message est codé avant d'être émis. Chaque code d'un utilisateur est orthogonal aux restes de codes liés aux autres utilisateurs Dans ce cas pour écouter l'utilisateur N le récepteur n'a qu'à multiplier le signal reçu par le code N associé à cet utilisateur.

Cette technique permet de multiplexer des informations sur un seul support de manière synchrone ou asynchrone.

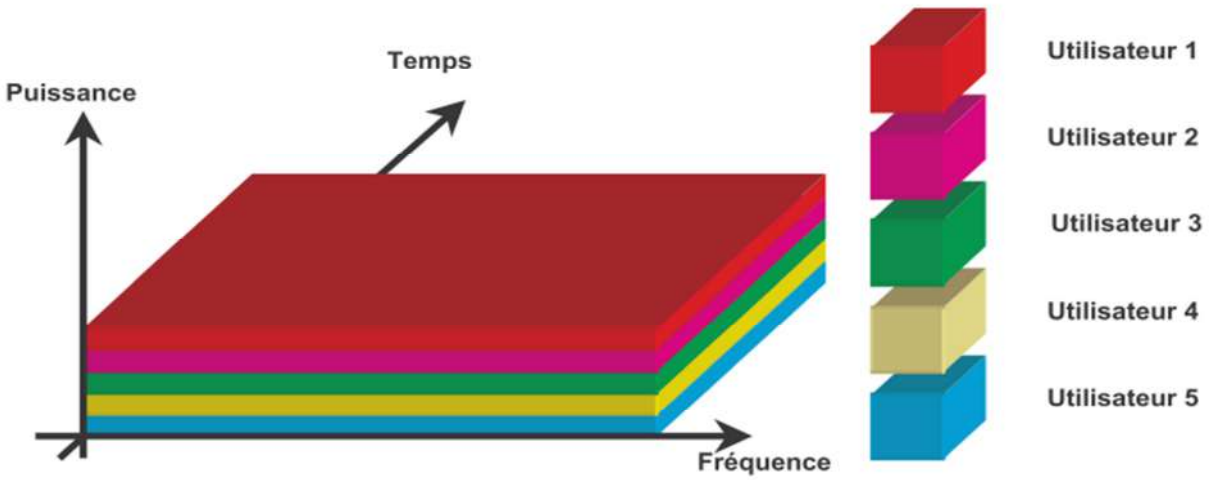


Figure II.8 : La technique d'accès multiple CDMA **[1]**

II.3. Gestion des fréquences :

II.3.1. Principe de réutilisation des ressources

Les ondes radioélectriques sont aujourd'hui le seul moyen que l'on ait trouvé pour rendre possible les communications mobiles. Malheureusement, le spectre radioélectrique est une ressource limitée, déjà largement sollicitée par ailleurs. Le concept de motif cellulaire a donc été introduit pour permettre la réutilisation d'une même fréquence dans des endroits différents.

Le principe de la réutilisation des fréquences repose sur l'atténuation que subissent les ondes radio lorsqu'elles se propagent dans l'atmosphère. Lorsqu'on se trouve assez loin d'un émetteur, le signal envoyé par celui-ci est très faible. On peut alors utiliser la même fréquence que l'émetteur lointain sans crainte d'interférences, le signal local étant beaucoup plus puissant que le signal lointain.

Le GSM utilise donc un réseau maillé, formé d'émetteurs disséminés sur la zone à couvrir. Deux émetteurs voisins utilisent des fréquences différentes, mais des émetteurs éloignés réutilisent les mêmes fréquences selon le principe énoncé plus haut. En pratique, le terrain est "découpé" en petites zones, appelées cellules, caractérisées chacune par une fréquence précise. On réunit un certain nombre de cellules utilisant des fréquences différentes pour former un motif. On répète alors ce motif pour couvrir tout le territoire, permettant ainsi à partir d'un nombre de fréquences limité de mettre en place un grand nombre d'émetteurs.

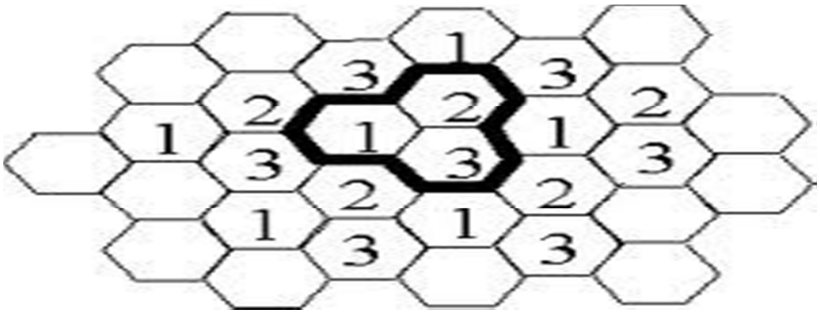


Figure II.9 : Exemple de motif à 3 cellules **[2]**

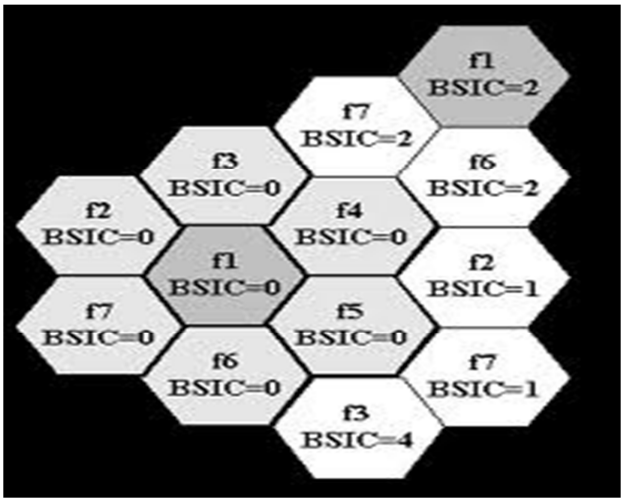


Figure II.10 : Exemple de motif à 7 cellules **[2]**

II.3.2. Saut de fréquence : « Frequency Hopping »

La technique de saut de fréquence introduit une diversité des brouilleurs et de fading rapide. Elle permet ainsi de réduire le taux de coupure d'appels et d'améliorer la qualité des communications. La figure suivante représente les deux types de saut de fréquence utilisés dans les réseaux cellulaires de type GSM. Le saut de fréquence cyclique donne de meilleures performances quand le nombre de fréquences de saut est faible. Il permet de lutter contre les évanouissements sélectifs (diversité de fréquence) et apporte une gestion différente en moyennant le niveau d'interférence global sur toutes les porteuses (diversité des brouilleurs).

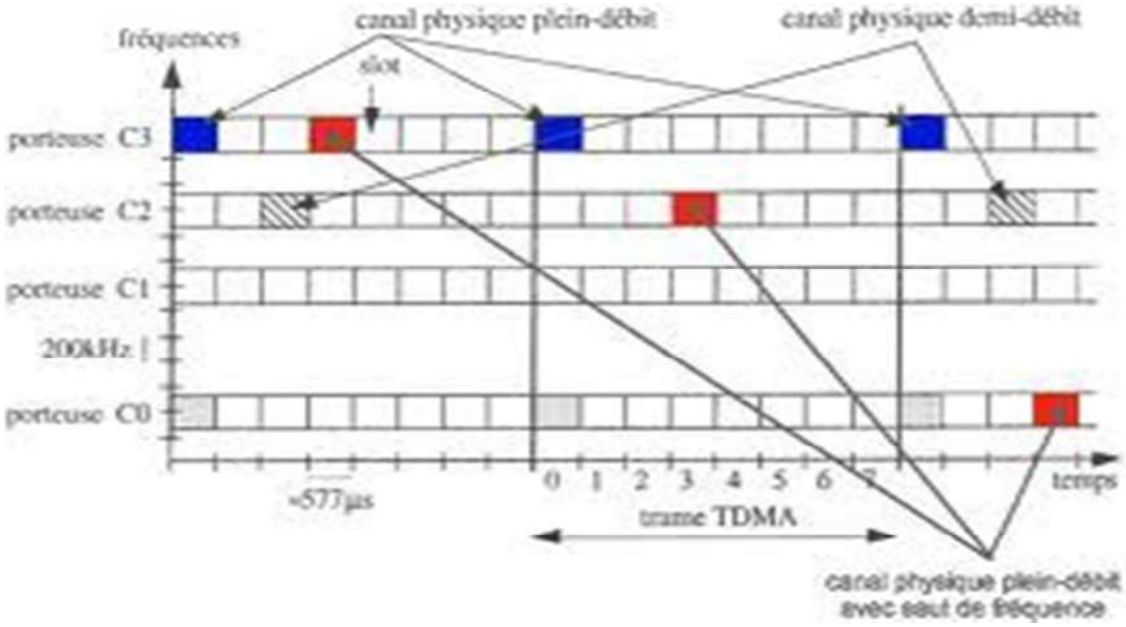


Figure II.11 : Saut de fréquence **[2]**

En changeant de fréquence à chaque émission de burst ou de message, le mobile est brouillé par des mobiles différents à chaque émission. Ainsi, le pire des cas peut toujours se produire mais seulement de temps en temps. Grâce à l'efficacité du codage et de l'entrelacement, le signal peut être correctement reçu même si le C/I de certains échantillons est inférieur au seuil de la communication. Dans la figure ci-dessus, le signal venant de A est interféré par M, N et O. Mais le fait que le C/I moyen soit supérieur au seuil de la communication fait que la communication n'est pas brouillé. Ensuite, on numérote les fréquences de saut de 0 à N-1 et un algorithme, défini dans la norme, génère une suite pseudo-aléatoire de nombres (si) avec 0 <= si <= N-1. Il utilise comme argument le numéro de trame FN (Frame Number), chaque trame TDMA étant repérée par ce compteur dans l'hypertrame, et un paramètre HSN (Hopping Sequence Number) compris lui aussi entre 0 et 63. La BTS précise au mobile un index MAIO (Mobile Allocation Index Offset) compris entre 0 et N-1 lors de l'allocation d'un canal. Le mobile peut alors déterminer la fréquence à utiliser en ajoutant (modulo N) l'index MAIO au nombre si. Le nombre N de fréquences à prendre en compte est précisé pour chaque numéro de slots.

En combinant la technique TDMA et la technique du saut de fréquence FH, on obtient la méthode de base d'accès du GSM : FH/TDMA. Le saut de fréquence n'est pas activé lorsque la charge du réseau est faible mais lorsque le SFH est actif, le canal physique utilise un ensemble de porteuses parcourues selon une séquence de saut. Cette séquence peut être cyclique ou pseudo-aléatoire, et elle est définie sur un ensemble de N (<=64) fréquences attribuées à la BTS. Le saut de fréquence n'est possible qu'au sein d'une même bande, il n'y a pas pour l'instant de combinaisons de fréquences entre GSM 900 et DCS 1800.

Il existe principalement trois types de saut de fréquence :

- Le NH, NoHopping : sans saut de fréquence pour le canal BCCH ;
- Le BBH, Base Band Hopping : saut de fréquences en bande de base ;
- Le SFH, Synthetisized Frequency Hopping ;

II.3.2.1. Le NH, NoHopping :

Le NH, Nohopping, c'est-à-dire sans saut de fréquences est principalement caractérisé par :

- Le nombre de TRE est égal au nombre de fréquences qui sont utilisées sur la cellule;
- Pour des cellules du même site les fréquences utilisées sont décalées d'au moins deux canaux. Ce qui correspond à un écart en fréquence de 400 KHz.
- Pour deux cellules adjacentes les fréquences utilisées sont décalées d'au moins un canal, soit d'au moins 200KHz, mais aussi il faudrait que la différence de niveaux de champs soit d'au moins 9dB pour éviter des interférences.

- En co-canal les cellules ont les mêmes fréquences. Mais il faudrait s'assurer que la différence des niveaux de champ des cellules soit d' moins de 12dB.

II.3.2.2. Le BBH, Base Band Hopping

Le principe du saut en bande de base est le suivant :

- Pour le saut de fréquence en bande de base, les règles de choix de fréquence en NH sont appliquées et sont ajoutés les nouveaux critères ci dessous.
- Il peut être implémenté lorsque le nombre de TRX est supérieur ou égal à trois.
- On saute sur un nombre fini de fréquences égal au nombre de TRX de la cellule.
- Le saut est conditionné par le **HSN**, *Hopping Sequence Number*, il peut être définit comme une séquence pseudo aléatoire permettant d'éviter les interférences co canal ; c'est un nombre entier inférieur à 64.
- Le saut s'effectue sur tous les TS sauf le TS0 du TRX1.

II.3.2.3. Le SFH Synthetisized Frequency Hopping :

SFH est l'abréviation anglaise de Synthesized ou slow Frequency Hopping, littéralement saut de fréquence synthétique, utilisé dans un réseau GSM.

C'est une technologie GSM de saut de fréquence appliquée au TCH, canal logique de transfert de données (voix). Le saut de fréquence est obtenu en appliquant automatiquement une fréquence propre à chaque burst (unité de signal) du TCH.

Lorsque le SFH est activé sur une cellule les règles ci-dessous sont appliquées :

- D'abord toutes les règles du NH ;
- Il peut être implémenté lorsque le nombre de TRX est supérieur ou égal à 2.
- Toutes les cellules du même site ont le même HSN ;
- Tous les TRX différents du TRX1 sautent dans la même plage de fréquence appelée la MALIST ; La **MALIST**, *Mobile Allocated List*, qui est un ensemble de fréquences de la bande allouée à l'opérateur sur lesquelles seront effectués les sauts.
- Entre deux secteurs du même site pour des TRX de même rang le **MAIO**, *Mobile Allocated Index Offset*, est écarté de deux ; Dans le cas où le nombre maximal de TRX par secteur est 4, alors le MAIO de deux TRX du même secteur est écarté au moins de 6 ou d'un multiple non nul de 6.
- Le MAIO est un nombre pair strictement inférieur à la taille de la MALIST ; c'est un offset qui permet de gérer le saut de fréquence sur une cellule ; il peut être considérer comme un indexe qui pointe sur une fréquence de la MALIST ;

Le canal physique alloué au mobile, conserve son espace temporel tout en changeant suivant une loi aléatoire, la fréquence porteuse sur laquelle il est définit. Cette agilité s'érige en difficulté pour le brouillage d'ondes connues par des réseaux implémentant le saut de fréquence. En effet, le brouilleur devra s'accrocher à toutes les fréquences utilisées par un

canal physique en activité et sachant la MAList grande, cette tâche sera davantage complexe. Le moyen que nous jugeons assez efficace est celui qui empêcherait l'établissement d'appel par blocage de la phase d'allocation des ressources qui se fait sur le canal BCCH, en amont de la phase d'appel. Cette procédure définit ainsi les fondements de la mise en œuvre de l'organigramme de fonctionnement du brouilleur **[1]**.

II.4. Affectation de fréquences

Un opérateur de réseau cellulaire dispose de ressources fréquentielles pour assurer la liaison entre les utilisateurs el l'infrastructure. La bande de fréquence allouée au réseau a une largeur limitée qui nécessite son partage entre les différents sites du réseau. Deux modes de partage sont possibles. Ils dépendent du type d'accès multiple utilise du système utilise pour le réseau : soit un partage en sous-bandes de fréquences (AMRF, qui peut être combine à la technique AMRT), soit un partage en codes pour les systèmes de type AMRC. Dans le premier cas, le planificateur devra dérouler le processus d'affectation des fréquences qui est présenté dans le paragraphe suivant **[1]**.

II.4.1. Processus el algorithmes d'affectation de fréquences

Les objectifs du processus d'affectation de fréquences est d'assurer une demande de ressources fréquentielle pour les cellules de la zone de service sous deux contraintes principal:

- Minimisation du nombre de fréquences utilisées ou plus précisément, limitation de ce nombre de fréquences allouées à l'opérateur pour couvrir la zone considérée (par exemple, si l'opérateur dispose de 62 fréquences pour la zone, il s'agit de réaliser un plan qui n'utilise pas plus de 62 fréquences).
- Maximiser le niveau de C/I (c'est-à-dire la qualité de service offerte aux abonnes) ou plus précisément respecter un seuil minimum pour le rapport C/I.

L'affectation des fréquences a constitué pendant longtemps un problème majeur dans la planification des réseaux radio mobiles. En effet, un bon plan de fréquences conditionne les performances (en termes de capacité) et la qualité des communications dans le réseau. Il est aujourd'hui bien maîtrisé dans le sens où des solutions opérationnelles sont couramment utilisées pour le résoudre. Toutefois, les difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre d'un plan de fréquences sont :

- La précision des données utilisées,
- la quantité d'information à traiter.
- l'évolution rapide du réseau.
- les contraintes opérationnelles.

Rappelons tout d'abord les différents types de méthodes d'allocation de fréquences :

1. **Allocation fixe des canaux** (Fixed Channel Allocation ou FCA) les fréquences sont allouées de façon invariable à chaque cellule du réseau et de façon à respecter les contraintes de réutilisation. L'inconvénient de cette méthode est que lorsque tous les canaux d'une cellule sont occupés, les nouveaux appels sont bloqués.

2. **L'allocation dynamique des canaux** (Dynamic Channel Allocation ou DCA) permet une répartition dynamique des canaux entre les cellules. Tous les canaux du réseau sont ainsi disponibles pour l'ensemble des cellules du réseau. Les fréquences sont attribuées aux cellules à la demande (c'est-à-dire lorsqu'un appel se produit) et si les contraintes d'interférences sont respectées. Cette technique permet une meilleure gestion des pointes de trafic locales et temporaires du trafic mais donne de mauvais résultats dans le cas où le réseau est fortement chargé, auquel cas. c'est la méthode d'allocation fixe qui donne les meilleurs résultats

3. **L'allocation hybride des canaux** (Hybrid Channel Allocation ou HCA) combine les avantages de l'allocation fixe, plus efficace à forte charge, et l'allocation dynamique, plus flexible. Une partie du spectre est allouée de manière fixe et l'autre partie est allouée de manière dynamique. Par exemple, des fréquences sont allouées aux cellules de façon invariable, comme dans le cas de la méthode d'allocation fixe, et les autres sont disponibles à la demande, comme dans le cas de la méthode d'allocation dynamique.

La méthode DCA est utilisée dans les systèmes sans fil pour lesquels une planification fixe serait trop complexe compte tenu de la contrainte de flexibilité de ces systèmes. Dans les réseaux cellulaires de type GSM. IS 136 ou PDC, basés sur les techniques d'accès multiples AMRF/AMRT, et les réseaux cellulaires de première génération tels que l'AMPS, le NMT ou le TACS si le saut de fréquence n'est pas activé, la technique utilisée est le FÇA. L'affectation des fréquences va nécessiter la prise en compte de contraintes d'interférences et donc de rapports C/I. Pour commencer, nous définissons la notion de rapports de protection.

Pour pouvoir affecter une fréquence à une cellule, il faut s'assurer que le niveau d'interférences n'est pas trop élevé, c'est-à-dire que le rapport signal sur interférence (C/I) est supérieur à un seuil appelé rapport de protection. Il existe plusieurs rapports de protection selon que le canal brouilleur est co-canal, le premier canal adjacent, deuxième canal adjacent... En notant Ia: le niveau d'interférence reçue sur une fréquence f0 et due à une émission sur la fréquence fi et Ic le niveau d'interférence co-canal, le rapport C/la: devra être supérieur à un seuil qui est fonction du rapport C/Ic. Le rapport de suppression sur le canal adjacent (ACS : Adjacent Channel Suppression) est ainsi défini par Ia/Ic. Dans le cas du GSM, les rapports de protections typiques sont reproduits dans le tableau suivant.

Interférence co-canal (f0)	*C/Ic*	*9 dB*	Ia/Ic
Interférence sur le premier canal adjacent (f,± 200 kHz)	C/la	*-9dB*	ACS, = -18 dB
Interférence sur le deuxième canal adjacent (f0: 400 Ul/)	C/la	*-41 dB*	ACS, = -50 dB
Interférence sur le troisième canal adjacent (f0 + 600 kll/)	C/la	*- 49dB*	ACS, = -58 dB

Tableau II.1 : Seuil d'interférence C/I **[1]**

La première tâche du planificateur de fréquences va consister à confectionner une matrice d'interférence. Celle-ci est couramment obtenue grâce a l'outil de planification qui va permettre de déterminer les rapports C/I au niveau de chaque point (ou maille) du site cellulaire et pour un taux de couverture fixe (95% par exemple).

Le processus d'obtention de cette matrice d'interférence commence par le calcul d'un histogramme des valeurs de C/la (où C est le niveau de signal de la cellule ; et représente le niveau d'interférence créé par la cellule j dans la cellule i.

L'histogramme de la figure suivante indique pour chaque marge (Ci/Iij)1 (Ci/Iij)2 de C/lij le nombre de mailles (ou de mètres carrés par exemple) correspondantes de la cellule i où le niveau de C/I est compris dans cette marge.

A partir de l'histogramme du nombre de mailles, le nombre total de mailles pour lesquelles le seuil de compatibilité C/I pour un co-canal ou pour un canal adjacent (voir les rapports de protection) n'est pas satisfait est déterminé, et ce. Pour chaque couple de cellules i et j. Compte tenu de l'importance du nombre de mailles pour lesquelles le niveau de C/I est inférieur au seuil considéré, la séparation en nombre de canaux entre les fréquences allouées aux BTS i et j sera déterminée de façon à minimiser les brouillages des fréquences utilisées dans la cellule j sur les fréquences utilisées dans la cellule i

La dernière étape du processus va consister à déterminer la matrice d'interférences également appelée matrice de réutilisation ou encore matrice de compatibilité, en prenant en compte les contraintes supplémentaires suivantes : une séparation de trois canaux minimum

pour les fréquences situées dans la même cellule et une séparation de deux canaux minimum pour les fréquences situées sur le même site.

Le résultat est représenté par la matrice d'interférence type du tableau, où (αn représente l'espacement nécessaire en nombre de porteuses entre les porteuses utilisées dans les cellules i et j. Nous présentons ci-après une modélisation du problème d'affectation de fréquences. Soit le réseau constitué par n cellules C1, ……Cn. Les caractéristiques du réseau sont les suivantes chaque cellule i a une demande en trafic correspondant à m porteuses

Pour chaque couple C1Ci une séparation minimum de porteuses allouées à C1, et Cn doit être respectée pour le fonctionnement correct (en termes de brouillage). Cette séparation est notée αn et est indiquée dans la matrice de compatibilité

Céllules	C1	C2	……	Ci	……	Cn
C1	α_{11}	α_{12}		α_{1i}		α_{1n}
C2	α_{21}	α_{22}				
……			……			
Ci	α_{2i}			α_{ii}		α_{ni}
……					……	
Cn	α_{2n}			α_{in}		α_{nn}

Tableau II.2 : Séparation minimum de porteuse **[1]**

À chaque cellule Ci correspond un ensemble Ai de fréquences disponibles et un ensemble Bi de fréquences interdites. Les fréquences allouables à une cellule sont espacées et de la forme : $f=f_0+K\Delta f$ avec K est un entier positif, f et K doivent donc être déterminés simultanément pour chaque cellule en fonction de la matrice de compatibilité. Ainsi.αn est un entier positif et Ai, et Bi sont des ensembles d'entiers positifs.

II.4.2. Allocation de fréquences manuelle

Le motif de réutilisation déjà cité, suppose un partage du spectre en groupes de fréquences prédéfinies disjoints et de même dimension. Ces groupes de fréquences sont ensuite affectés à des groupes de cellules (appelés motifs) organisés régulièrement. L'affectation des fréquences aux groupes de cellules se répète de façon identique d'un motif à l'autre. Un schéma directeur est utilisé comme base de développement de cette approche. Dans ce cas de figure, il est possible de réaliser une affectation de fréquences manuellement. Il faut pour cela que :

- le réseau soit régulier (position des BTS organisées selon un motif hexagonal).
- La demande en trafic soit homogène.
- le réseau soit basé sur l'utilisation d'un motif de réutilisation régulier (4/12. 3/9...).

Les avantages de cette méthode manuelle sont les suivants :- facilité de réalisation.- pas de nécessité de base de données numérique. pas de nécessité de modèle de propagation. Cette

technique peut être utilisée lors des phases initiales de la vie du réseau lorsque le nombre de fréquences par km2 est faible et les cellules de grande taille de façon à ce que le niveau d'interférence soit négligeable.

II.4.3. Allocation de fréquence automatique

Les contraintes du terrain (charge en trafic, organisation des sites, conditions de propagation...) ne permettent que difficilement d'adopter l'approche mettant en œuvre des motifs réguliers. Dans ce cas des nombres variables de fréquences sont affectés aux cellules du réseau. Il faut disposer d'un modèle de prédiction de propagation et d'un module de planification des fréquences automatique (AFP) qui soient performants. Les approches théoriques (modèles hexagonaux) ne conviennent pas aux cas pratiques et l'allocation manuelle ne peut donc être utilisée pour des tailles de réseau importantes. En effet :

- les sites des BTS ne sont pas nécessairement organisés selon des motifs réguliers.
- les conditions de propagation sont très irrégulières.
- la densité de trafic diffère d'une cellule à l'autre.
- les contraintes d'environnement limitent l'utilisation de certaines fréquences (cas des réseaux voisins en frontière de pays).

Le planificateur a donc recours à des outils d'allocation de fréquences automatiques. Pour pouvoir réaliser celle opération, il dispose des données d'entrée suivantes qui ont été obtenues aux étapes précédentes (positionnement des sites et bilan de liaison) :

- Coordonnées X. Y et Z de chaque site.
- Azimuts, hauteur par rapport au sol et PIRE des antennes (La puissance isotropique radiée équivalente).
- Modèle de propagation calibré pour chaque sous-zone de la zone de couverture.

L'affectation de fréquences est un problème dont la taille est très grande Par exemple, pour un réseau réel, le nombre de configurations possibles atteint la valeur de 10exp5000 (pour 1000 BTS, avec 4 000 TRX) et de 10exp20000 (pour 3 000 BTS. avec 1 200 TRX).

Le problème d'affectation de fréquences est un problème de type NP-complet qui ne peut être résolu en un nombre polynomial d'opérations. La taille du problème augmentant de façon non linéaire avec le nombre de BTS, il ne peut être résolu par une recherche exhaustive explorant toutes les solutions afin de trouver la meilleure. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'avoir recours à des algorithmes heuristiques qui recherchent un optima local eu un temps polynomial.

Ainsi, les méthodes d'affectation automatiques de fréquences sont basées sur des algorithmes heuristiques qui n'assuraient pas l'optimalité de la solution mais peuvent aboutir à une solution sous-optimale.

Il existe plusieurs familles d'algorithmes heuristiques:

- les algorithmes instructifs (algorithmes gloutons).
- les algorithmes de recherche locale (descente de gradient, recuit simulé, recherche par tabou...).
- les algorithmes évolutifs (algorithmes génétiques, algorithmes fourmis, etc.).
- les algorithmes hybrides (qui utilisent des heuristiques dans les algorithmes évolutifs).

Certains opérateurs et outils de planification mettent en œuvre des algorithmes d'affectation de fréquences basés sur le recuit simulé et sur les algorithmes génétiques**[2]**.

II.5. Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons donné une présentation détaillée sur les différents aspects liés à l'interface Radio et l'affectation des fréquences.

Vu que le processus de planification se répète le long du cycle de vie du réseau, les plans de fréquences pourront être modifiés sans cesse au cours de la vie d'un réseau cellulaire d'où la délicatesse du problème d'affectation de fréquence. Dans les systèmes à réutilisation de fréquences, l'approche traditionnelle de la planification est basée sur la reproduction de motifs réguliers de taille homogène. Toutefois cette approche n'est plus valable pour les réseaux actuels qui doivent écouler un trafic de plus en plus dense et variable.

Ainsi les nouvelles méthodes d'affectations de fréquence n'obéiront plus aux conditions régulières adoptées théoriquement et donc elles seront plus complexes. Il s'agit des méthodes métaheuristiques qu'on va les détailler dans le prochain chapitre en se concentrant sur les algorithmes hybrides.

III.1. Introduction :

Le problème de l'allocation des fréquences **FAP** (**F**requency **A**ssignment **P**roblem) est l'une des applications-clé pour les réseaux radio mobiles. Bien qu'il existe plusieurs versions du problème, l'essentiel c'est l'assignation d'une ou plusieurs fréquences pour chaque cellule du réseau.

La difficulté du problème résulte du fait qu'une solution acceptable doit satisfaire des contraintes multiples, la plupart des fois contradictoires. L'une des contraintes les plus sévères c'est le nombre restreint de fréquences (canaux) disponibles pour l'allocation (le spectre radio étant une ressource très limitée). En plus, il y a aussi des contraintes liées à l'interférence entre les fréquences, qui imposent que les fréquences allouées à certaines stations respectent une distance de séparation donnée dans le domaine des fréquences. D'autres contraintes, telles que la pré–assignation, à diverses cellules, de fréquences pour l'administration du réseau, augmentent la complexité du problème. C'est un problème NP-difficile pour qui on ne connaît pas un algorithme exact polynomial c'est-à-dire dont le temps de calcul est proportionnel à N^n, où N désigne le nombre de paramètres inconnus du problème et n une constante entière **[3]**.

Dans ce chapitre, nous proposons une modélisation du problème d'affectation de fréquences dans le réseau GSM non régulier, nous allons s'intéresser à la présentation, l'application et l'interprétation des résultats d'une heuristique parmi les mieux réputées par son efficacité à notre problème d'affectation de fréquence, il s'agit de l'algorithme génétique. Nous allons constater que le point faible de l'algorithme génétique est sa méthode de recherche par saut. Cette méthode est assez lente lorsqu'il s'agit d'un espace de recherche contraint. En plus, pour évoluer vers une meilleure solution, il faut attendre chaque fois la reproduction d'une génération. En plus, si on tire au hasard (ou bien suite à des procédures de reproduction), une population ayant les mêmes caractéristiques l'algorithme se bloque dans un minimum local.

Pour remédier à ce problème, l'idée est de combiner l'algorithme génétique avec l'algorithme de la recherche tabou. Cette hybridation conduit à une nouvelle génération d'algorithmes appelée couramment algorithme mémétique.

III.2. Modélisation du Problème d'Affectation de Fréquences :

Le problème d'affectation de fréquence se présente selon plusieurs versions. Pour notre cas, la bande de fréquence à utiliser est bien fixe : 42 →84. De plus, nous avons opté pour l'allocation fixe de fréquences puisqu'elle donne de meilleures performances pour des systèmes à forte charge. Nous avons encore intégré le trafic dans notre optimisation et ce pour privilégier les cellules à fort trafic au détriment des cellules à faible trafic. Etant donné que le problème d'affectation de fréquences (FAP) présente plusieurs versions, notre problème se réduit à la version **MI-CAP : M**inimum **I**nterference fixed **C**hannel **A**ssignment **P**roblem : Etant donné un nombre fixe de fréquences, le nombre de cellules à considérer, la demande en trafic et la matrice de séparation, on va minimiser la sévérité de l'interférence **[4]**.

Nous optons pour une modélisation unique valable pour toutes les méthodes d'optimisation utilisées. Ceci confère une comparaison équitable de leurs performances.
Cette modélisation permet une représentation convenable de la solution et des contraintes pour bien s'adapter aux méthodes d'optimisation.

III.2.1. Les données d'entrée :

- **La liste des fréquences disponibles**

Soit **F** le nombre des fréquences disponibles.

- **Le nombre de cellules dans la zone en question**

Soit **N** le nombre des cellules à considérer.

- **Nombre de TRX par cellule** Soit le vecteur **TRX = {trx_1,…, trx_i,.., trx_N}** ou trxi est le nombre de transmetteurs pour la cellule i.

- **La matrice des interférences de co-canal (Interfco)**

Pour chaque paire de cellules est associée le pourcentage d'interférence introduit dans le cas où toutes les deux utilisent la même fréquence.

- **La matrice des interférences de canal adjacent (Interfadj)**

Pour chaque paire de cellules est associé le pourcentage d'interférence introduit dans le cas où les deux cellules utilisent des canaux adjacents.

- **La matrice d'interférence :**

Pour l'équipementier Ericsson on utilise le RNO feature (en particulier le MRR et le FAS) qui permet de générer des fichiers binaires des mesures en temps réel générer quotidiennement durant le projet. L'outil Optimi xAFP utilise ces fichiers binaires afin de calcules la matrices.

- **La matrice de contrainte (ou de séparation) (C)** :

Pour chaque paire de cellules on fixe une distance minimale obligatoire, donnée en nombre de canaux, entre les fréquences utilisées aux deux cellules. Pour générer cette matrice, l'outil calcule les matrices d'interférence (Interfco et Interfadj) en utilisant des fichiers de mesure drive test et les seuils d'interférence maximaux à accepter. A Nedjma, le seuil de l'interférence sur canal adjacent C/A >-6dB et le seuil de l'interférence co-canal C/I > 12dB.

En fait, pour $1 \leq i \leq N$ et $1 \leq j \leq N$

Si $Interfco_{ij} > 5\%$ et $Interfadj_{ij} < 5\%$ alors $C_{ij} = 1$
Si $Interfco_{ij} > 5\%$ et $Interfadj_{ij} > 5\%$ alors $C_{ij} = 2$
Si $Interfco_{ij} < 5\%$ et $Interfadj_{ij} < 5\%$ alors $C_{ij} = 0$

Cette séparation n'est pas obligatoire, mais, dans la mesure du possible, on essayera une allocation de fréquences qui la respecte.

- **La matrice de trafic (trafic)**

Pour chaque cellule, on associe la valeur moyenne (d'un mois) de trafic qu'elle supporte. L'impact du trafic sur l'interférence est double. En effet, l'intensité du trafic décrit le taux d'utilisation des fréquences assignées à la cellule et par conséquent influe sur la quantité de l'interférence produite. L'intensité du trafic reflète l'importance du domaine couvert par la cellule et par conséquent l'intérêt majeur de la réduction de l'interférence sur ce domaine. Ainsi, la considération du trafic permet une quantification meilleure du niveau de l'interférence et une meilleure optimisation pour les cellules à fort trafic **[4]**.

III.2.2. L'évaluation d'une solution

Un plan de fréquences est donné par la matrice **A :**

$$\mathbf{A = \{a_{ik}\},} \text{ avec } 1 \leq i \leq N \text{ et } 1 \leq k \leq F \qquad \text{(III.1)} \quad \textbf{[20]}$$

Où

$\mathbf{a_{ik}} = 1$ si la k^{eme} fréquence est affecté à la cellule i, et nul ailleurs.

Dans la manipulation des plans de fréquence, nous avons imposé le respect des contraintes entre les TRX d'une même cellule. Dans la littérature, ceci est appelé ***Co-cell constraint handling (CCH)***.

En fait, nous avons prouvé que le respect du Co-cell constraint handling (CCH) pour chaque solution intermédiaire a comme effet la réduction de l'espace de recherche. Cette technique est très utile dans le cas où le nombre de canaux qui doivent être alloués à chaque cellule est grand. Un effet pareil de réduction de l'espace de recherche a aussi l'approche du problème sous la forme d'allocation d'ensembles de fréquences par des cellules, et non pas comme allocation par des TRX individuels.

Une solution est un plan de fréquence. Nous définissons une fonction coût (fonction d'évaluation) qui calcule la valeur de l'interférence globale dans le système. Une solution (plan de fréquence) est d'autant plus bonne que la valeur de la fonction coût soit moindre (l'interférence induite est moindre).

Une fonction coût prendra en considération plusieurs facteurs :

- Les contraintes non respectées (violées).
- Les matrices Interfco et Interfadj. Ceci permet de mieux quantifier l'interférence.
- La matrice de trafic. En effet, on a intérêt à mieux minimiser le niveau d'interférence surtout pour une cellule à fort trafic que pour une autre àfaible trafic.

Soient,

- **fitness** notre fonction de coût.
- $\mathbf{P_i}$ = nombre de contraintes violées de type interférence co-canal pour la cellule i.
- $\mathbf{R_i}$ = nombre de contraintes violées de type interférence sur canal adjacent pour la cellule i.

Pour $1 \leq i \leq N$ et $1 \leq k \leq F$

$$\textbf{fitness} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}[\ (P_i * Interfco(i,j) + R_i * Interfadj(i,j)\ ]* trafic_i \qquad \text{(III.1)}\ \textbf{[20]}$$

La fonction objective de notre problème consiste à minimiser le **fitness** sous contraintes:

$$\sum_{k=1}^{F} \mathbf{a_{ik}} = \mathbf{trx_i} \qquad \text{Pour } 1 \leq i \leq N \qquad \text{(III.2)}\ \textbf{[3]}$$

$$| k\text{-}l | \geq C_{ij} \quad \text{Pour } 1 \leq i \leq N \ \&\&\ 1 \leq j \leq N \text{ et } 1 \leq k \leq F \ \&\&\ 1 \leq l \leq F \qquad \text{(III.3)}\ \textbf{[3]}$$

Où $a_{ik} = a_{jl} = 1$ et $a_{ik} = 1$ si la k^{eme} fréquence est allouée à la cellule i, sinon 0.

III.3 Complexité du problème d'affectation de fréquences

Avant de nous lancer dans la description de l'algorithme de résolution adopté, il est important de dresser un portrait de la complexité algorithmique du problème. La complexité du problème d'affectation de fréquences dans sa variante de minimisation d'interférence a fait l'objet de plusieurs études**]**. De ces études nous déduisons que :

- Le problème d'affectation fixe des fréquences réduit à la minimisation de la fonction objective est NP-difficile.
- Le problème consistant à rechercher une solution faisable autrement dit satisfaisant, les contraintes co-canal et sur canal adjacent est NP-complet.
- Le problème de décision lié à la question de savoir si le problème admet ou non une solution faisable est NP-difficile **[20]**.

On peut calculer la taille du problème d'affectation de fréquence comme suit :
Soient :

T = nombre de TRX
F = nombre de fréquences disponibles

Le nombre des allocations possibles N1 est égale à : $\mathbf{N1 = F^T}$ (III.4) **[3]**

Pour la zone du grand alger où ona va faire notre plan de fréquence on compte 2560 cellules avec environ 18000 TRX, on a 42 fréquences possibles à utiliser donc :

$N= 42^{18000}$
Il est évident qu'avec la puissance de calcul courante, la vérification de tous les plans Admissibles est impossible. Il en résulte que le problème de l'allocation des fréquences est un problème NP-difficile. Donc on s'attend à ce que la seule approche viable pour la résolution du problème soit les méthodes heuristiques de recherche de la solution.

III.4. Modélisation génétique du problème d'affectation de fréquences

III.4.1 Présentation des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont une famille de modèles computationnels qui essaient de simuler la sélection et l'évolution naturelle. Ces algorithmes codifient une solution potentielle d'un problème par une structure de données simple, semblable à un chromosome, et on applique à ces structures des opérateurs de recombinaison de façon à garder

l'information critique. Un algorithme génétique part d'une population initiale d'individus (chromosomes). Ces structures sont ensuite évaluées et on attribue à chacune certaines opportunités reproductives, de façon que les individus qui représentent une meilleure solution pour le problème aient plusieurs chances de se reproduire que les individus qui représentent des solutions plus faibles.

A l'implantation d'un algorithme génétique pour un problème donné on doit accorder une grande attention aussi à la codification d'une solution, qu'au choix de la fonction d'évaluation. La fonction d'évaluation doit surtout avoir un temps réduit d'exécution, tenant compte du fait qu'à chaque itération de l'algorithme toute la population est évaluée.

Il y a quelques précisions qu'on doit les signaler :

- La population initiale est habituellement générée aléatoirement.
- L'évaluation de la population courante en calculer la fonction objective pour chaque membre de la population séparément. La qualité (fitness) d'un individu dans le cadre de la population courante est donnée en comparaison avec la meilleure solution.
- La sélection consiste à choisir des individus de la population courante pour en appliquer les opérateurs génétiques. L'une des principales caractéristiques de tout opérateur de sélection est la pression sélective appliquée sur la population. Cette pression sélective est généralement basée sur la fonction d'évaluation.
- L'opérateur de recombinaison (croisement) s'effectue selon une probabilité Pc. Il consiste à recombiner deux individus déjà sélectionnés pour former deux nouveaux individus qui auront la chance d'être insérés dans la génération suivante s'ils présentent de bonnes fonctions d'évaluation.
- L'opérateur de mutation. Chaque bit de chaque chromosome de la population peut changer avec une probabilité Pm.
- Création de la population pour la génération suivante.
- Des conditions d'arrêt peuvent être le dépassement d'un nombre maximum de générations ou l'arrivée à une solution optimale ou à une solution sous-optimale acceptable. [**3]**

Ainsi, le déroulement de l'algorithme génétique peut être résumé comme suit :

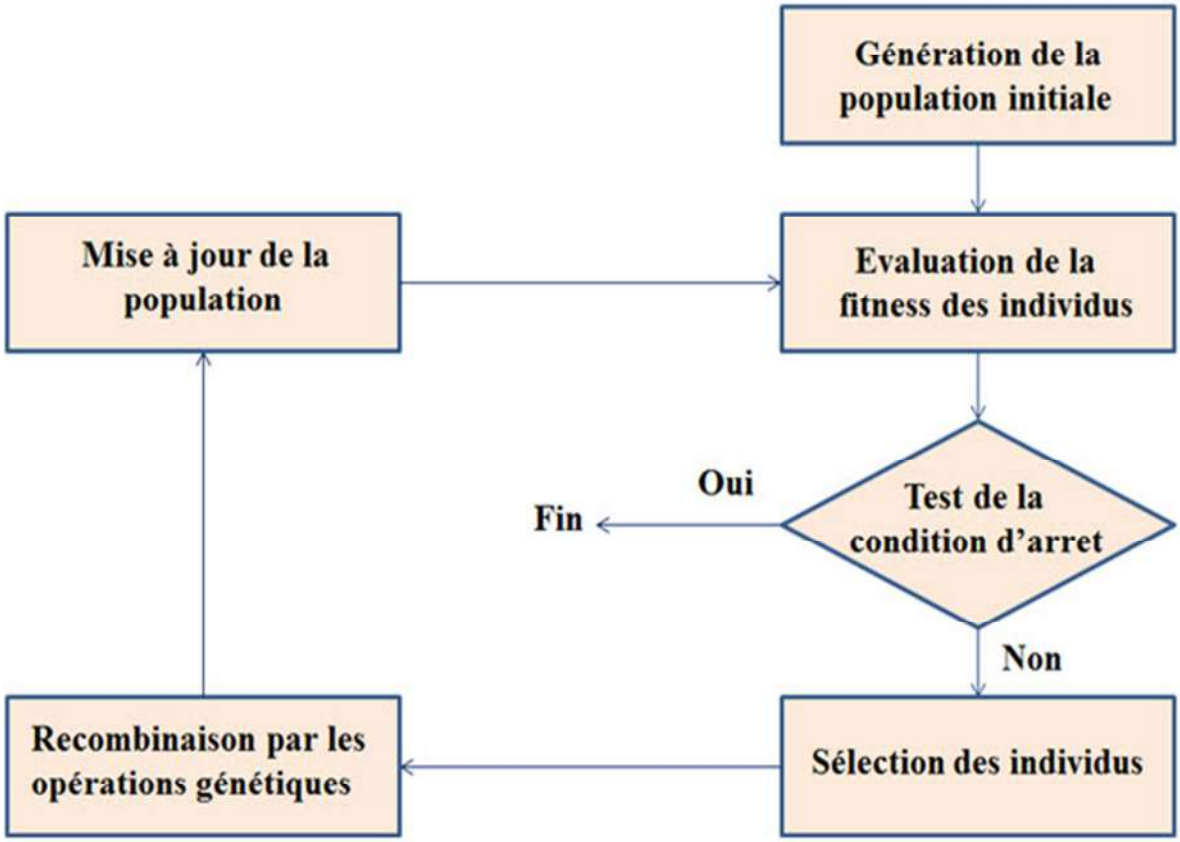


Figure III.1 : Organigramme de l'algorithme génétique **[10]**

III.4.2. Génération de la population initiale

La taille de la population *P* dans la plupart des algorithmes génétiques est considérée fixe. Cette hypothèse est prise d'une part afin de limiter le temps de calcul lors de l'évaluation de la force de la population et d'autre part afin de limiter l'espace mémoire occupé par la population. En effet, naturellement la taille d'une population est variable.

Pour notre implémentation, la population initiale est générée aléatoirement. Un individu appartenant à cette population correspond à une solution du problème d'affectation de fréquence (plan de fréquence). A la population initiale, on appliquera les opérateurs génétiques.

III.4.3. Opérateurs génétiques

1. *Sélection*

La sélection des individus, sur lesquels les opérateurs génétiques seront appliqués pour générer de nouveaux descendants respecte le principe de l'élitisme. En effet, après l'évaluation de la fonction objective des individus de la population on sélectionne le meilleur individu (élite) et un deuxième individu tiré au hasard parmi le reste des individus de la population. Nous avons évité de sélectionner les deux meilleurs individus afin de s'échapper des minima locaux qui peuvent piéger l'algorithme. En effet, deux individus ayant les mêmes caractéristiques ne peuvent pas selon le concept génétique donner des descendants ayant des forces meilleures que leurs parents.

2. *Croisement*

Pour effectuer le croisement entre deux solutions (plans de fréquences) A1 et A2, on génère un vecteur binaire V de taille égale au nombre d'itérations de l'algorithme génétique d'une façon aléatoire et dont la proportion des 1 est égale à une probabilité Pc : c'est la probabilité de croisement. Si V (i) = 1, le croisement va être appliqué aux deux individus sélectionnés et i étant l'itération courante. Dans notre implémentation, on utilise un croisement à 1 seul point ou un croisement multipoints. Durant l'exécution de l'algorithme génétique, le nombre de points de croisement est dynamique prenant un nombre aléatoire entre 1 et cross_points (nombre de points de croisement saisi par l'utilisateur). On choisit aléatoirement autant de lignes (cellules) des deux plans de fréquence qu'on a de points de croisement. Les lignes choisies de A1 et de A2 vont être inter-changées. Sinon, le croisement ne va pas être appliqué aux deux individus sélectionnés pendant l'itération courante de l'algorithme génétique.

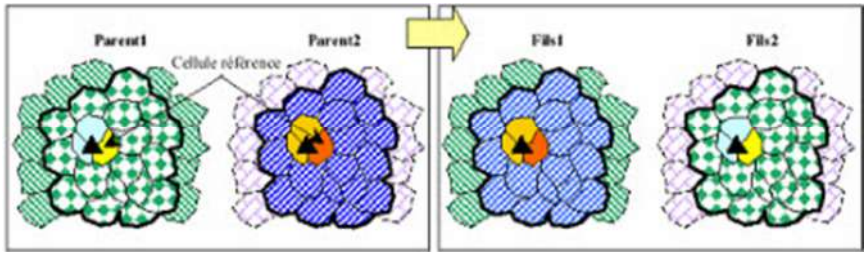


Figure III. 2 : Procédure de croisement **[10]**

3. *Mutation*

Pour muter un individu de la population (plan de fréquence), nous générons un vecteur binaire W de taille égale au nombre d'itérations de l'algorithme génétique d'une façon

aléatoire et dont la proportion des 1 est égale à une probabilité Pm : c'est la probabilité de mutation.

Si W (i) = 1, la mutation va être appliquée à l'individu et i étant l'itération courante. Dans notre implémentation, nous utilisons la mutation à 1 seul point ou la mutation multipoints. Durant l'exécution de l'algorithme génétique, le nombre de points de mutation est dynamique prenant un nombre aléatoire entre 1 et mut_points (nombre de points de mutation saisie par l'utilisateur). Nous choisissons aléatoirement autant de lignes (cellules) des deux plans de fréquence que nous avons de points de mutation. Les lignes choisies de l'individu vont subir un flip flop. Un flip flop consiste à pointer aléatoirement sur un 1 dans cette ligne pour le mettre à *0* et nous pointons aléatoirement sur un 0 pour le convertir en un 1. Ceci doit être sans violation de la condition de CCH (Co-cell Constraint Handling).
Sinon, la mutation ne va pas être appliquée à l'individu pendant l'itération courante de l'algorithme génétique **[10]**.

4. *Reproduction*

Les individus de la population courante et les individus issus du croisement et/ou de la mutation vont être élus pour passer à la génération suivante. Une génération est une population à un instant t (itération de l'algorithme génétique).

De ce fait, nous avons opté pour deux stratégies :

- ***Algorithme de sélection proportionnelle (méthode RWS :*** appelé aussi roulette ou roue de la fortune. Pour chaque individu, la probabilité d'être sélectionné est proportionnelle à son adaptation au problème (valeur de la fonction objective). Afin de sélectionner un individu, on utilise le principe de la roue de la fortune biaisée. Cette roue est une roue de la fortune classique sur laquelle chaque individu est représenté par une portion proportionnelle à son adaptation. On effectue ensuite un tirage au sort homogène sur cette roue. Un bon individu a une forte chance pour passer à la génération suivante. Un mauvais individu a une faible chance pour passer à la génération suivante mais ça reste toujours possible et ceci est pourtant un aspect avantageux puisqu'il évite le blocage dans les minima locaux.
Si le meilleur individu n'a pas été sélectionné pour passer à la génération suivante, on a recours à une stratégie d'élitisme.

- ***Elitisme :*** une stratégie élitiste consiste à conserver dans la population, d'une génération à l'autre, au moins l'individu ayant la meilleure performance **[10]**.

III.4. Choix et présentation de la recherche tabou

III.4.1 Choix de la recherche tabou :

L'algorithme génétique utilise un ensemble d'individus et non un élément unique comme c'est le cas de la plupart des méthodes d'exploration qui lui permet de visiter plusieurs régions de l'espace de recherche. Ainsi, l'orientation de la recherche devient une tâche difficile. De plus, l'algorithme génétique est caractérisé par une méthode de recherche par saut assurée par ses opérateurs de croisement et de mutation. Ceci nous a amené à penser à une méthode de recherche locale qui intensifie la recherche de solutions autour des zones prometteuses et permet de mieux guider la recherche. Pour cela, on a fait des recherches sur les méthodes de recherche locale (recherche tabou, recuit simulé,…) et nous avons trouvé que la recherche tabou introduit un mécanisme de mémoire prometteur.

De plus, la recherche tabou est bien réputée dans la résolution du problème d'affectation de fréquence dans la littérature **[15]**.

III.4.2 Présentation de la recherche tabou :

La recherche tabou est une méthode de recherche locale qui a été formalisé par Mr Fred Glover en 1986. Sa principale particularité tient dans la mise en œuvre de mécanismes inspirés de la mémoire humaine. La méthode tabou prend, sur ce plan, le contre-pied des autres méthodes de recherche locales, totalement dépourvu de mémoire, et donc incapable de tirer des leçons du passé. En revanche la modélisation de la mémoire introduit de multiples degrés de liberté. Le principe de base de la méthode tabou est simple : la recherche tabou fonctionne avec une seule « configuration courante » à la fois (au départ, une solution quelconque), qui est actualisé au cours des « itérations » successives. A chaque itération, le mécanisme de passage d'une configuration, soit s, à la suivante, soit t, comporte deux étapes :

- On construit l'ensemble des voisins de s, c'est-à-dire l'ensemble des configurations accessibles en un seul mouvement élémentaire à partir de s (si cet ensemble est trop vaste, on applique une technique de réduction de sa taille : par exemple on a recours à une liste de candidats, ou on extrait aléatoirement un sous ensemble de voisins de taille fixée).
Soit V(s) l'ensemble (ou le sous-ensemble) de ces voisins.

- On évalue la fonction objective f du problème en chacune des configurations appartenant à V (s). La configuration t, qui succède à s dans la suite de solutions construite par la méthode tabou, est la configuration de V(s) en laquelle f prend la valeur minimale. Notons que cette configuration t est adoptée même si elle est moins bonne que s, i.e. si f(t) > f(s) : c'est grâce à cette particularité que la méthode tabou permet d'éviter le piégeage dans les minimums locaux de f.

Telle quelle, la procédure précédente est inopérante, car il y a un risque important de retourner à une configuration déjà retenue lors d'une itération précédente, ce qui engendre un cycle. Pour éviter ce phénomène, on tient à jour et on exploite, à chaque itération, une liste de mouvements interdits, la « liste de tabou » ou « liste tabou » : cette liste –qui a donné son nom à la méthode – contient m mouvements (t → s) effectués **[15]**.

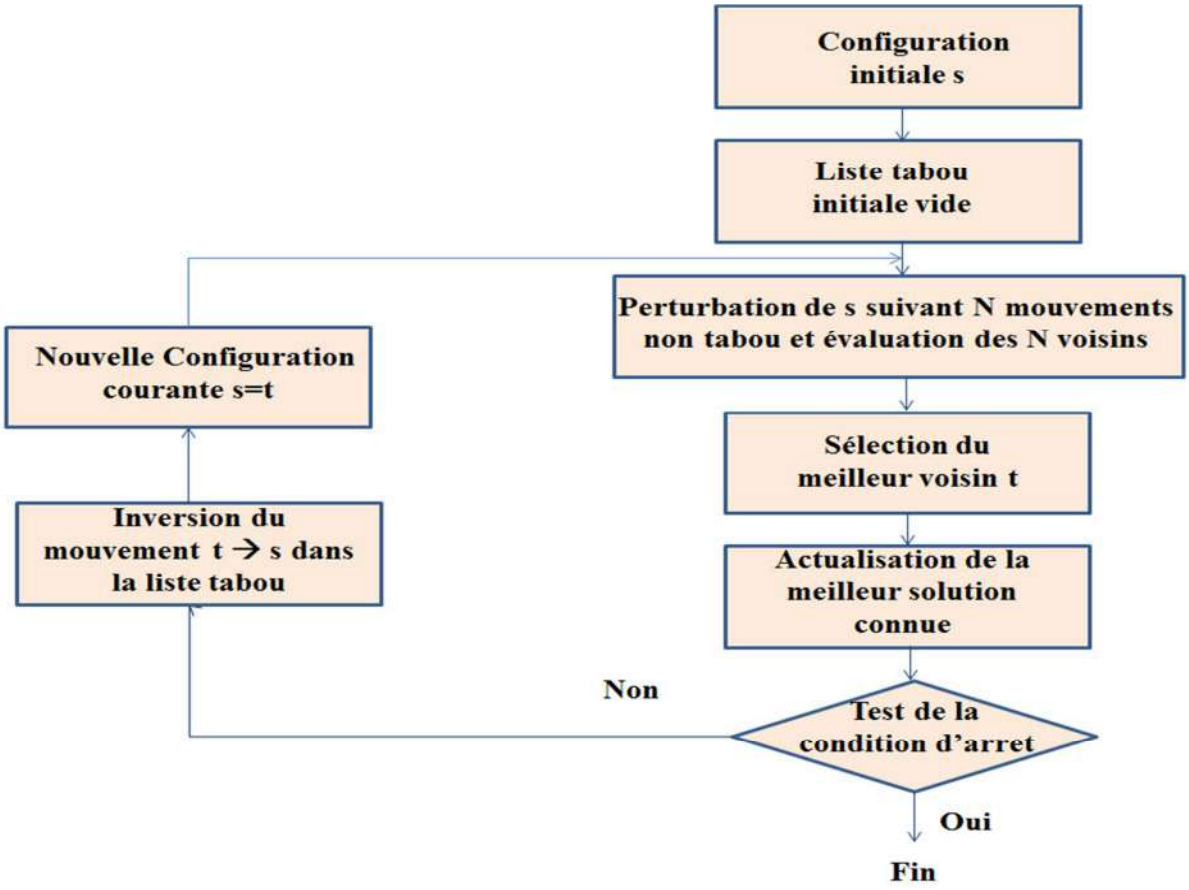


Figure III.3 : Organigramme de la recherche tabou **[15]**

L'algorithme modélise ainsi une forme rudimentaire de mémoire, la *mémoire à court terme* des solutions visitées récemment. Deux mécanismes supplémentaires, nommés *intensification* et *diversification* sont mis en œuvre pour doter aussi l'algorithme d'une *mémoire à long terme*. Ces processus n'exploitent plus la proximité dans le temps d'événements particuliers, mais plutôt la fréquence de leur occurrence, sur une période plus longue.

L'intensification consiste à approfondir l'exploration de certaines régions de l'espace des solutions, identifiées comme particulièrement prometteuses. La diversification est au contraire la réorientation périodique de la recherche d'un optimum vers des régions trop rarement visitées jusqu'ici.

III.5. Algorithmes hybride :

La recherche par saut effectuée par l'algorithme génétique assure une diversification des solutions visitées. Ainsi, cette caractéristique nous permet de combiner l'algorithme génétique avec la recherche tabou sans pour autant recourir à la diversification assurée par la recherche tabou, cette fonction sera assurée d'une façon plus efficace par l'algorithme génétique.

Notre nouvel algorithme est alors une combinaison d'un mécanisme de recherche par saut assuré par les opérateurs génétiques et d'un mécanisme de recherche locale qui s'intensifie tout au long de la vie de chaque individu, assuré par la recherche tabou.

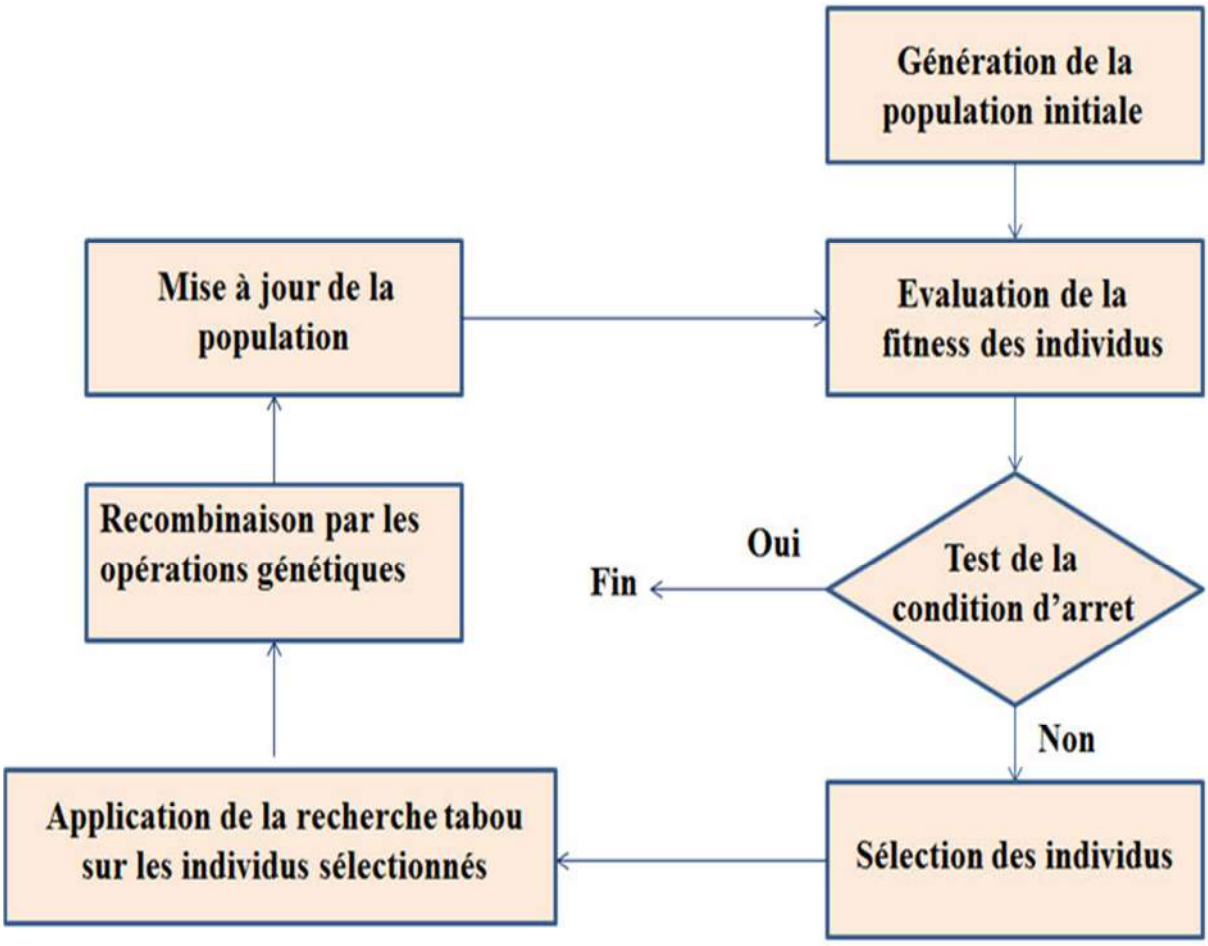


Figure III.4 : Organigramme de l'algorithme hybride **[21]**

III.5.1 Modélisation hybride du problème d'affectation de fréquences

L'algorithme hybride est une combinaison de l'algorithme génétique que nous avons bien décrit dans le chapitre 3 et une recherche tabou que nous allons définir ses paramètres et l'adapter à notre problème. La recherche tabou est une méthode de type recherche locale qui, par opposition à d'autres méthodes « simples » du même type, mémorise de l'information sur les solutions déjà visitées pour se guider dans le choix d'une nouvelle solution. De la même façon, cette méthode suppose une plus grande adaptation au problème particulier résolu.

L'idée de base de la méthode est d'explorer l'espace des solutions du problème FAP qu'on propose à l'aide d'une séquence de mouvements. On définit un ensemble M de mouvements qui peuvent être appliqués à une solution pour générer d'autres solutions.
Pour une solution A donnée, l'ensemble des solutions acceptables qui résulte de A par l'application d'un mouvement s'appelle voisinage de la solution A et on le note par N(A).

La méthode part d'une solution initiale qu'on essaie ensuite d'améliorer par rapport à une fonction coût Fitness. On génère successivement des nouvelles solutions, en choisissant du voisinage de la solution courante la solution pour laquelle la fonction coût est minimale.
Pour éviter le blocage aux minima locaux, mais pas globaux, et pour éviter les cycles, à chaque itération certains mouvements sont classifiés comme tabou (interdits).

Les mouvements tabous sont établis en fonction de la séquence de mouvements déjà appliqués. Un mouvement tabou appliqué à une solution génère une solution tabou, qui n'est éligible que lorsqu'elle satisfait à certains critères.

Après leur sélection, les deux individus de la population de l'algorithme génétique vont subir des corrections par l'application de la recherche tabou. Après, l'algorithme génétique se déroule normalement **[21]**.

III.5.2. Application de la recherche tabou :

L'application de recherche tabou nécessite :

III.5.2.1. La définition de la solution

La représentation de la solution est la même que celle de l'algorithme génétique. Une solution est un plan de fréquence (matrice (N, F)). Ceci est nécessaire car on va appliquer recherche tabou sur des solutions (individus sélectionnés) fournis par l'algorithme génétique.

III.5.2.2. La définition du voisinage

Dans ce travail l'ensemble de voisinage d'une solution A (plan de fréquence), représenté par *N (A)* est défini comme étant l'ensemble des matrices générées par l'inversion d'un 1 par un zéro et d'un zéro par un 1 dans une ligne de la matrice A. Cette action connue sous le nom de « *flip flop* » doit respecter le principe co-cell handling.

Un voisinage contient tous les voisins obtenus par l'application d'un seul mouvement flip flop. On change la valeur de la fréquence d'un transmetteur d'une cellule avec chacune des fréquences restées disponibles.

Dans notre cas, le cardinal de l'ensemble de voisinage d'une solution donnée, O[*N(A)*] pour la méthode d'allocation exploitant toute la bande de fréquences par exemple est au moins égale à :

$$\sum_{i=1}^{N} \mathbf{TRXi * nbre} \qquad \text{(III.5)} \quad \textbf{[20]}$$

N étant le nombre de cellules.
F étant le nombre de fréquences disponibles.
TRXi est le nombre de TRX de la cellule i (nombre de 1 dans la ligne i de la matrice A)
nbre est le nombre de zéros minimal avec qui on peut inverser un 1 de la ligne i de la matrice A.

$$\mathbf{nbre = F - 2*(TRXi - 1)} \qquad \text{(III.6)} \quad \textbf{[20]}$$

Lorsque le cardinal de l'ensemble de voisinage est assez élevé J. K. Kao et Al ont proposé une méthode de recherche aléatoire dans l'ensemble de voisinage **[20]**.

Dans ce cas, une solution A' appartient à *N(A)* n'est considérée comme meilleure solution dans *N(A)* que si au bout de *Nmax* mouvements (itérations) elle présente toujours la meilleure fonction coût. La valeur optimale de *Nmax* dépend du problème à traiter.
Mr Fred Glover définit les voisins considérés comme la liste des mouvements candidats **[20]**.

Dans notre implémentation, on a testé l'algorithme hybride pour dégager la taille optimale du voisinage et ce en fonction du temps de calcul.

Taille de voisinage	Temps de calcul
5	18.5
10	15.2
15	12.4
20	10.7
22	9.5
23	8.3
25	6.8
27	6.2
28	5.4
29	4.8
30	4.1
31	4.2
32	4.5
33	4.4
34	6.1
35	7.9
40	12.4
50	16.6

Tableau III.1 : Temps de calcul en fonction de la taille de voisinage **[20]**

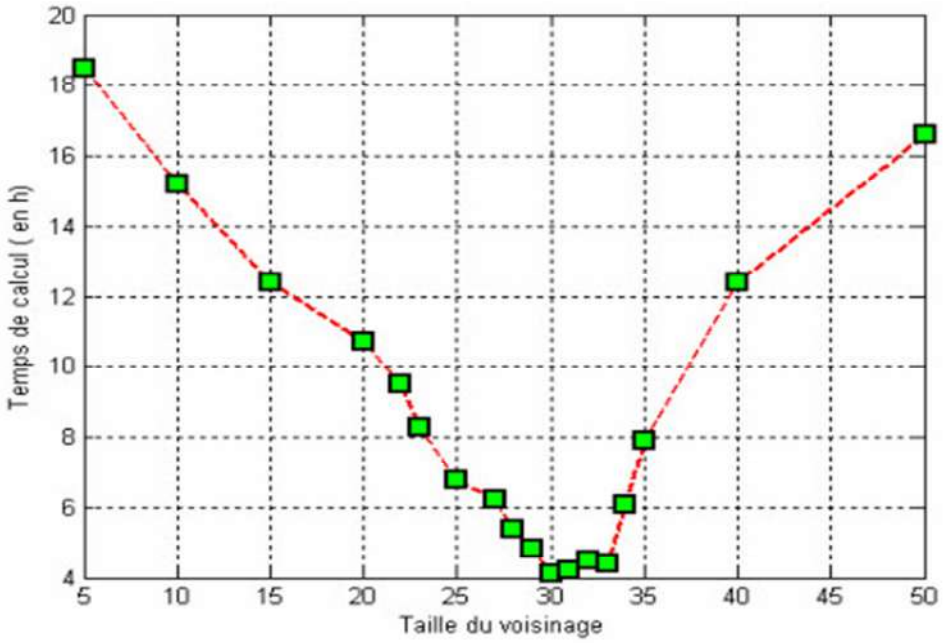


Figure III.5 : Temps de calcul en fonction de la taille de voisinage **[20]**

D'après la figure, la taille optimale du voisinage est égale à 30 voisins.

III.5.2.3. La mémoire tabou

On définit un mouvement par le triplet **(cell, f1, f2)** avec :

cell représente la cellule concernée par le mouvement.
f1 et **f2** sont les deux fréquences à inverser.

Un mouvement (cell, f1, f2) s'appelle tabou s'il ne satisfait pas les conditions établies pour la mémoire à court terme c'est-à-dire qu'il est présent dans la liste tabou. La mémoire à long terme associée à la diversification ne serait pas considérée puisque la diversification va être assurée par l'algorithme génétique.

Un mouvement reste tabou r itérations avec r est le tenure ou taille de la liste tabou. Le « tenure » est parmi les paramètres les plus importants et les plus difficiles à calibrer. En effet, pour un très petit nombre de mouvements interdits, la recherche itérative aura tendance à visiter toujours les mêmes solutions. Si ce nombre augmente, la probabilité de rester prisonnier d'un ensemble très restreint de solutions diminue et, par conséquent, la probabilité de visiter plusieurs bonnes solutions augmente. Il ne faut cependant pas que le nombre de mouvements interdits soit trop grand, car, dans ce cas, il devient très peu probable de trouver de bon optimum locaux, faute de mouvements disponibles.

C'est pour cela qu'on a opté pour des interdictions pendant des durées aléatoires et ce pour bénéficier à la fois des avantages d'un petit nombre - pour visiter de manière approfondie une zone prometteuse de l'espace des solutions - et d'un grand nombre de mouvements interdits pour pouvoir s'échapper des minimums locaux. Ainsi, on aurait intérêt à modifier ce nombre au cours de la recherche.

Mr Fred Glover a montré de manière surprenante que la capacité de la liste tabou est entre 7 et 20 pour empêcher le cyclage(revenir à une solution déjà visitée) quelle que soit la taille du problème **[20]**.

III.5.2.4. L'évaluation incrémentale

A chaque itération de l'algorithme, on doit rechercher le meilleur voisin d'un ensemble de voisins. Par conséquence, une méthode rapide d'évaluation est un facteur - clé pour l'efficience d'un algorithme de type recherche tabou. L'idée c'est de garder, de façon incrémentale, « la variation de coût » pour tout mouvement pouvant être appliqué à la solution courante. De cette façon, pour chaque voisin il n'est plus nécessaire le calcul de l'entière fonction d'évaluation, mais seulement de la variation de la valeur de la fonction.

De cette façon, le temps de calcul est réduit énormément **[20]**.

III.5.2.5. Critère d'aspiration

Certaines interdictions sont parfois absurdes. Par exemple, un mouvement qui mène à une solution meilleure que toutes celles visitées par la recherche dans les itérations précédentes n'a aucune raison d'être interdit. Afin de ne pas manquer cette solution, on modifie donc l'éventuel statut tabou de telles solutions. Dans le jargon de la recherche avec tabou, on dit que ce mouvement est aspiré **[20]**.

III.5.2.6. L'intensification

L'intensification consiste à intensifier la recherche dans une zone prometteuse c'est-à-dire dans les voisinages de solutions qui semblent propices à mener à des solutions proches ou égales à l'optimum. Dans notre implémentation, l'intensification est assurée par l'augmentation de la taille du voisinage. Le mécanisme d'intensification est déclenché si après 20 itérations la solution n'a pas été améliorée **[20]**.

III.5.2.7. La condition d'arrêt

L'algorithme finit lorsque l'on obtient une solution de coût 0 ou lorsque l'on dépasse un nombre préétabli d'itérations. Dans ce dernier cas, on garde la solution qui a eu le moindre coût **[20]**.

III.6. Conclusion

L'algorithme mémétique (ou hybride) utilisé par l'outil Optimi x-AFP a permis d'améliorer la qualité des plans de fréquence de point de vue valeur de la fonction objective et de point de vue temps de calcul. Les paramètres de la recherche tabou (taille du voisinage, taille de la liste tabou, évaluation incrémentale des solutions,…) ont été optimisés de façon à augmenter les performances de l'algorithme hybride. Les défauts de l'algorithme génétique ont trouvé les remèdes dans une méthode de recherche locale intelligente telle que la recherche tabou.

Dans le prochain chapitre simulation et implémentation du plan d fréquence sur la zone du Grand Alger, nous avons obtenu de très bon résultat en terme de performances réseau où par exemple le « speech quality indicator » a été amélioré de 42%. Ce sont des resultats sans précédent.

IV.1. Introduction :

Le problème de l'allocation des fréquences **FAP** (**F**requency **A**ssignment **P**roblem) est l'un des problèmes les plus courants dans le cycle de vie du réseau GSM, pour y remédier, les opérateurs cherchent toujours à acquérir le meilleur outil de planification automatique de fréquences.

Auparavant, Nedjma utilisait le module AFP de l'outil Atoll, la génération du plan de fréquences est basée sur l'estimation de propagation, mais plus la taille du réseau augmente plus cet outil montre ces défaillance et la qualité du réseau s'est dégradé. En début de cette année, nous avons acquiert l'outil OPTIMI xAFP de Ericsson et avons choisis la zone du Grand Alger (Alger, Tipaza, Blida, Boumerdes, Tizi Ouzou) comme une zone pilote ou plus de 62% de trafic total y est concentré.

Comme l'outil est nouveau pour nous et demande l'implication de plusieurs équipes engineering (OSS, BSS et NSS) Le projet a duré plus que prévu (quatre mois de Février à Mai), mais on a fini par avoir des résultats qui dépassait de loin l'attente du high management.

IV.2. Présentation de l'outil Optimi xAFP :

L'un des outils d'Ericsson réputé d'être le meilleur planificateur de fréquence de nouvelle génération. L'outil Optimi xAFP est le module de planification automatique de fréquence dans la plateforme OPTIMI X, l'objective de la AFP est de maximiser l'efficacité de la réutilisation du spectre qui est quantifié par le cout.
Un des avantages majeurs de OPTIMI xAFP est qu' il supporte tous les plateformes connu : Ericsson, NOKIA, SIREMENS, Huawei, ZTE, Motorola…, en plus de ça, et contrairement au traditionnel outil de planification de fréquence qui sont basée sur une simulation de propagation, xAFP est basée sur l'état réel du réseau (Trafic et handover) et sur la collection des mesures Radio MRR (Mobile Radio Reports) et FAS (Frequency Allocation Support) fournit par le système OSS de Ericsson (sont très chers pour les activer) **[22]**.

IV.2.1. Procédure d'OPTIMI xAFP :

Afin de lancer l'optimisation d'un nouveau plan de fréquence, le projet xAFP doit avoir les informations suivantes :

- Données de configuration physiques des sites.
- Données de configuration BSS.
- Données de la matrice d'interférence RF.
- Données d'itinérance (Handover).
- Données de trafic voix et data.

Comme l'outil Optimi xAFP est un outil multivendor, une large variété de format de données physique importé des projets existant comme l'Atoll, Asset 3 G, Pegaplan, Planet EV… Il est aussi possible d'utiliser un format de données générique importé d'un fichier texte ou Excel.

Les configurations du réseau, MMR and MRR peuvent être importé des différent OSS system connu comme Alcatel, Ericsson, Huawei, Motorola, Nokia, Nortel, Pegaplan, Siemens and ZTE.

Pour construire un projet avec Optimi xAFP, six étapes sont recquis:

1. La collecte des données.
2. L'import des données.
3. Validation des données.
4. Lancer le simulateur QoS.
5. Validation de la corrélation de la matrice d'interférence IM.
6. Lancer l'optimisateur AFP **[22]**.

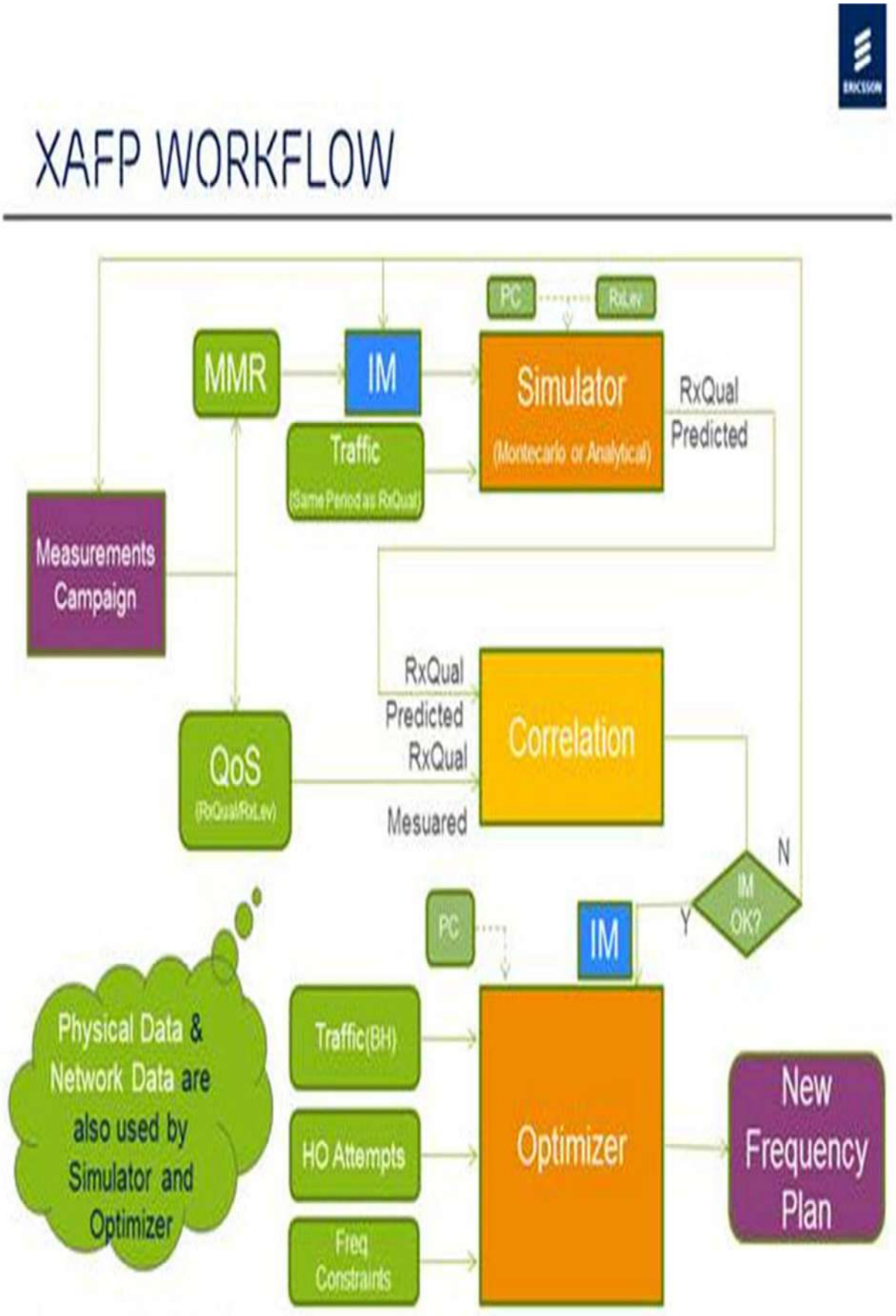


Figure IV.1 Procedure de xAFP **[22]**

IV.3. Description et construction de notre projet xAFP :

IV.3.1 Description du projet:

Le but du projet est de recommander la meilleur stratégie de plan de fréquence pour l'implémenter dans le réseau, cette stratégie a été évalué non seulement sur l'état actuel du réseau (split band BCCH), mais aussi avec la simulation de différentes configuration (Full Ad hoc, semi full ad hoc avec différent canaux en commun, split band…)

La zone choisie comme une zone pilote était le grand Alger (Alger, Tipaza, Blida, Boumerdes, Tizi Ouzou) composé des plus important BSCs du réseau Nedjma qui sont : BSCALG3,BSCALG4,BSCALG8,ALG7,ALG10,ALG22,ALG23,ALG24,BSC3,BSC5,BSC6 ,BSC7 et BSCTIZI2, où plus de 60% du trafic voix et données de Nedjma sont véhiculés par ces BSCs, cette zone est appelé la zone Core. En revanche ce plan de fréquence ne peut pas être validé sans prendre en considération la zone entourant la zone core et qui comportait les BSCs de BSCMED1, BSCBRA1, BSCCLF1, BSCADF1, BSCBEJ1, BSCBEJ2.

Ce projet a été lancé le 01/02/ 2012 et implémenté le 11/05/2012, ça a pris deux mois en plus que prévu puisque c'est la première fois qu'on travaille avec Optimi xAFP, on a rencontré à maintes reprises des problèmes surtout du côté OSS et qui nécessitaient à chaque le support de Ericsson.

Ci-après les taches initiales exécutés afin de faciliter le développement du projet, ils seront détailles par la suite.

1. Collection des données physiques vérifiées avec le dump du réseau
2. Définition de la zone core et buffer.
3. Implémentation d'un nouveau plan de BSIC afin de réduire au maximum la réutilisation du couple BSIC-BCCH pour une meilleur matrice d'interférence. Cette réutilisation à était diminuer dans la zone core de 1026 à 83 pour une distance de moins de 15 Km (largement suffisant pour une zone urbaine dense). Par conséquence les performances du handover ont été améliorées dans toutes les BSCs.
4. Vérifier que le paramètres NC Perm est correctement implémenté dans toutes les BSC score et buffer afin de mesurer toutes les interférences pour une cellule victime.
5. Les fichiers binaires du MMR (BARFIL) et ceux du RxQual/RxLev (MRRFIL) utilisé pour le projet sont correctement programmé et collecté chaque jour pendant 3 semaines du 05/03/2012 au 26/03/2012, les BARFIL seront utilisés pour générer la matrice d'interférence IM et MRRFIL seront utilisés pour corréler cette matrice

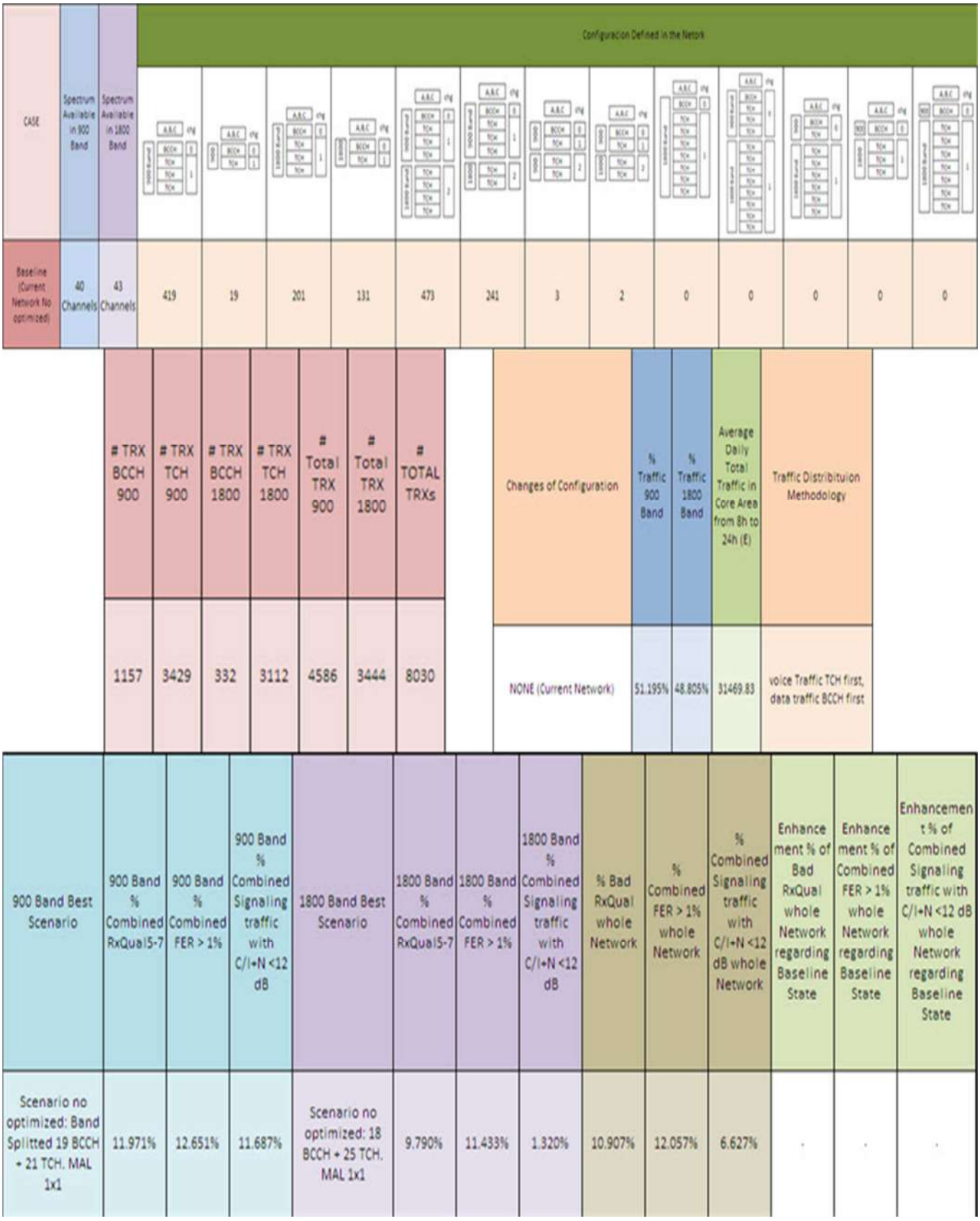
.

Le nombre de secteur par BSC est :

BSC	# Sectors
ALG10	343
ALG23	75
ALG24	208
ALG7	548
BSC3	277
BSC5	130
BSC6	519
BSC7	359
BSCALG3	578
BSCALG4	487
BSCALG8	267
BSCTIZ2	257
ROUIBA1	237

IV.3.2. Performances du réseau avant l'optimisation :

Le snapshots ci-dessous résume l'état du réseau avant de lancer l'optimisation et implémenter le nouveau plan de fréquence :



CASE	Spectrum Available in 900 Band	Spectrum Available in 1800 Band	Configuracion Defined in the Netork											
Baseline (Current Network No optimized)	40 Channels	43 Channels	419	19	201	131	473	241	3	2	0	0	0	0	0

# TRX BCCH 900	# TRX TCH 900	# TRX BCCH 1800	# TRX TCH 1800	# Total TRX 900	# Total TRX 1800	# TOTAL TRXs
1157	3429	332	3112	4586	3444	8030

Changes of Configuration	% Traffic 900 Band	% Traffic 1800 Band	Average Daily Total Traffic in Core Area from 8h to 24h (E)	Traffic Distribtuion Methodology
NONE (Current Network)	51.195%	48.805%	31469.83	voice Traffic TCH first, data traffic BCCH first

900 Band Best Scenario	900 Band % Combined RxQual5-7	900 Band % Combined FER > 1%	900 Band % Combined Signaling traffic with C/I+N <12 dB	1800 Band Best Scenario	1800 Band % Combined RxQual5-7	1800 Band % Combined FER > 1%	1800 Band % Combined Signaling traffic with C/I+N <12 dB	% Bad RxQual whole Network	% Combined FER > 1% whole Network	% Combined Signaling traffic with C/I+N <12 dB whole Network	Enhancement % of Bad RxQual whole Network regarding Baseline State	Enhancement % of Combined FER > 1% whole Network regarding Baseline State	Enhancement % of Combined Signaling traffic with C/I+N <12 dB whole Network regarding Baseline State
Scenario no optimized: Band Splitted 19 BCCH + 21 TCH. MAL 1x1	11.971%	12.651%	11.687%	Scenario no optimized: 18 BCCH + 25 TCH. MAL 1x1	9.790%	11.433%	1.320%	10.907%	12.057%	6.627%	-	-	-

Figure IV.2. Performances du réseau avant optimisation

La distribution des canaux sur les deux bandes 900 et la 1800 était comme suit avant de lancer l'optimisation

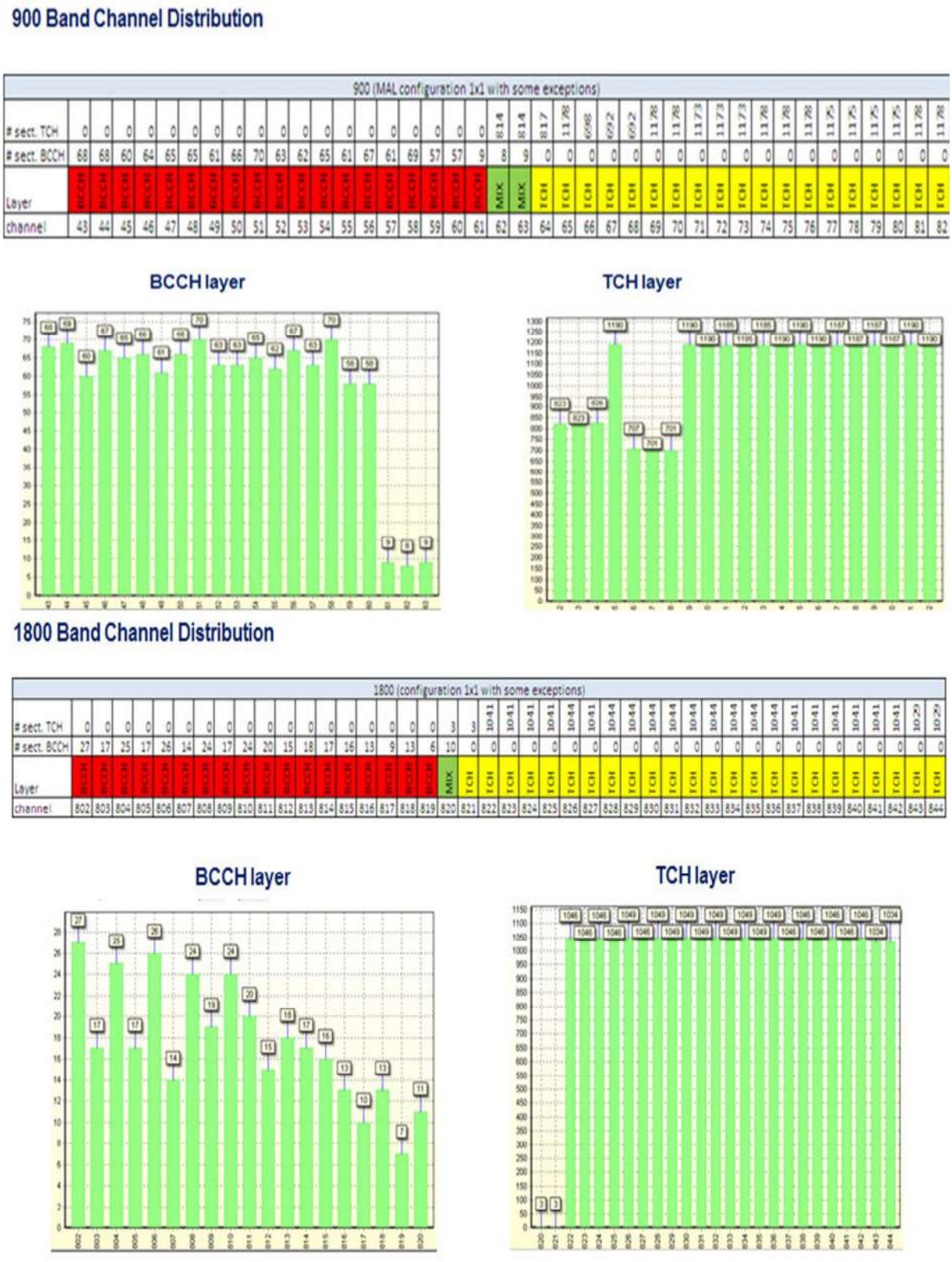


Figure IV.3. Distribution de Fréquences pour les deux band 900/1800

IV.3.3. Construction du projet pilote:

Pour construire un projet xAFP, on a besoin de plusieurs informations :

IV.3.3.1. Les données physiques « Physical Data »:

Le projet contient deux zones, la zone à optimiser, on l'appelle la zone core, et la zone voisine de la zone core et on l'appelle la zone buffer. Pour les cellules des deux zone on a besoin de :

- Sector Name
- Site Name
- Latitude
- Longitude
- Azimuth
- ERP (dBm)
- Antenna Name/Pattern

IV.3.3.1.1. Import des données physiques sur Optimi

On ouvre le File → Import → Physical → Generic Importer…, comme le montre le snapshot ci-dessous :

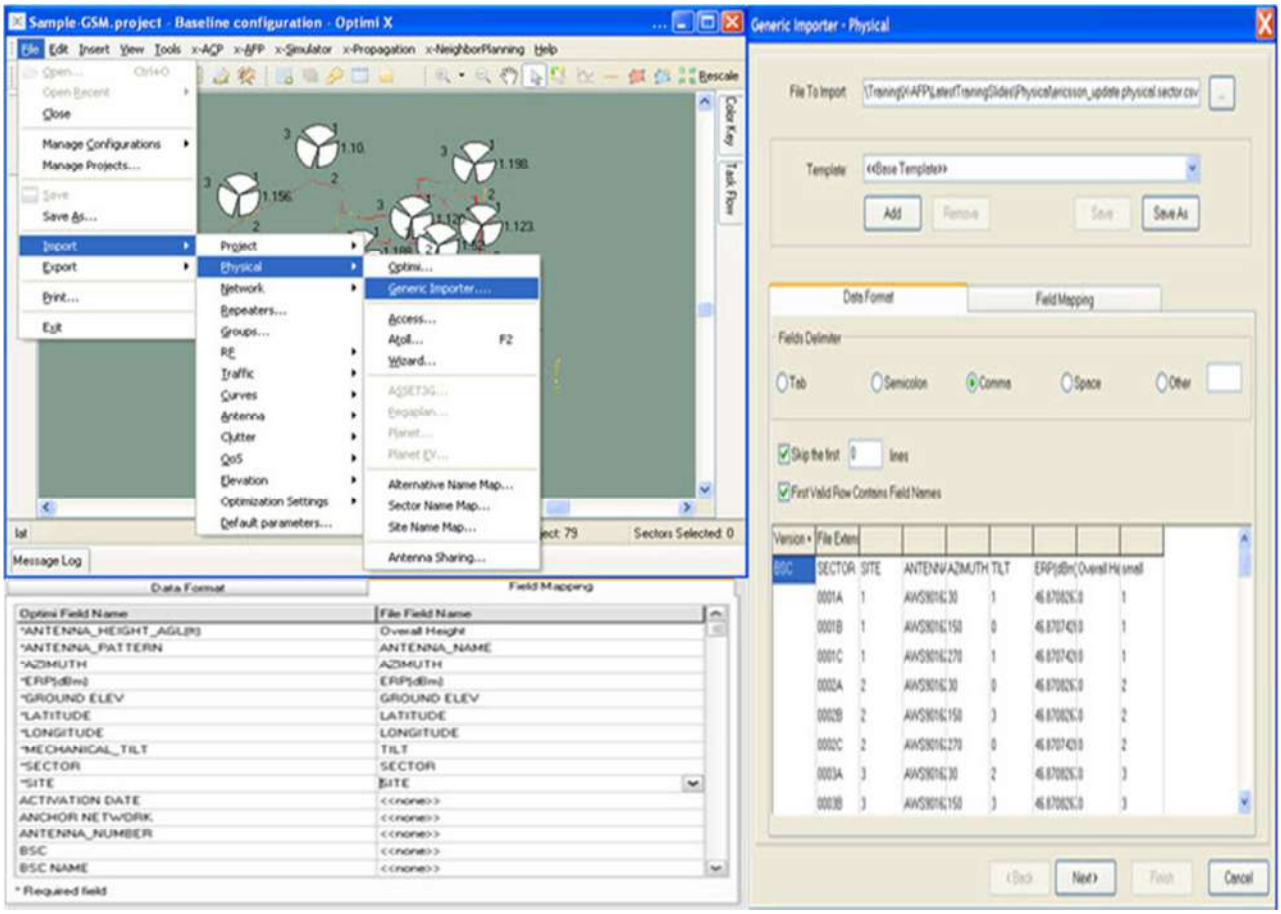


Figure IV.4. Import de données Physique sur Optimi xAFP **[25]**

Une fois l'import des données physique fait on aura la base de notre projet.

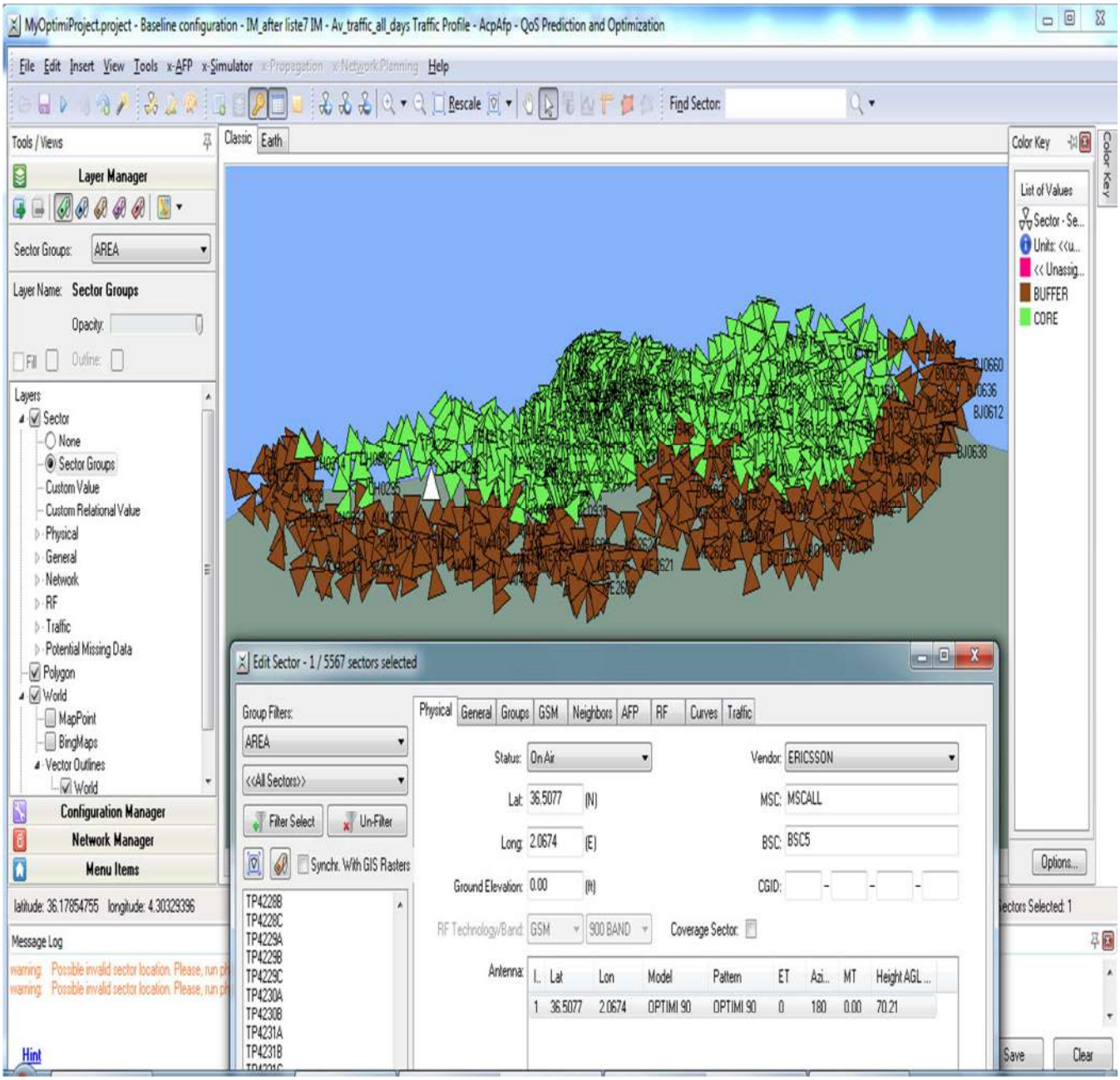


Figure IV.5 Projet xAFP **[25]**

IV.3.3.2. Les données réseau « Network Data :

Ce sont les configurations BSS des cellules, les données nécessaires sont : TRXs, BCCH, BSIC, TCH, MALs, MAIOs, HSNs et Neighbors…

Ces données sont importées des fichiers OSS de chaque (Optimi, Ericsson CNA, Nokia XML, Nokia MML, Motorola, Huawei, Siemens ASC, ZTE…). Dans Notre projet j'ai implémenté un Script UNIX qui génère automatiquement et chaque jour à 06 :00 les fichiers CNA qui seront utilisé par la suite dans les différentes étapes de projet.

IV.3.3.2.1 Import des données réseaux sur Optimi xAFP

On ouvre le File → Import → Network → GSM→ALL→Ericsson CAN R14, comme le montre le snapshot ci-dessous :

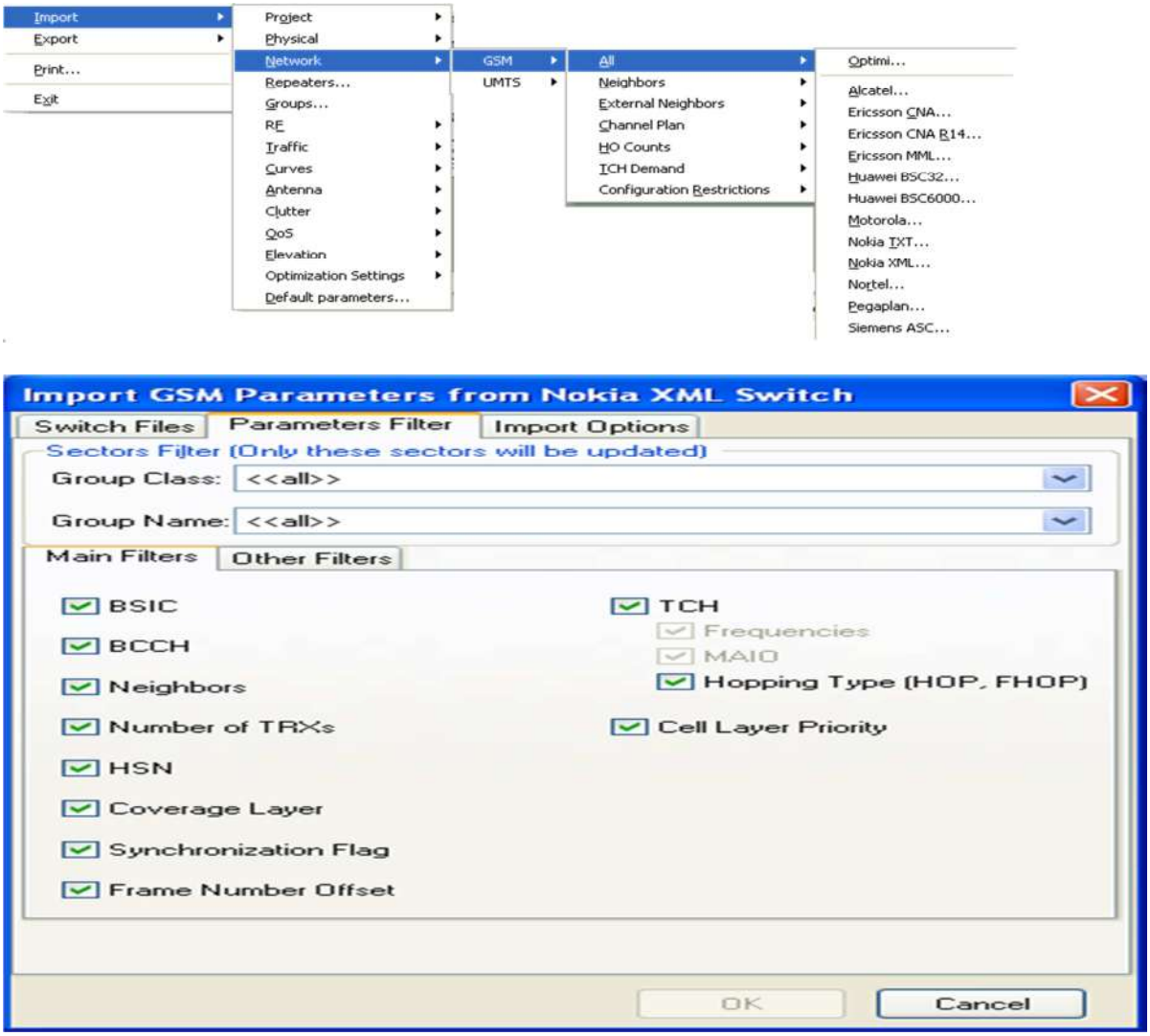


Figure IV.6. Import de données Physique sur Optimi xAFP **[25]**

IV.3.3.3. Les Contraintes de fréquences :

Les contraintes des Combiner (diffèrent d'un équipementier à un autre), tous les répéteurs (indoor et outdoor) installé, des paramètres interdit.

IV.3.3.4. Mobile measurements Reports MMR :

Dans notre cas ils s'appellent le FAS de Ericsson, ils peuvent être aussi collectés des différentes plateformes : Nokia, Siemens, Ericsson, Motorola, Alcatel, Huawei and ZTE qui sont supportés par OPTIMI xAFP. Ces measurements doivent être collectés quotidiennement. Pour programmer la collection de ces mesures on utilise le RNO (Radio Network Optimization) de Ericsson comme suit :

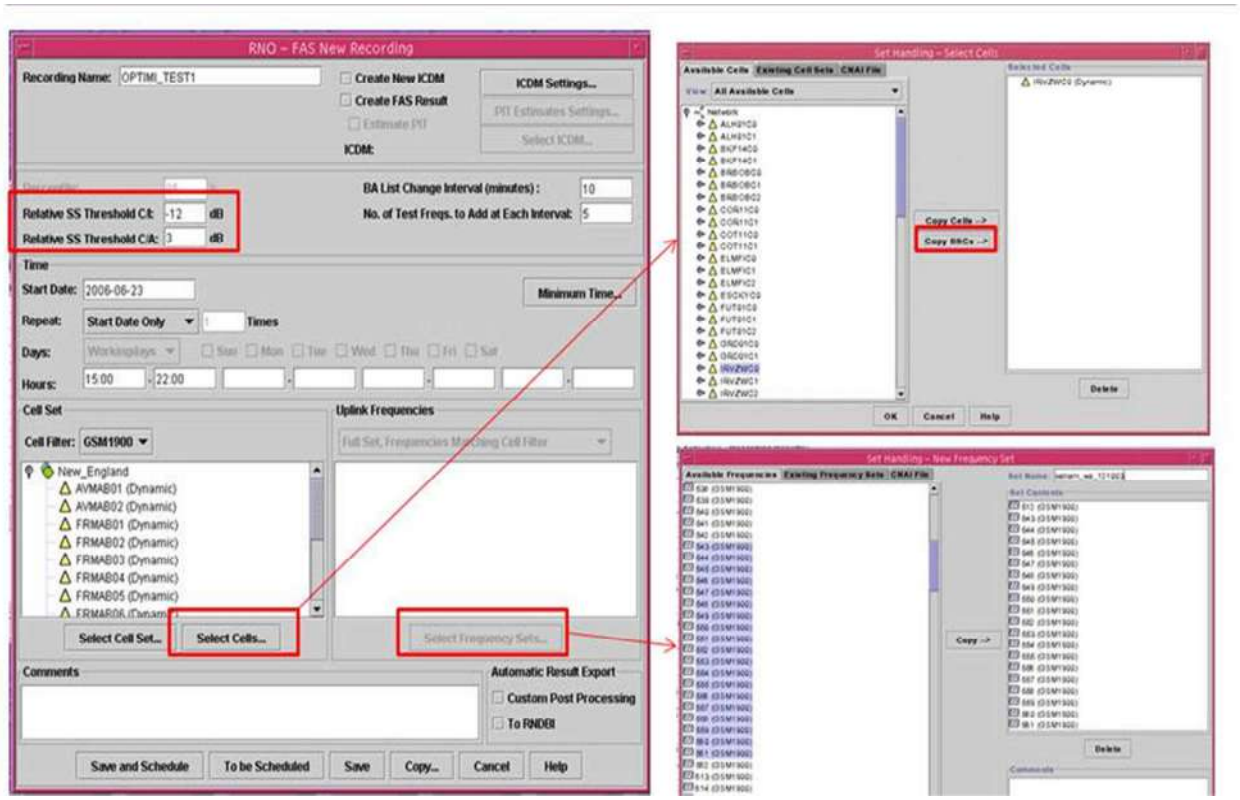


Figure IV.7. Programmation des mesures MMR(FAS) sur RNO **[22]**

IV.3.3.4.1. Import des MMR FAS sur Optimi :

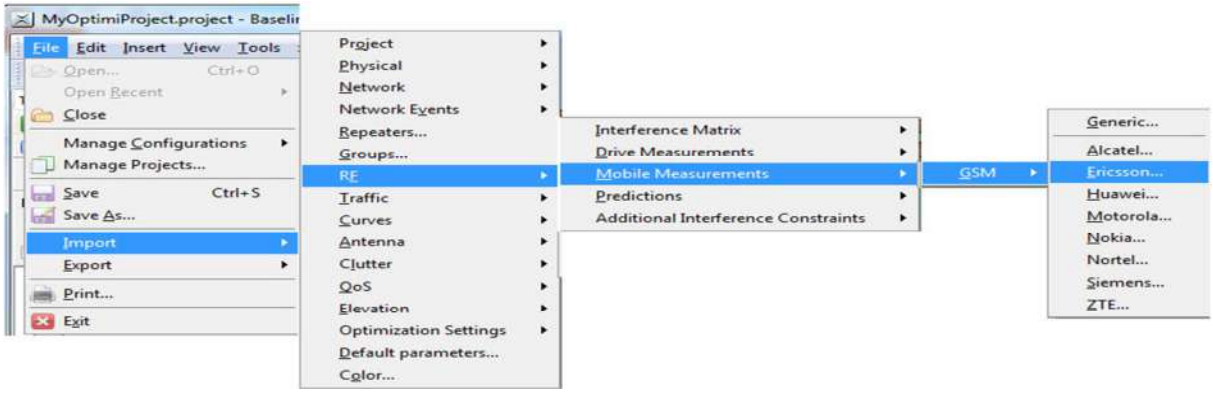


Figure IV.8. Import des fichiers MMR(FAS) **[25]**

IV.3.3.5. Statistiques de RxQual et RxLev par secteur :

Dans notre cas ce sont les MRR, ces données devrait être collecté quotidiennement au même temps que les MMRs, ils doivent contenir au minimum les busy hour, ces données sont nécessaires pour corréler la matrice d'interférence (IM prédit VS IM mesurée), et aussi pour le simulateur QoS

Ces mesures RxQual/RxLev (MRR) peuvent etre programmé toujours par l'outil RNO de Ericsson comme suit :

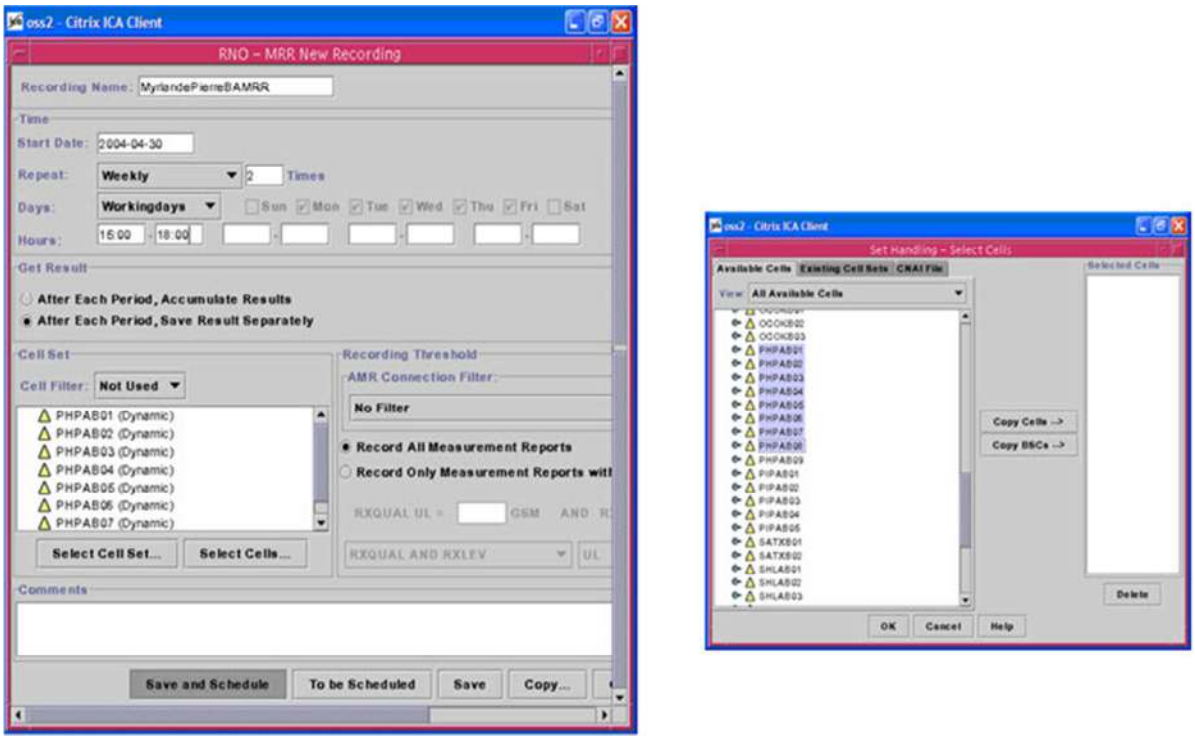


Figure IV.9. Programmation des mesures RXQual/RxLev(MRR) sur RNO **[22]**

IV.3.3.5.1. Import des RxQual/RxLev MRR sur Optimi :

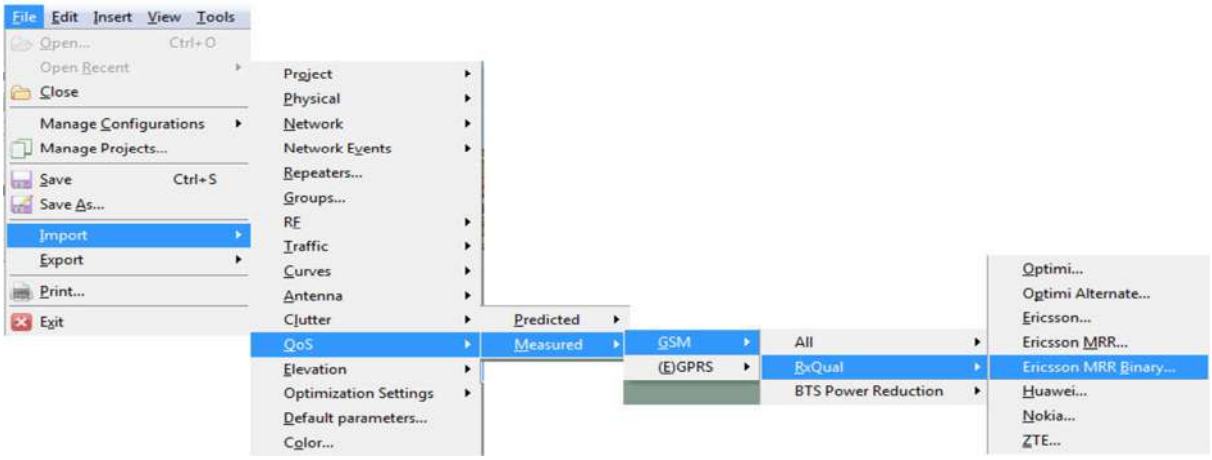


Figure IV.10. Import des fichiers RxQual/RxLev MRR **[25]**

IV.3.3.6. La correspondance quotidienne de BCCH – BSIC :

La collecte de la correspondance BCCH-BSIC doit contenir tous les secteurs du projet et sauvegarder avec les measurement radio report MMR(FAS) chaque jour, on ne doit jamais faire l'erreur et penser que le réseau est gelé comme il y aura peut-être des petits changements.

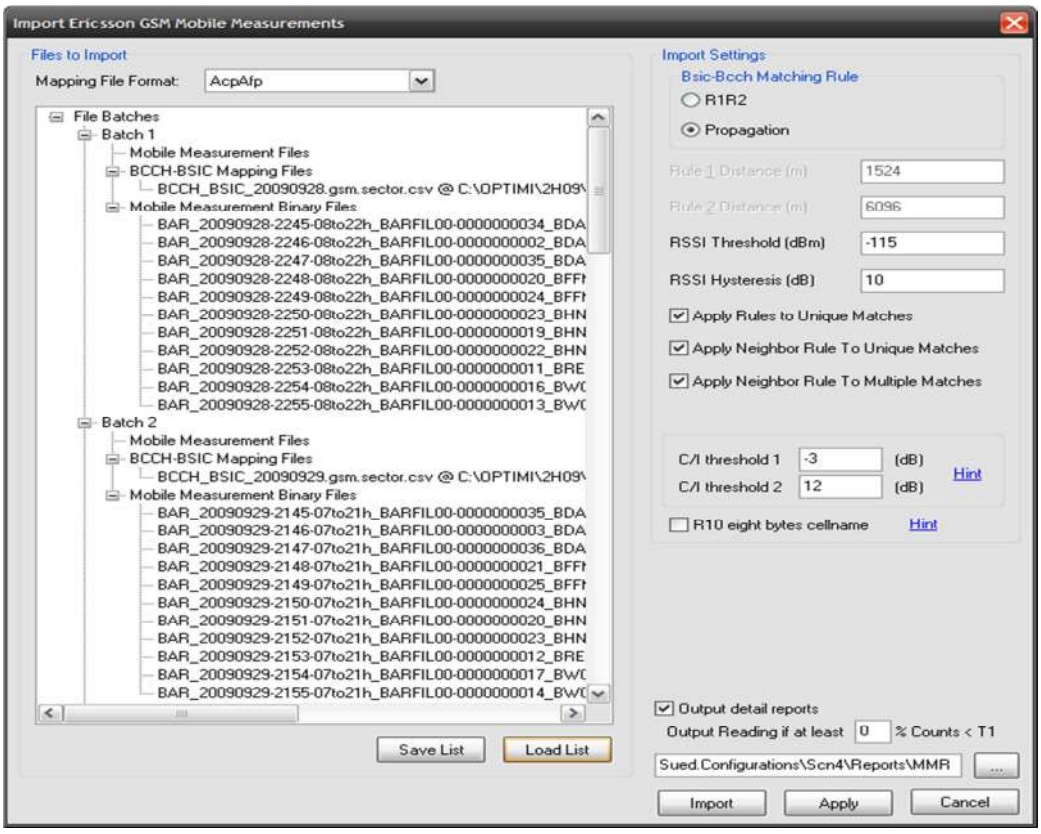


Figure IV.11. Correspondance BCCH-BSIC quotidienne **[25]**

IV.3.3.7. Le trafic et la pénétration Half Rate pra secteur :

1. On utilise la moyenne quotidienne du trafic et la pénétration HR collecté au même temps que RxQual/RxLev afin d'évaluer la matrice d'interférence, si par exemple le MRR est collecté de 8am au 8pm pendant 4 semaine, le trafic et la pénétration HR devrait être collecté comme la moyenne entre 8 am et 8 pm pendant ces 4 semaines.
2. On utilise le trafic busy hour et la HR pénétration pour l'optimisation finale

IV.3.3.8. Les statistques du Handover :

On collecte tous les HO attemps pendant les jours de la collecte des measurements, on prend la moyenne quotidienne.

Remarque: Pour les statistiques du trafic et de handover, on utilise le logiciel Businees object qui collect les informations stockées dans la base de données de l'OSS.ci-dessous un snapshot de cet outil.

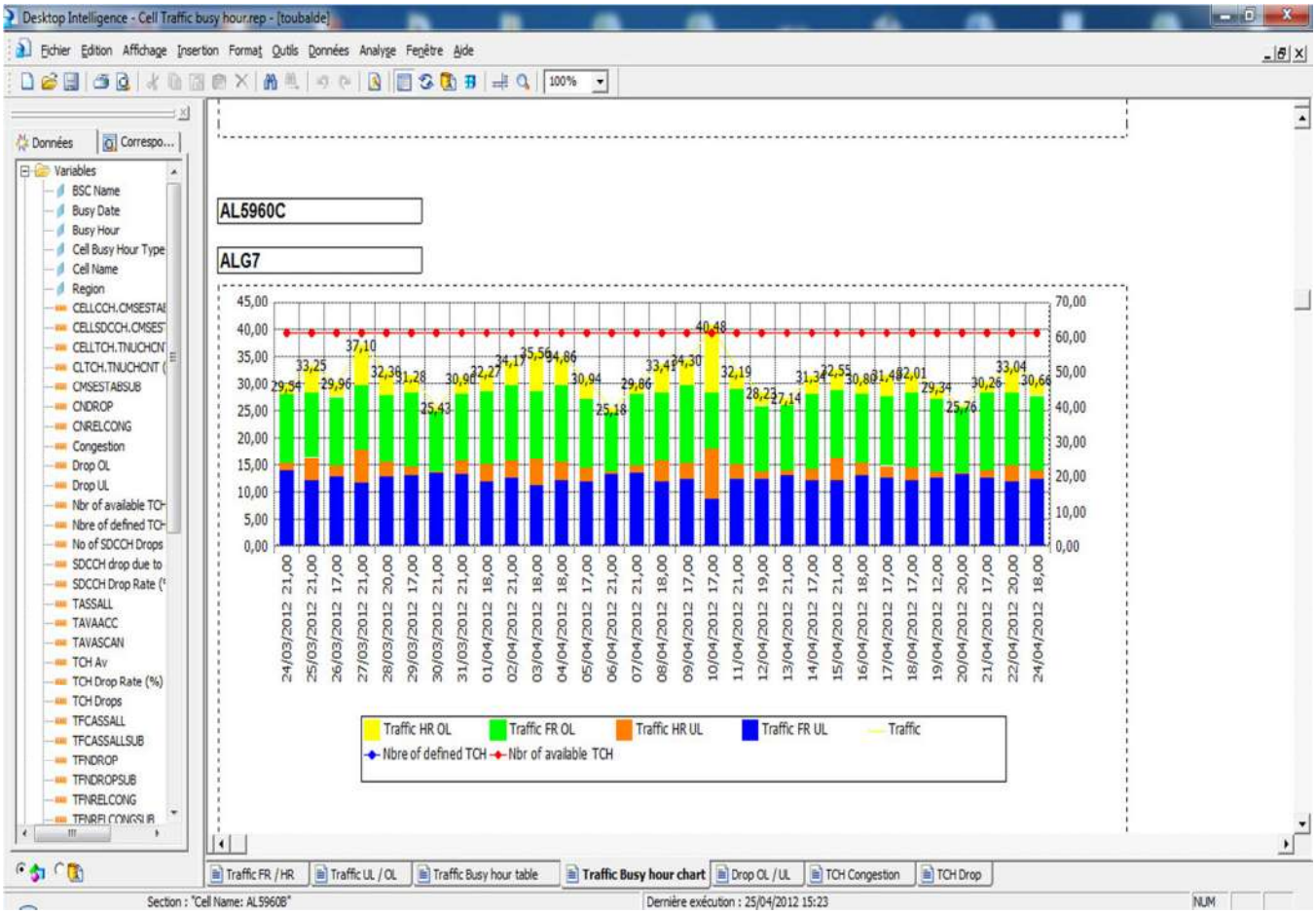


Figure IV.12. Exemple de rapport de trafic par BO

IV.4. Génération et validation de la matrice d'interférence:

Une fois le projet construit et toutes les données importés on peut proceder à la génération de la matrice d'interférence comme suit:

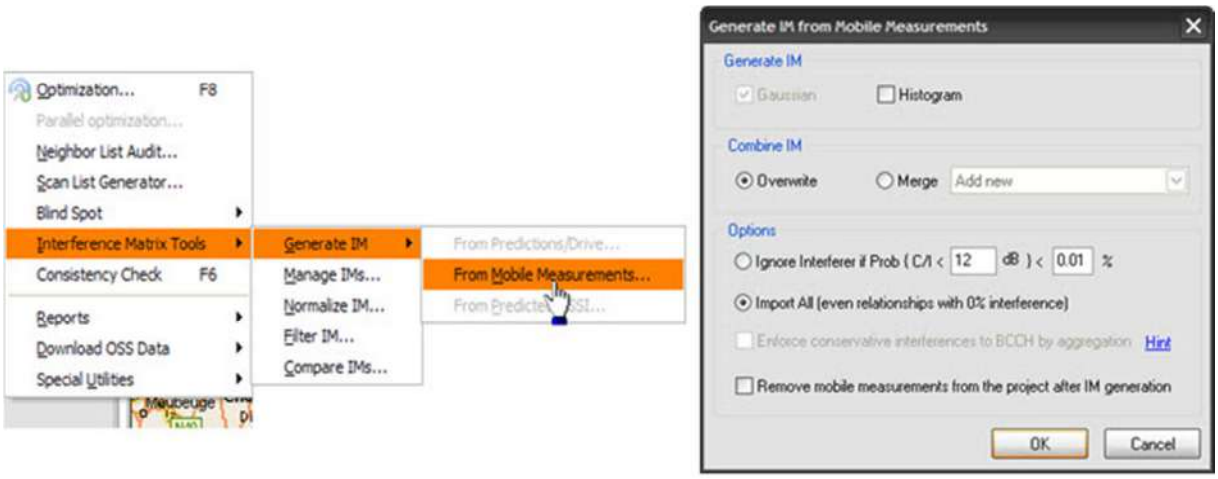


Figure IV.13. Génération de la matrice d'interférence **[25]**

IV.4.1. Validation de la matrice d'interférence:

C'est la tâche la plus importante et la plus critique du projet, c'est la où on doit lancer plusieurs tests de vérification et revivification et utiliser les utilitaires intégrés de l'outil OPTIMI xAFP afin d'améliorer au maximum la matrice d'interférence générée.

IV.4.4.1. L'utilitaire Inconsistancy Check OLAP Tables :

Pour faire les tests sur la matrice d'interférence, deux très performants utilitaires et simple à utiliser, ils nous permettent de détecter toutes les anomalies du projet de nature Physique, Réseau, Trafic, Neighbors, Handover et interférence.

Pour accéder au menu Inconsistancy check : ***x-AFP → Consistency Check où F6***

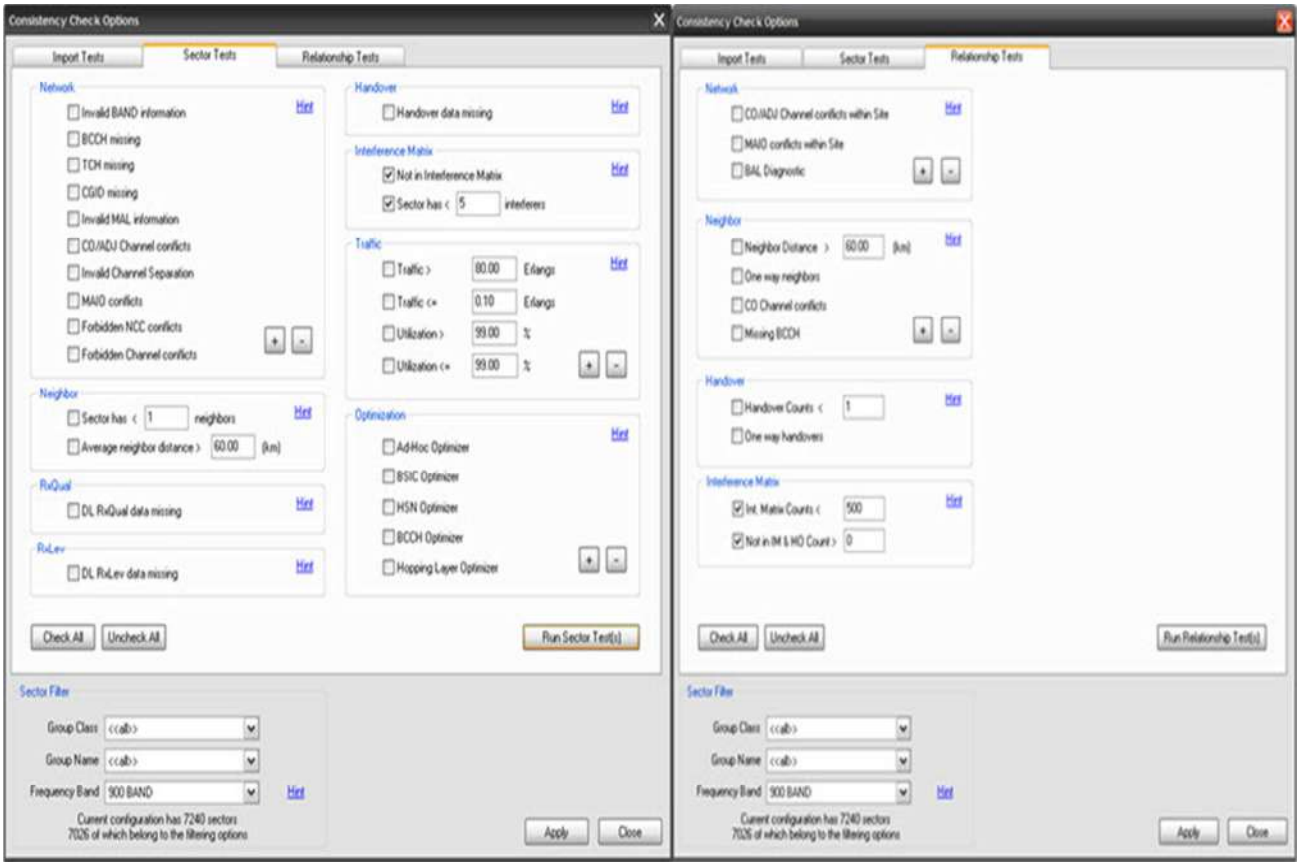


Figure IV.14 : Menu de la Consistancy check **[25]**

Nous donne des résultat avec niveau de severity différent : low, medium, high, critical, on doit toujours traiter ceux de critical et high

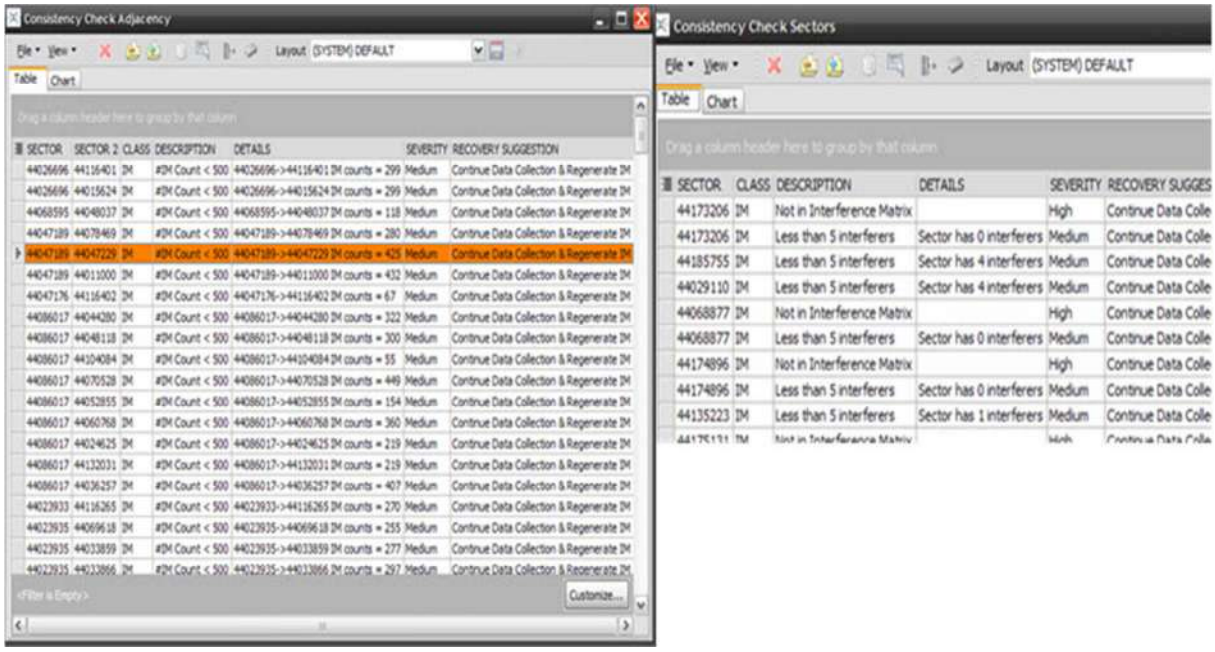
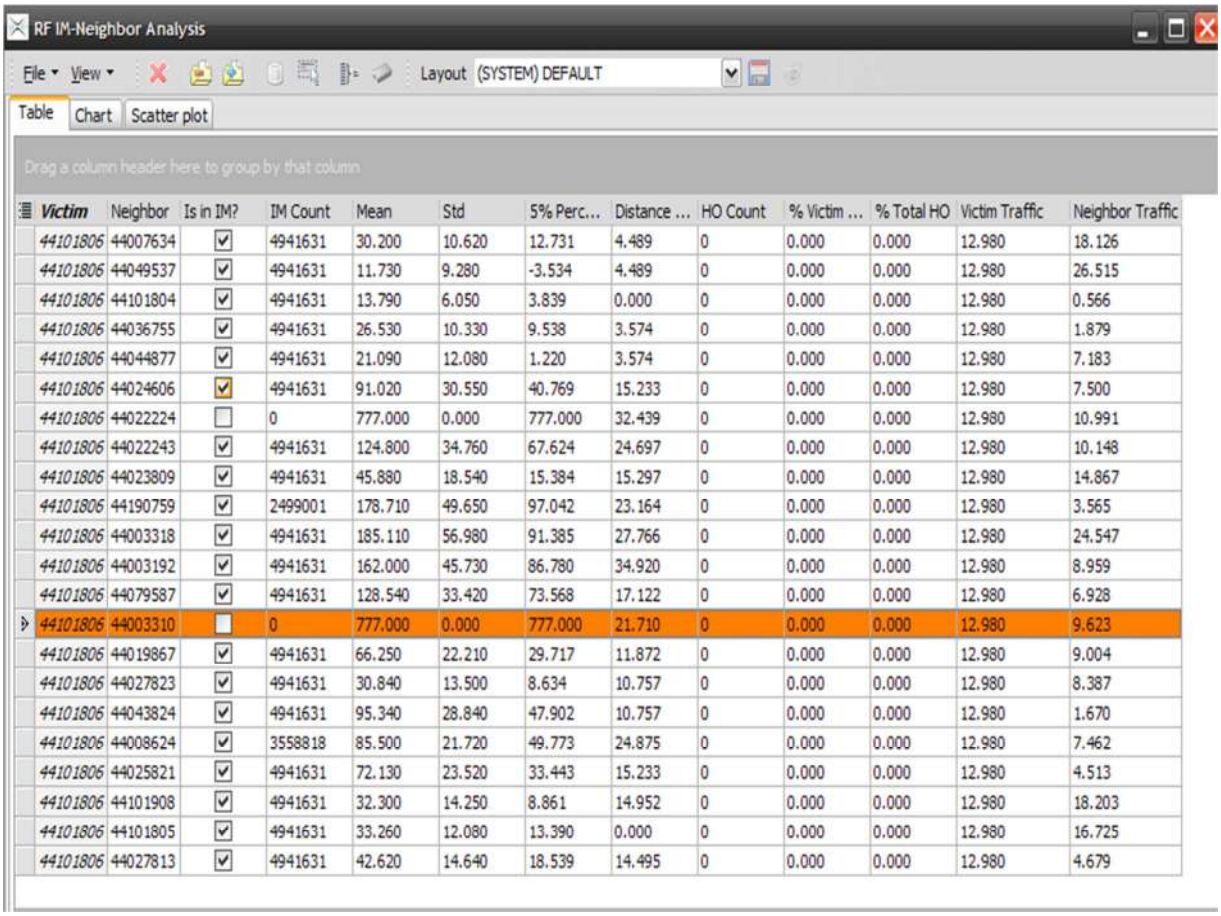


Figure IV.15 : Résultat de l'inconsistancy check **[25]**

Pour accéder au Menu OLAP table où une large variété de choix de vérification sont proposé, pour les tests de la matrice d'interférence il suffit seulement de suivre :

View → OLAP Table → RF → Interference Matrix → IM Statistics, IM Detail, IM Neighbor

Les résultats obtenus sont sous la forme :



Victim	Neighbor	Is in IM?	IM Count	Mean	Std	5% Perc...	Distance ...	HO Count	% Victim ...	% Total HO	Victim Traffic	Neighbor Traffic
44101806	44007634	☑	4941631	30.200	10.620	12.731	4.489	0	0.000	0.000	12.980	18.126
44101806	44049537	☑	4941631	11.730	9.280	-3.534	4.489	0	0.000	0.000	12.980	26.515
44101806	44101804	☑	4941631	13.790	6.050	3.839	0.000	0	0.000	0.000	12.980	0.566
44101806	44036755	☑	4941631	26.530	10.330	9.538	3.574	0	0.000	0.000	12.980	1.879
44101806	44044877	☑	4941631	21.090	12.080	1.220	3.574	0	0.000	0.000	12.980	7.183
44101806	44024606	☑	4941631	91.020	30.550	40.769	15.233	0	0.000	0.000	12.980	7.500
44101806	44022224	☐	0	777.000	0.000	777.000	32.439	0	0.000	0.000	12.980	10.991
44101806	44022243	☑	4941631	124.800	34.760	67.624	24.697	0	0.000	0.000	12.980	10.148
44101806	44023809	☑	4941631	45.880	18.540	15.384	15.297	0	0.000	0.000	12.980	14.867
44101806	44190759	☑	2499001	178.710	49.650	97.042	23.164	0	0.000	0.000	12.980	3.565
44101806	44003318	☑	4941631	185.110	56.980	91.385	27.766	0	0.000	0.000	12.980	24.547
44101806	44003192	☑	4941631	162.000	45.730	86.780	34.920	0	0.000	0.000	12.980	8.959
44101806	44079587	☑	4941631	128.540	33.420	73.568	17.122	0	0.000	0.000	12.980	6.928
44101806	44003310	☐	0	777.000	0.000	777.000	21.710	0	0.000	0.000	12.980	9.623
44101806	44019867	☑	4941631	66.250	22.210	29.717	11.872	0	0.000	0.000	12.980	9.004
44101806	44027823	☑	4941631	30.840	13.500	8.634	10.757	0	0.000	0.000	12.980	8.387
44101806	44043824	☑	4941631	95.340	28.840	47.902	10.757	0	0.000	0.000	12.980	1.670
44101806	44008624	☑	3558818	85.500	21.720	49.773	24.875	0	0.000	0.000	12.980	7.462
44101806	44025821	☑	4941631	72.130	23.520	33.443	15.233	0	0.000	0.000	12.980	4.513
44101806	44101908	☑	4941631	32.300	14.250	8.861	14.952	0	0.000	0.000	12.980	18.203
44101806	44101805	☑	4941631	33.260	12.080	13.390	0.000	0	0.000	0.000	12.980	16.725
44101806	44027813	☑	4941631	42.620	14.640	18.539	14.495	0	0.000	0.000	12.980	4.679

Figure IV.16 : Résultat de OLAP table **[25]**

Avec ces deux utilitaires on peut détecter les anomalies suivantes :

- Les cellules avec zéro de relation dans la IM.
- Les cellules avec peu de relation IM (<5, rural, indoor ou les pico cellules).
- Les relations IM avec peu de nombre, c.-à-d. moins de 500.
- Les Neighbors qui n'ont pas de relation IM.
- Identifier les cellules ou le trafic busy hour est en dehors la période d'enregistrement, ce qui peut expliquer le peu de relation dans la IM.

IV.4.4.2. Corrélation de la matrice d'interférence :

Pour évaluer la matrice d'interférence et sa justesse il faut comparer le RxQual mesuré (le MRR) avec le RxQual prédit en utilisant la matrice d'interférence générée aven l'actuel plan de fréquence et les statistiques de trafic correspondant à la période d'enregistrement, pour cela on a besoin de :

- RxQual mesuré pour la même période que l'enregistrement du FAS pour comparer.
- LA configuration BSS pour la meme période collecté quotidiennement (CNA files), pour les secteurs On-Air seulement.
- Données trafic pour la meme période d'enregistrement que le RxQual mesuré.

IV.4.4.2.1. Simulation de RxQual :

Pour lancer le simulateur de QoS : x-Simulator→ GSM Simulation. Plusieurs paramètres sont à définir :

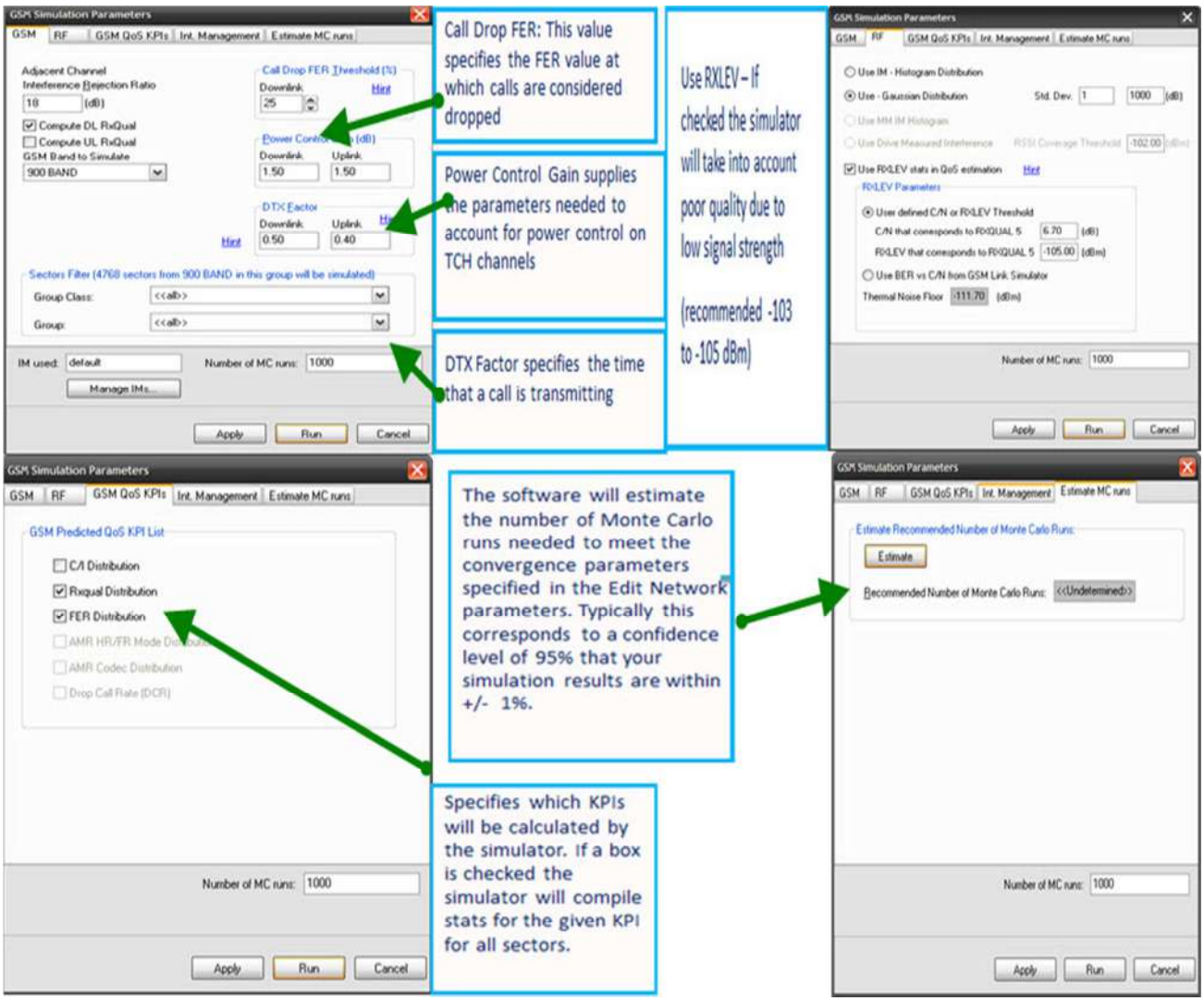


Figure IV.17 : Paramètres du simulateur de QoS **[25]**

Les paramètres de la simulation de la QoS sont :

1. Drop Call FER : Cette valeur spécifie la valeur de FER (Frame Error Rate) à laquelle l'appelle sera considéré comme droppé.
2. Le gain en control de puissance : fournit le paramètre du control de puissance dans les canaux TCH.
3. Le facteur DTX : spécifie le temps de transmission d'appel.
4. Utilisation de la RxLev : Le simulateur va prendre en considération la qualité poor due au faible signal strength (valeur recommandée de 103-105 dBm) **[25]**.

IV.4.4.2.2. Résultat du simulateur de Qos et onterprétation :

On obtient des résultats sous formes de tableaux et sous-formes de graphe pour mieux visualiser la convergence

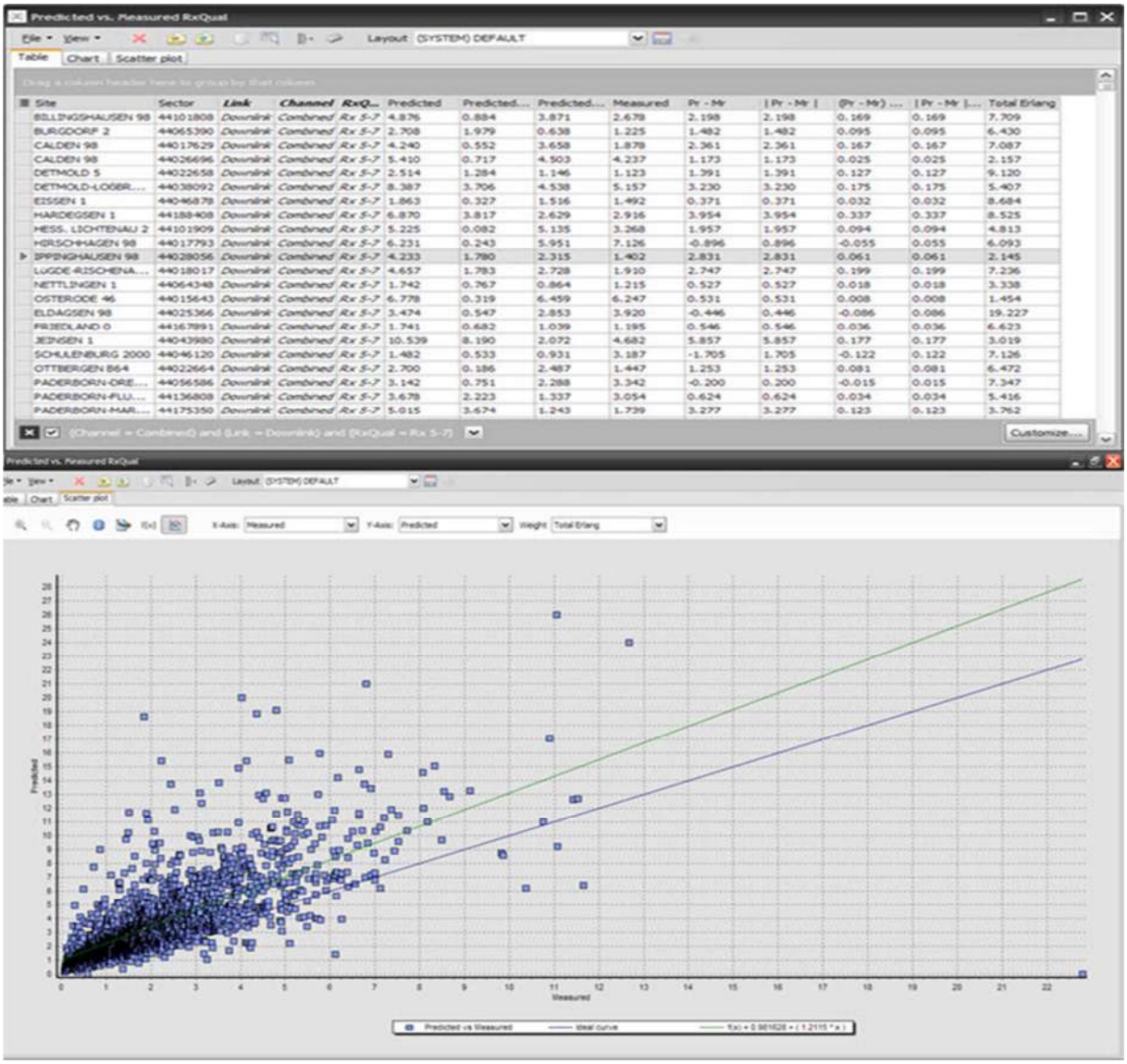


Figure IV.18 : Résultats du simulateur de QoS **[25]**

Plus ligne verte s'approche la ligne bleue (l'idéale) plus la matrice d'interférence est bonne, bien évidemment il est impossible d'avoir la courbe idéale, toutefois il est vivement recommandé d'avoir une matrice IM overpridected que de l'avoir underpredicted.

Que faire pour une mauvaise corrélation de la matrice d'interférence ?

- **RxQual mesurée :**
  1. Revoir les secteurs qui n'ont pas de données de mesures.
  2. Refaire la corrélation chaque jour, et sélectionner les jours où on a une bonne corrélation.
  3. Sommer les mesures de ces jours en une nouvelle IM composite.

- **Données trafic :**
  1. Vérifier la justesse du trafic avec la periode d'enregistrement, cela est très critique et peut engendrer beaucoup de problèmes pour la corrélation.

- **Données réseau :**
  1. Vérifier chaque jours la configuration BSS apres l'import des fichiers binaires BARFIL et MRRFIL.

- **Données physiques :**
  1. Il faut s'assurer surtout que la base de données des sites est mis à jours (coordonnées GPS, tilt, hauteur HBA…)

- **Données de MMR er MRR :**
  1. Importer au minimum 2 semaines de measurements (le cas parfait 3 semaines avec la derniers semaine réseau gelé, c.-à-d. pas de changement de hardware.
  2. Vérifier que les measurements sont collectées dans la même période.

Il faut vérifier, vérifier et encore une fois vérifier…

IV.5. Optimisation du plan de fréquence:

Une fois arrivé à ce stade, c.-à-d. la matrice d'interférence est corréler, on peut lancer l'optimisateur du plan de fréquences : ***x-AFP → Optimization***

Plus le nombre d'itération est grand mieux seront les résultats, toutefois on aura besoin de grand calculateur pour un nombre d'itération important et une taille de réseau grande, OPTIMI xAFP offre la possibilité de lancer l'optimisation sur plusieurs serveur (calcul partagé).

On peut changer les paramètres de l'optimisation de BCCH, mais il est vivement recommandé de laisser les paramètres par default jusqu'à ce qu'on devient des expert de OPTIMI xAFP.

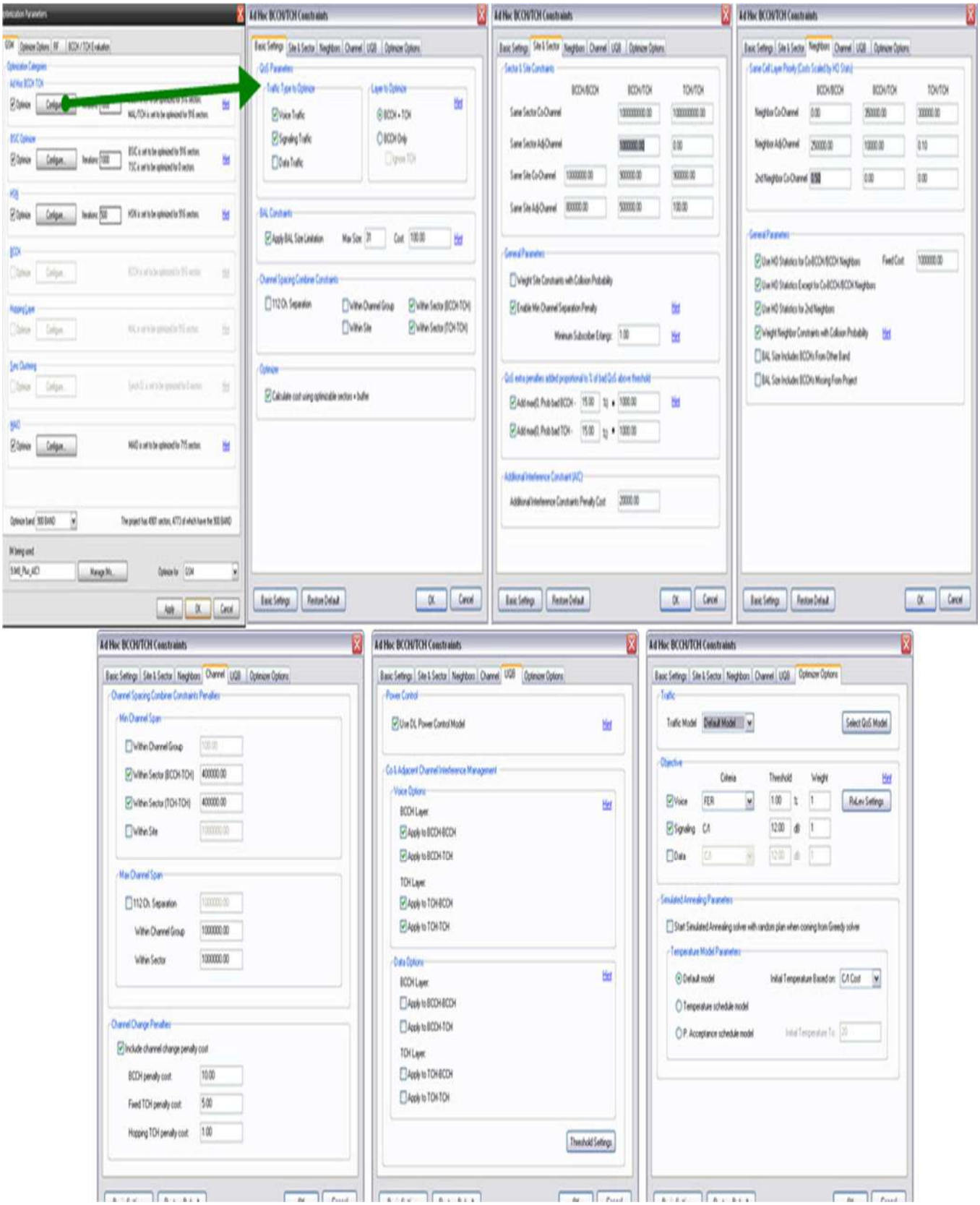


Figure IV.19 : Paramètres de l'optimisation **[25]**

IV.6. Résultat de notre projet sur la zone de grand Alger:

On a lancé plusieurs scénarios de plan de fréquences afin de choisir le meilleur pour l'implémenter, les différents scénarios simulés, la comparaison se fait à la base de l'amélioration de la QoS.

Les comparaisons sont résumés dans les snapshots ci-dessous :

- **La bande 900 MHz :**



Figure IV.20 : Résultats des différents scénarios de la bande 900

- **La bande 1800 MHz :**

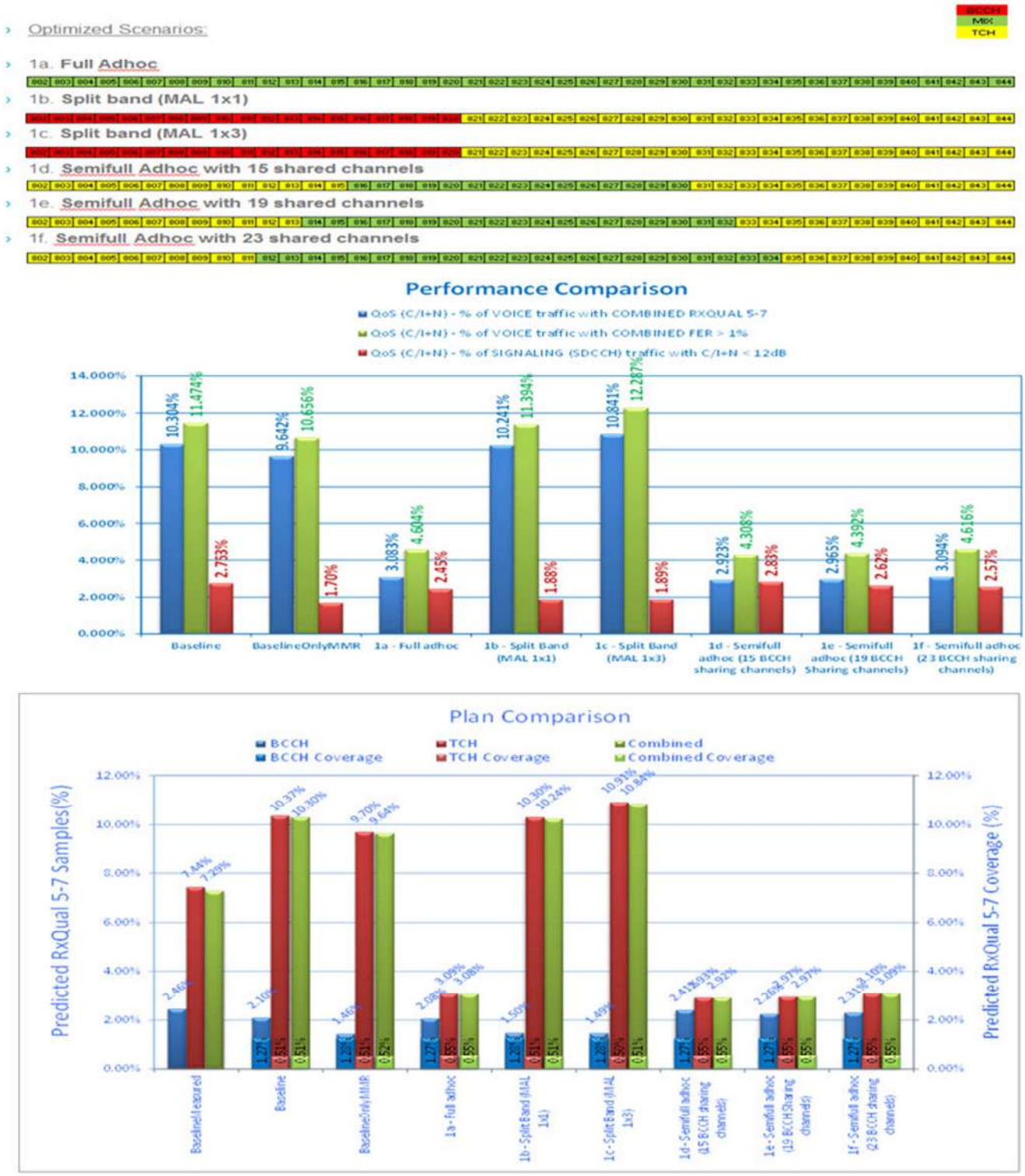


Figure IV.21 : Résultats des différents scénarios de la bande 1800

IV.7. Choix du nouveau plan de fréquences et implémentations:

En se basant sur les résultats des différents scénarios, on a opté pour la stratégie semi full ad hoc avec 18 canaux TCH partagés avec la BCCH qui présente les meilleur performances, le nouveau plan de fréquences générait sous forme de 3 fichiers CNA séparés : le premier avec le plan de fréquences (BCCH, BSIC, MAIO, HSN) le deuxième pour les Neighbors et le troisièmes pour la BA liste.

Ces fichiers ont été exécuté le 12/05/2012 après une première tentative échoué le 05/05/2012 pour un problème de l'OSS. Les résultats obtenus après implémentation était meilleur que ce qu'on a prévu.

Ce nouveau plan de fréquences à diminuer considérablement les interférences internes ce qui en résulte une nette amélioration pour toutes les KPI 'Key Performances Indicators' (en français les indicateurs clef de performances), les plus importantes améliorations touchent la qualité de la voix (Speech Quality Index SQI), le TCH drop et le SDCCH drop.

1. Speech Quality Index SQI : Comme l'interférence a considérablement diminuer et donc par conséquences la qualité de liaison sur l'interférence Air devient pus 'clean' pour tous les utilisateurs et donc les abonnés ont perçu une nette amélioration de la qualité de voix de leur correspondants, sur l'OSS les performances ont confirmés ça, cette indicateur a enregistré une amélioration de 42%.

2. TCH drop rate : le pourcentage de perte de TCH (Traffic Channel) : le résultat directe de l'amélioration de la qualité de l'interface Radio est la diminution du nombre de drop de TCH, cette indicateur a enregistré une amélioration de 23%.

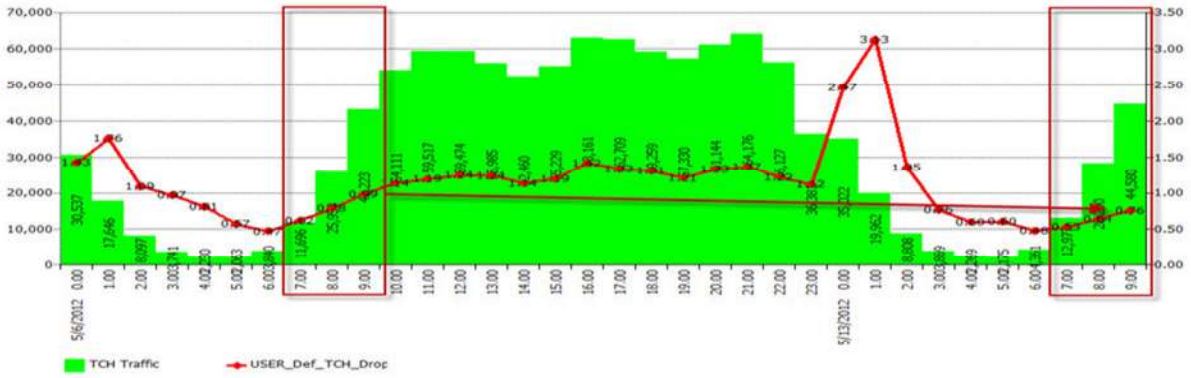
3. SDCCH drop rate : toujours comme résultat directe de l'amélioration de la qualité de la liaison radio, le nombre de drop du SDCCH (signalisation) a aussi diminué considérablement de 18%.

Ci-dessous les performances après implémentation du plan de fréquences.

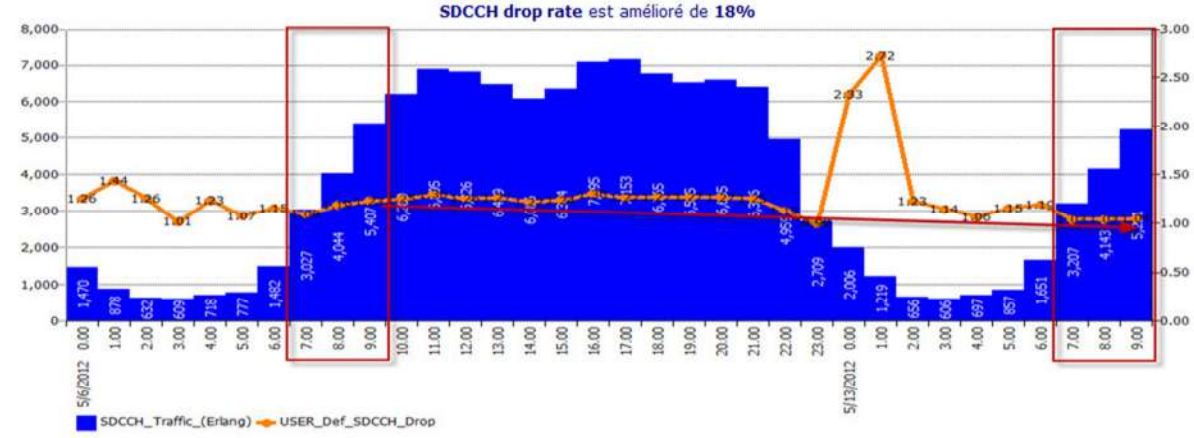
amélioration de SQI good, dimuntion de SQI bad et acceptable

Date	TCH Traffic (Erlang)	Speech Quality Index - Good (%)	Speech Quality Index - Acceptable (%)	Speech Quality Index - Bad (%)
Jan-17 *	59782	**76.1**	20.2	**3.8**
May-06	65758	91.3	6.4	2.3
May-07	65090	91.5	6.3	2.2
May-08	65560	91.4	6.4	2.3
May-09	63428	91.6	6.2	2.2
May-10	60144	92.6	5.4	2
May-11	55001	93.4	4.8	1.8
May-12	60358	92.6	5.5	2
May-13 **	65196	**93.5**	4.9	**1.6**

TCH drop rate est amélioré de **23%**



SDCCH drop rate est amélioré de **18%**



SQI Bad s'est amélioré de **42%**



Figure IV.22 : Performances de la zone optimisée

IV.8. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre on a vu en détail les étapes nécessaires pour obtenir un bon plan de fréquences accompagnés du projet pilote qu'on a exécuté dans une zone dense et chargé du réseau NEDJMA, le plan de fréquence généré par l'outil OPTIMI xAFP et les résultats qu'on obtenu après son implémentation prouve en premier lieu la réputation de cet outil et montre l'efficacité de l'algorithme hybride avec la méthode de recherche tabou qu'il utilise.

Bien que cet algorithme ait donné les meilleurs résultats dans la planification de fréquences, toutefois il présente bien des inconvénients, Ericsson avec ces laboratoires R&D continue à développer et chercher à appliquer d'autres algorithmes de la recherche opérationnelle dans ce domaine.

Conclusion Générale et Perspectives

Ces dernières années ont vu se développer un engouement particulier pour la téléphonie mobile. La qualité des services proposés par les opérateurs et les faibles encombrements et coûts d'acquisition des terminaux ont grandement contribués à ce succès. En complément, la libéralisation des marchés agissant sur la baisse des tarifs des communications ont rendu accessibles les services mobiles au grand public. Pour les opérateurs, cet engouement se traduit par le déploiement de réseaux radio mobiles servant des milliers d'abonnés.

Dans ce contexte, le design des réseaux revêt une difficulté extrême induite par la multitude et la complexité des problèmes d'ingénierie à résoudre. Nous nous sommes intéressés au problème d'affectation de fréquences qu'on fait face quotidiennement au sein de l'opérateur Mobile NEDJMA et dont j'en suis le responsable.

Etant donné que ce problème est de type NP difficile, Les méthodes traditionnelles d'affectations de fréquences s'avèrent très limitées et ne répondent plus à nos besoin surtout quand la taille du réseau est devenu très grande, et donc on a été forcés de chercher à appliquer les méthodes de recherches opérationnelle à savoir les algorithmes heuristiques pour y remédier, L'algorithme hybride qui combine l'algorithme génétique avec la méthode de recherche tabou a montré son efficacité et les outils de planification qui l'utilisait sont réputé d'être les meilleurs.

Dans le marché on a une large variété d'outil de planification de fréquence, dans le passé on utilisait au sein de notre entreprise l'outil Atoll basé sur la simulation de propagation outdoor, on s'est rendu compte que plus le nombre de sites est augmenté, surtout pendant les trois dernières années, les solutions proposées par Atoll avaient à maintes reprises de mauvais impact sur la qualité du réseau, et donc on a cherché d'autres outil pour y remédier.

On a opté pour l'outil OPTIMI xAFP de Ericsson utilise l'algorithme hybride, et pour cela nous avons choisi une zone très dense et très chargé, la zone du grand Alger, et les résultats fournis sont plus que satisfaisantes.

Comme perspective du travail nous proposons :

- Implanter l'algorithme hybride dans un programme on utilisant l'outil MATLAB et voir les résultats qu'il donne en faisant varier à chaque fois les données d'entrée pour un réseau de petit taille, 300 cellules environ.
- Le test d'autres heuristiques pour la résolution du problème d'affectation de fréquence et surtout les méthodes hybrides vu le succès et l'efficacité qui les caractérisent, cela fait bien l'objet d'une thèse pour l'obtention du doctorat