Table des matières

RESUME

TABLE DES MATIERE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

GLOSSAIRE

INTRODUCTION GENERALE……1

PARTIE I :
Architecture générale d'un réseau GSM.

I.1. . Introduction…… …....2

I.2. Historique ……...……..2

I.3. Présentation de la norme GSM :…….3

I.4. L'architecture du réseau GSM :……..3

I.5. Sous système radio (BSS):……4

I.5.1.1 Station de base (BTS) :…….....4

I.5.1.2 Contrôleur de station de base (BSC):……5

I.5.2 Sous système réseau (NSS):……5

I.5.2.1 Commutateur (MSC):……5

I.5.2.2 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) :……5

I.5.2.3 Enregistreur de localisation nominale (HLR):…….....6

I.5.2.4 Centre d'authentification (AUC) :…….……6

I.5.2.5 Enregistreur des identités des équipements (EIR) :…….……6

I.5.3 Le sous système d'exploitation et de maintenance(OSS) :…….6

I.5.4 La station mobile (MS) :……6
I.6. Les interfaces du réseau GSM:……..7
I.7. La Transmission radio ……8
I.7.1 Allocation des fréquences…….....8
I.7.2 Les canaux physiques ……9
I.7.2.1 Multiplexage fréquentiel FDMA ……..9
I.7.2.2 Multiplexage temporel TDMA …….....10
I.7.3 Les canaux logiques …….....12
I.8. Le concept cellulaire ……13
I.8.1 Cellule……...13
I.8.2 Déploiement des réseaux cellulaires:……...15
I.8.2.1 La macro cellule omnidirectionnelle :……..15
I.8.2.2 La macro cellule bi sectorisée ……..15
I.8.2.3 La macro cellule tri sectorisée ……15
I.8.2.4 Le modèle hexagonal ……..16
I.8.2.5 conclusion ……17

PARTIE II :

Planification radio dans le réseau GSM

II.1 Introduction……18
II.2 l'objectif de la planification……..18
II.2.1 L'objectif……..18
II.3 contraintes radio…….....19
II.3.1 Rapport signal sur bruit C/N……...…19
II.3.2 Rapport signal sur interférences C/I……20
II.3.2.1 Les interférences……20
II.3.2.2 le rapport C/I…….....21

II.4 Contraintes de trafic…….....23
II.5 Planification du réseau GSM.…….....24
II.5.1 Dimensionnement du réseau GSM.……..24
II.5.2.Analyse du trafic et de la couverture.……...25
II.5.2.1 Collecte des données de base…….25
II.5.2.2 Calcul de trafic……26
II.5.3 Allocation et Réutilisation des fréquences.……....27
II.5.3.1 Réutilisation des fréquences.…….....27
II.5.3.2 Le motif cellulaire……28
II.5.4 Exemple …….....29
II.6 Conclusion:…… 32

PARTIE III:

Algorithme génétique pour l'affectation des fréquences

II.1 Introduction…….33
III.2 Algorithme génétique ……33
III.2.1 Présentation général…….…33
III.2.2 Principe d'algorithme génétique …….…33
III.2.2.1 L'opérateur de sélection……....34
III.2.2.2 L'opérateur de croisement……..35
III.2.2.3 L'opérateur de mutation …….……..38
III.2.3 Paramètre de la population …….39
III.2.4 Paramètre des conditions d'arrêt…….....40
III.2.5 Algorithme ……..……41
III.3.L'Algorithme génétique implémenté……...……42
III.4 Les étapes d'algorithme génétique implémenté……...…….....43
III.5. Résultats obtenus……....44

III.6 Conclusion ……..……48

Conclusion générale…….49

Références bibliographiques

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques techniques.

Tableau II.1: Le nombre de canaux voix en fonction du nombre de porteuses attribuées à une cellule.

Tableau II.2: Tailles de motif cellulaire.

Tableau II.3: Table d'Erlang.

Tableau II.4: Table des fréquences.

Tableau III.1:Schéma de croisement à un point.

Tableau III.2 : Schéma de croisement à deux points.

Tableau III.3:les différents gènes pour les parents et les enfants.

Tableau III.4: schéma de croisement uniforme.

Tableau III.5: Schéma d’une mutation classique.

Liste des figures

Figure I.1: Architecture globale du réseau GSM.

Figure I.2: les interfaces du réseau GSM.

Figure I.3: Principe du FDMA**.**

Figure I.4: Principe Du TDMA.

Figure I.5: Structure temps fréquence des canaux physiques.

Figure I.6: les cannaux logiques d'un réseau GSM.

Figure I.7: Le modèle hexagonal.

Figure II.1: Interférences entre cellules voisines réutilisant la même fréquence sur un Modèle hexagonal.

Figure II.2:planification cellulaire pour le réseau GSM et le réseau analogique.

Figure II.3: Exemple de réutilisation des fréquences.

Figure II.4: Distribution de fréquences pour les trois opérateurs.

Figure II.5: Motif cellulaire 4/12

Figure III.1: Slicing crossover.

Figure III.2: Slicing crossover 2 points.

Figure III.3: Croisement barycentrique**.**

Figure III.4: Schéma général d'un algorithme génétique.

Figure III.5 : Exemple d'un chromosome.

Figure III.6 : Réseau MOBILIS de la ville de Maghnia.

Figure III.7: La matrice des cellules adjacentes (neighboring cells).

Figure III.8: Représentation des interférences Co-canal de BCCH dans la région de Maghnia avant d'utiliser l'algorithme génétique.

Figure III.9 : Capture de l'application implémentée.

Figure III.10: Représentation des interférences Co-canal de BCCH dans la région de Maghnia après l'utilisation de l'algorithme génétique.

Glossaire

A AG: Algorithme Génétique.

AMRT : Accès Multiple par Répartition dans le Temps.
AMRT: Accès Multiple par Répartition dans la Fréquence.
AuC: Authentification Center.

B BCCH: Broadcast Control Channel.

BCH: Broadcast Channel.
BSC: Base Station Controller.
BSIC: Base Station Identity Code.
BSS: Base Station Subsystem.
BTS: Base Transceiver Station.

C CCCH: Commun Control Channel.

CEPT : Conférence Européenne des Postes et Télécommunications.
C/N: Canal /Noise.
C/I : Canal/Interférence.
Cellule**:** Ensemble des points où' le mobile peut dialoguer avec une station de base donnée avec une qualité suffisante**.**

D DCCH: Dedicated Control Channel.

DSP: Densité Spectrale de Puissance.
Downlink: Sens de transmission de la BTS vers la MS

E EDGE: Enhanced Data rate for GSM Evolution.

EIR: Equipment Identity Register.
ETSI: Européenne Télécommunication Standards Institue.

F FACCH: Fast Access Control Channel.

FCCH: Frequency Correction Channel.
FDMA: Frequency Division Multiple Access.

Rapport-Gratuit.com

G GMSC: Gateway MSC.

GPRS: General Packet Radio Service.
GSM: Global System for Mobile Communications.

H HLR: Home Location Register.

I IMEI: Internet Mobile Equipment Identity.

ICC: interférences Co-canal
IIS: interférences inter-symboles
IIF: encore appelées interférences canaux-adjacents

L LAC: Location Area Code.

LAPDm: Link Access Protocol on the Dm Channel.
LAPD: Link Access Protocol on the D Channel.

M MAP: Mobile Application Protocol.

MS: Mobile Station.
MSC: Mobile Switching Center.
MTP: Message Transfer Protocol.

N NSS: Network Management Center.

O OMC: Operation and Maintenance Center.

OMC-R: Operation and Maintenance Center Radio.
OSI: Open System Interconnection.

P PIN: Personnel Identity Number.

Q QOS: Quality Of Service.

R RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Service.

S SACCH: Slow Associated Control Channel.

SCH: Synchronization Channel.
SDCCH: Stand-alone Dedicated Control Channel.
SIM: Subscriber Identity Module.
Slot Intervalle de temps élémentaire en TDMA qui peut accueillir un burst.

T TCH: Traffic Channel.

TDMA: Time Division Multiple Access.
TS: Time Slot.

U UMTS: Universal Mobile Telecommunication System.

Uplink: Sens de transmission de la MS vers BTS.

V VLR: Visitor Location Register.

W WAP: Wireless Application Protocol.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Introduction Générale

Introduction générale

De nos jours les systèmes radio mobiles cellulaires constituent l'un des moteurs les plus puissants du marché de la télécommunication. En effet, le taux de croissance du nombre d'abonnées est quasi exponentiel et dépasse largement la plupart des prévisions les plus optimistes établies lors du lancement des premiers systèmes de radiocommunication mobiles au début des années quatre vingt. Ces systèmes sont accessibles aujourd'hui à un public de plus en plus large leur permettant d'émettre et de recevoir de la parole et des données numériques.

Les systèmes radio-cellulaires GSM sont basés sur le mécanisme de réutilisation des fréquences. Dans ce cadre, le processus d'affectation des fréquences est crucial pour la planification d'un réseau cellulaire. C'est un problème d'optimisation qui consiste à choisir un plan de fréquence optimal de sorte à satisfaire les contraintes de demande en trafic et de qualité de la communication tout en minimisant l'interférence co-canal et de canaux adjacents. Dans ce travail, nous développons un outil d'optimisation permettant de donné un plan de fréquences optimale dans le réseau GSM basé sur les algorithmes génétiques.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Au niveau du premier chapitre, nous précisions la norme du réseau mobile, GSM 900 et nous illustrons une architecture de ce réseau et ces équipements fondamentaux.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons la planification des cellules ainsi que le calcule du trafic permettant un dimensionnement optimal des réseaux cellulaire.

Au cours du troisième et dernier chapitre, nous détaillons notre approche d'allocation des fréquences basée sur les algorithmes génétiques.

Chapitre I : Le réseau GSM

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. L'utilisation du numérique pour transmettre les données permet des services et des possibilités élaborées 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 des systèmes cellulaires, le réseau UMTS.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques principales du système GSM.

I.2. Historique [1]

Durant des siècles, l'homme s'est contenté de la parole ou des écrits comme seuls moyens de communication entre deux personnes éloignées d'une distance importante.

En 1982, lors de la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) que fut créé le Groupe Spécial Mobile (GSM).

En 1985, la Commission Européenne annonce l'imposition de la norme issue du GSM.

En 1987, le choix est arrêté sur la transmission numérique AMR.

En 1989, les travaux du Groupe Spécial Mobile "GSM" sont transférés au comité "SMG" de l'Européen Télécommunication Standards Institute (ETSI), qui poursuit les tâches de normalisations. Notons que c'est cette comité qui mettra au point le module d'identité d'abonné SIM.

Le groupe "GSM" change alors de signification : de "Groupe Spécial Mobiles" il devient "Global System for Mobile communications"

En 1991 fût réalisé la première communication entre un mobile et un abonné fixe. Les premiers terminaux sont représentés au Salon Télécom à Genève cette même année. Puis on assiste à l'ouverture des systèmes d'essai à Paris.

Et c'est en 1992 que fût ouvert le système GSM ITINERIS de France Telecom, rejoint plus tard par SFR du groupe Cegetel et par Bouygues Telecom (1994).

L'explosion du marché des mobiles, sa croissance soutenue et l'apparition de nouveaux services amènent les réseaux GSM actuels à leur limite. Le débit de 9,6 kb/s, défini à l'origine, est insuffisant pour couvrir les nouveaux besoins de transferts de données et constitue un frein à la diffusion de contenus multimédias.

Les premières applications WAP (norme permettant l'affichage de pages Web sur les Mobiles) sur réseau sans fil souffrent encore de temps de connexion et de réponse trop long, surtout quand les appels sont facturés à la durée. De plus, la qualité de service est encore insuffisante et la fiabilité des communications doit être améliorée.

Les nouvelles normes de téléphonie hauts débits, tels GPRS, EDGE et UMTS devraient résoudre ces problèmes et bouleverser à terme les possibilités.

I.3. Présentation de la norme GSM [2]

Le GSM est la première norme de téléphonie cellulaire de seconde génération qui soit pleinement numérique, c'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles. Le réseau GSM offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. La téléphonie est la plus importante des services offerts. Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles ou entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services proposés sont la transmission de données à faibles débits et la transmission de messages alphanumériques courts.

I.4. L'architecture du réseau GSM [3]

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs.

Un réseau GSM est constitué de trois sous réseau :

- Le sous-système radio : BSS - Base Station Subsystem
- Le sous-système réseau : NSS – Network Subsystem.
- Le sous-système opération : OSS – OperationSubsystem.

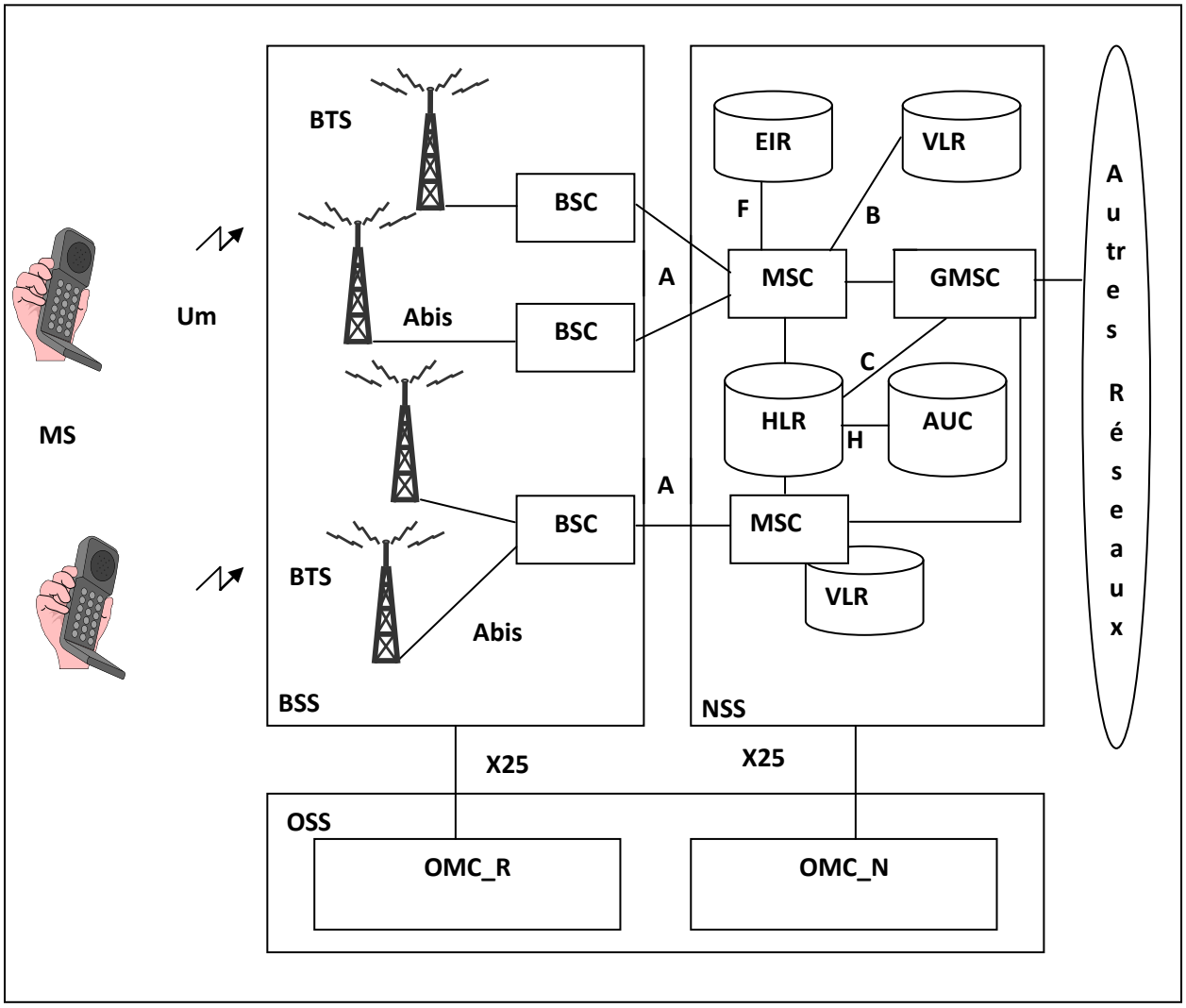

Figure I.1: Architecture globale du réseau GSM. [4]

I.4.1 Sous système radio (BSS)

Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile (MS), la station de base (BTS) et un contrôleur de station de base (BSC).

I.4.1.1 Station de base (BTS) [5]

La BTS représente la partie radio du réseau GSM, elle relie les stations mobiles à l'infrastructure fixe du réseau.

La BTS est composée d'un ensemble d'émetteurs / récepteurs. Elle assure :

- La gestion du multiplexage temporel (une porteuse est divisée en 8 slots dont 7 sont alloués aux utilisateurs), et la gestion des sauts de fréquence.

- Des opérations de chiffrement.
- Des mesures radio permettant de vérifier la qualité de service ; ces mesures sont transmises directement au BSC.
- La gestion de la liaison de données (données de trafic et de signalisation) entre les mobiles et la BTS.
- La gestion de la liaison de trafic et de signalisation avec le BSC.

La capacité maximale typique d'une BTS est de 12 porteuses, soit 96 communications simultanées. En zone urbaine où le diamètre de couverture d'une BTS est réduit, cette capacité peut descendre à 4 porteuses soit 24 communications.

I.4.1.2 Contrôleur de station de base (BSC) [2]

Ce sont des concentrateurs de BTS. Ils gèrent les ressources radioélectriques et le fonctionnement d'un certain nombre de stations de base notamment les handovers tandis que les BTS ne font qu'appliquer les décisions prises par le BSC. Un BSC standard peut contrôler une soixantaine de BTS, ce nombre peut être réduit en zone rurale. Le BSC est connecté aux BTS par l'interface Abis et aux MSC par l'interface A.

I.4.2 Sous système réseau (NSS) [6]

Le rôle principal de ce sous-système est de gérer les communications entre les abonnés et les autres usagers qui peuvent être d'autres abonnés, des usagers sur le réseau RNIS ou des usagers de réseaux téléphoniques fixes.

I.4.2.1 Commutateur (MSC)

Cet élément peut être considéré comme le cœur d'un système cellulaire puisqu'il fait la gestion des appels et de tout ce qui est lié à l'identité des abonnés, à leur enregistrement et à leur localisation. Le MSC agit en somme comme un nœud d'un réseau commuté.

I.4.2.2 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Cette base de données contient temporairement des informations sur les abonnés qui visitent une région desservie par un MSC autre que celui auquel ils sont abonnés. Ces informations proviennent du HLR auquel l'abonné est enregistré et indiquent les services auxquels l'abonné a droit. Ce transfert d'informations se fait qu'une seule fois et n'est effacé

que lorsque l'abonné ferme son appareil ou quitte la région du MSC courant. En procédant ainsi, le VLR n'a pas à interroger le HLR chaque fois qu'une communication est demandée par ou pour l'abonné visiteur. Il est à noter que le VLR est toujours associé à un MSC.

I.4.2.3 Enregistreur de localisation nominale (HLR)

Il s'agit d'une base de données contenant les informations sur les abonnés appartenant à la région desservie par le commutateur de services mobiles (MSC).

I.4.2.4 Centre d'authentification (AUC)

L'AUC est une base de données protégée qui contient une copie de la clé secrète inscrite sur la SIM de chaque abonné. Cette clé est utilisée pour vérifier l'authenticité de l'abonné et pour l'encryptage des données envoyées.

I.4.2.5 Enregistreur des identités des équipements (EIR)

Chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

I.4.3 Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS)

Ce sous-système est branché aux différents éléments du sous-système réseau de même qu'au contrôleur de station de base (BSC). Par une vue d'ensemble du réseau, l'OSS contrôle le trafic au niveau du BSS.

I.4.4 La station mobile (MS) [2]

La station mobile est constituée du téléphone portable à proprement parler mais aussi d'une carte appelée carte SIM, qui est indispensable pour accéder au réseau. Cette carte contient, sur un microprocesseur, les informations personnelles de l'abonné. Ce dernier peut donc, par insertion de la carte SIM dans n'importe quel téléphone portable, recevoir des appels, en donner et avoir accès à tous les services qu'il a souscrit : le téléphone portable et l'utilisateur sont totalement indépendants.

Le téléphone portable est identifié par le numéro IMEI. Ce numéro renseigne sur le type d'équipement, l'identité du constructeur et le numéro de série.

La carte SIM contient le numéro IMSI, mais aussi une clé secrète pour la sécurité, ainsi que d'autres informations. Les numéros IMEI et IMSI sont indépendants, ce qui permet la séparation du téléphone portable et de l'utilisateur. De plus, la carte SIM protège l'abonné des

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

connections frauduleuses par l'introduction d'un numéro d'identité personnel (code PIN) lors de l'accès au réseau.

Nous distinguons trois types de stations mobiles :

- Les stations mobiles embarquées (classe l) de puissance 20 W
- Les mobiles portables (classe 2) de 8 W.
- Les mobiles portatifs de (classe 3) 5 W, (4) 2 W et (5) 0.8 W.
- Les mobiles portatifs 2 W sont actuellement les plus répandus dans les réseaux GSM.

I.5. Les interfaces du réseau GSM [7]

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.

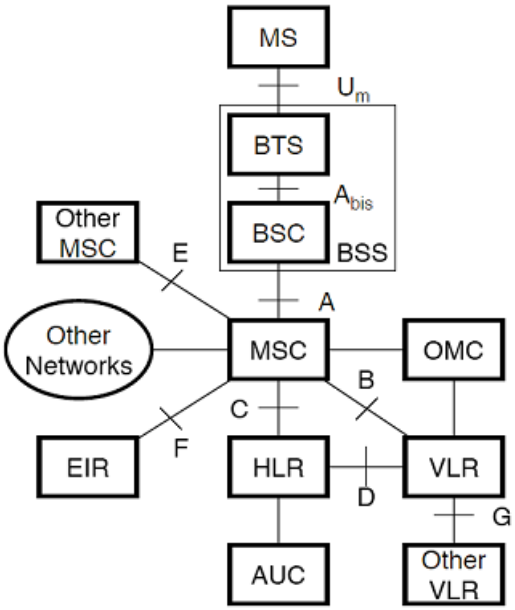

Figure I.2: les interfaces du réseau GSM.[8]

- **Interface Um :** appelée aussi Air ou radio, entre BTS et MS, s'appuie sur le protocole LAPDm. Il est utilisé pour le transport du trafic et des données de signalisation.
- **Interface A bis** : entre BTS et BSC s'appuie sur le protocole LAPD. Il est utilisé pourle transport du trafic et des données de signalisation.
- **Interface A :** entre BSC et MSC, s'appuie sur le protocole sémaphore N·7 du CCITT.Il est utilisé pour le transport du trafic et des données de signalisation.
- **Les Interfaces B** entre MSC et VLR, **C** entre MSC et HLR, **E** entre MSC et MSC**, F** entre MSC et EIR, **G** entre VLR et VLR, **D** entre VLR et HLR/AuC s'appuient sur le protocole sémaphore N·7 du CCITT pour les couches OSI basses (MTP, MessageTransfert Protocol) et sur le protocole MAP (Mobile Application Protocole) pour les couches hautes. Ces interfaces sont utilisées en particulier pour le transport des données relatives à l'application des mobiles.
- **Les Interfaces REM** : entre OMC-R et BSS ou entre OMC-S et NSS, utilisent un réseau de transmission de donnée de type X25.
- **Les Interfaces passerelles :** entre le MSC et les réseaux publics s'appuient sur le protocole sémaphore N·7 du CCITT. Elles sont utilisées pour le transport du trafic et des données de signalisation**.**

I.6. La Transmission radio [2]

I.6.1 Allocation des fréquences

La téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 Mhz.

- De 890 à 915 [Mhz] pour la transmission des signaux des stations mobiles vers la station de base (Uplink).
- De 935 à 960 [Mhz] pour la transmission en sens inverse (Downlink).

La largeur de bande de chaque sens est divisée en 124 canaux de 200 Mhz de largeur. Ces canaux ne sont pas suffisants dans les grandes villes, donc, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 Mhz. C'est le système DCS

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1800 dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service.

Les communications montantes sont alors entre 1710 et 1785 [Mhz] et les communications descendantes entre 1805 et 1880 [Mhz].

	GSM - 900	GSM - 1800
Bande spectrale - canaux descendant	935 à 960 MHz	1805 à 1880 MHz
Bande spectrale - canaux montant	890 à 915 MHz	1710 à 1785 MHz
Espacement entre les canaux d'un couple	45 MHz	95 MHz
Nombre de canaux (multiplexage FDMA)	124	374
Largeur des canaux	200 KHz	200 KHz
Multiplexage TDMA	8	8
Nombre de canaux logiques	992	2992

Tableau I.1 : Caractéristiques techniques. [4]

I.6.2 Les canaux physiques

Pour augmenter la capacité du réseau, le GSM utilise deux techniques pour l'allocation de ses fréquences :

- L'accès multiple à répartition en fréquence ou le partage en fréquence (FDMA).
- L'accès multiple à répartition dans le temps ou le partage en temps (TDMA).

I.6.2.1 Multiplexage fréquentiel FDMA [3]

La méthode d'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access) ou Accès Multiple par Répartition de Fréquences (AMRF) repose sur un multiplexage en fréquences. Un tel procédé divise la bande de fréquences en plusieurs sous bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse ou carrier qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut transporter que le signal d'un seul utilisateur. La méthode FDMA est essentiellement

utilisée dans les réseaux analogiques.

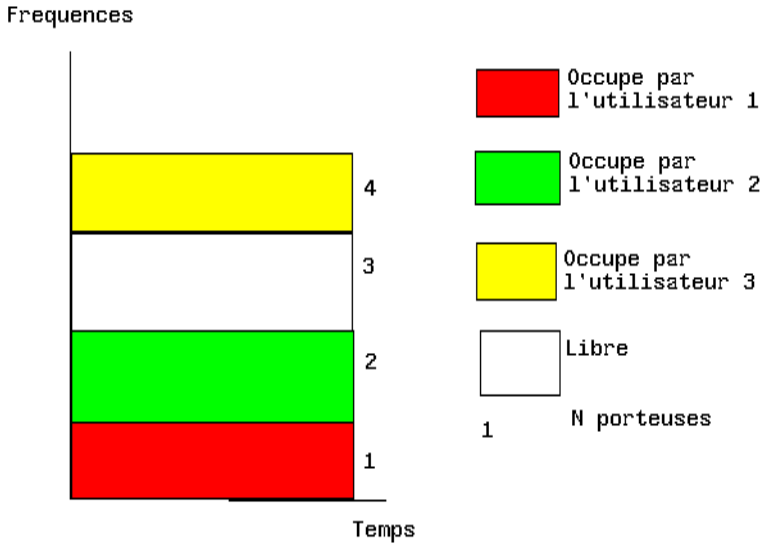

Figure I.3: Principe du FDMA**.**

I.6.2.2 Multiplexage temporel TDMA [3]

La technique d'accès TDMA (Time Division Multiple Access) ou Accès Multiple à Répartition dans le Temps (AMRT) offre la totalité de la bande de fréquences à chaque utilisateur pendant une fraction de temps donnée, dénommée slot (intervalle de temps). L'émetteur de la station mobile stocke les informations avant de les transmettre sur le slot, autrement dit dans la fenêtre temporelle qui lui a été réservée. Les différents slots sont regroupés par la suite en trames, le système offrant ainsi plusieurs voies de communication aux différents utilisateurs. La succession des slots dans les trames forme le canal physique de l'utilisateur. Le récepteur enregistre les informations à l'arrivée de chaque slot et reconstitue le signal à la vitesse du support de transmission. Le TDMA s'applique principalement à la transmission des signaux numériques, contrairement au FDMA conçu pour une transmission analogique. Toutefois la combinaison des deux techniques est possible.

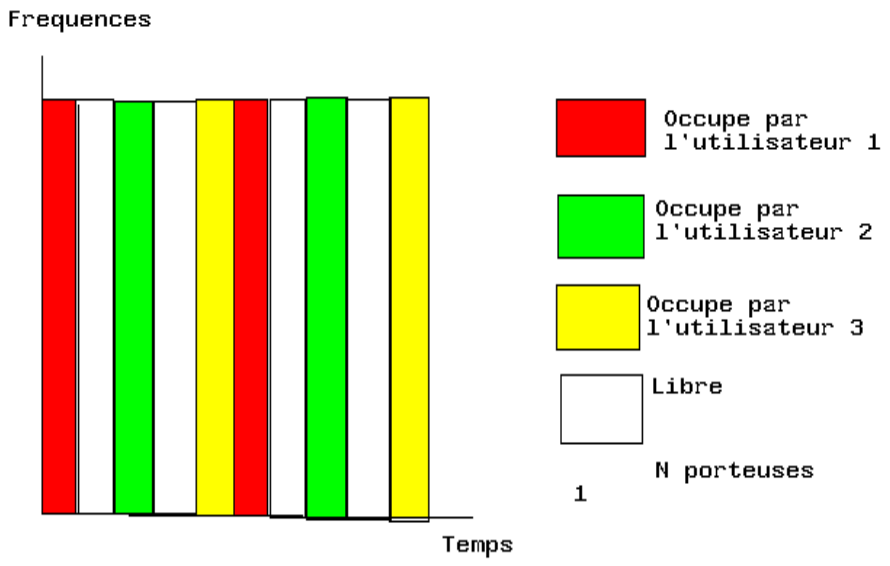

Figure I.4: Principe Du TDMA.

Donc la bande spectrale est multiplexé en fréquence (FDMA) pour obtenir plusieurs canaux et chacun de ces canaux est multiplexé selon TDMA (d'ordre 8).

La **Figure I.5** illustre un canal dans le système GSM en termes de domaine de temps et domaine de fréquence.

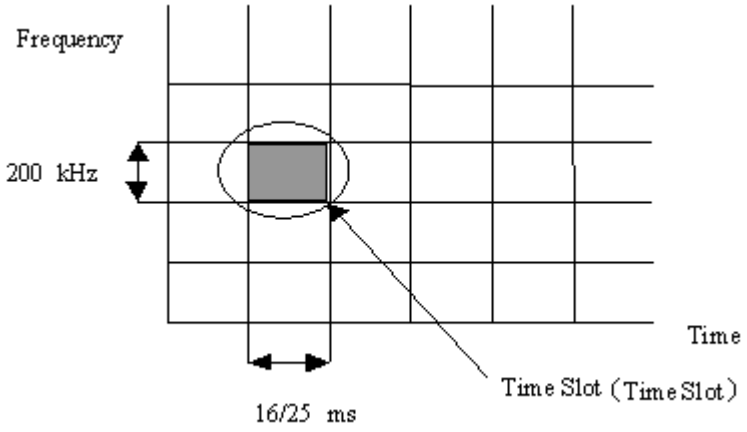

Figure I.5: Structure temps fréquence des canaux physiques.

I.6.3 Les canaux logiques [9]

Sur une paire de fréquence, un slot parmi 8 est alloué à une communication avec un mobile donné. Cette paire de slot forme un canal physique duplex.

Ce dernier forme la base de deux canaux logiques:

- le TCH (Trafic Channel) qui porte la voie numérisée, mais aussi un petit canal de contrôle.
- le SACCH (Slow Associated Control Channel) qui permet principalement le contrôle des paramètres physiques de la liaison.

D'une manière plus générale, il faut prévoir une multitude de fonction de contrôle, en particulier :

- Diffuser les informations systèmes BCCH (Broadcast Control Channel).
- Prévenir les mobiles des appels entrants et faciliter leur accès au système CCCH (Common Control Channel).
- Contrôler les paramètres physiques avant et pendant les phases actives de transmission (FACCH, SCH et SACCH).
- Fournir des supports pour la transmission de signalisation téléphonique (SDCCH).

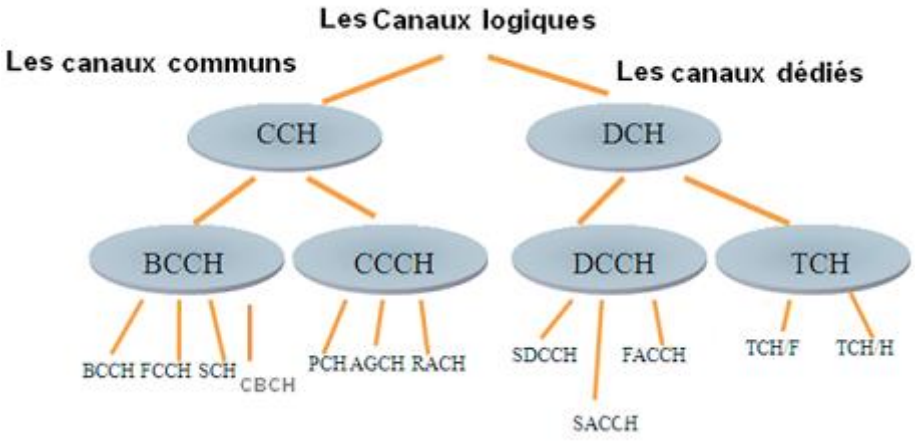

Figure I.6: les cannaux logiques d'un réseau GSM.[4]

I.7. Le concept cellulaire [10]

Au début de la téléphonie mobile, le but était d'atteindre une grande surface avec une seule antenne puissante, située de préférence sur une grande tour. Avec ce système il était impossible de réutiliser les fréquences sur la surface couverte par l'antenne et par conséquent le nombre d'usagers était limité. Le concept cellulaire a beaucoup apporté dans le design des réseaux pour résoudre le problème de l'encombrement du trafic et pour permettre à l'opérateur d'utiliser les fréquences à disposition avec plus d'efficacité. Avec ce concept nous admettons qu'une cellule sert une surface beaucoup plus petite à l'aide d'une station de base. Le nombre de canaux alloué à une station représente seulement une portion de tous les canaux alloués au système complet. Un canal est en général composé d'une fréquence. Les stations voisines les unes des autres ont droit à des canaux différents pour qu'elles ne s'empiètent pas. Par contre nous pouvons utiliser des canaux (fréquences) identiques si deux cellules sont suffisamment éloignées l'une de l'autre. Ceci permet ainsi de résoudre le problème de l'encombrement, ou en d'autres termes un plus grand nombre d'utilisateurs pourra faire usage du téléphone cellulaire simultanément. Plus le nombre de cellules est grand pour une surface donnée, plus le nombre d'utilisateurs pourra être grand également. La puissance d'émission doit être adaptée à la dimension de la cellule. A la campagne les cellules sont de dimension plus importante étant donnée le faible nombre d'utilisateurs.

La planification des fréquences consiste à attribuer des fréquences (canaux) à des cellules. Nous pouvons utiliser un même ensemble de canaux pour des cellules suffisamment éloignées. On parle alors de « réutilisation de fréquences ».

I.7.1 Cellule

On appelle cellule, une surface géographique de service du réseau couverte par des antennes (couverture) sur laquelle il y a la disponibilité d'un canal de transmission donnée (voie balise), constitué d'une voie radio électrique caractérisée par une fréquence donnée ou un couple de fréquences données selon les services assurées.

Les cellules sont disposées de façon adjacente les unes contre les autres et peuvent couvrir un rayon variant de 5 à 20 Km, c'est-à-dire qu'elles peuvent desservir les abonnés

situés dans un cercle de 10 à 40 Km de diamètre. La cellule joue le rôle d'interface entre le mobile et le central cellulaire, elle assure donc les fonctions suivantes :

- Affectation des canaux de communication aux mobiles,
- Emission permanente de la signalisation,
- Supervision de la communication.

La dimension d'une cellule est fonction de la puissance de son émetteur-récepteur. Si un émetteur-récepteur est très puissant, alors son champ d'action sera très vaste, mais sa bande de fréquence peut être rapidement saturée par des communications. Par contre, en utilisant des cellules plus petites, (émetteur-récepteur moins puissant) alors la même bande de fréquence pourra être réutilisée plus loin, ce qui augmente le nombre de communications possibles.

Dans la conception d'un réseau cellulaire, il faut considérer les aspects suivants:

- La topographie (bâtiments, collines, montagnes, etc.).
- La densité de la population (ou de communications) pour établir la dimension de cellule.
- Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même bande de fréquence afin d'éviter les interférences. La distance entre deux cellules ayant la même bande doit être de 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend:

- Du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.
- De la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles).
- De la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton,...) et de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Chaque cellule est caractérisée par:

- La puissance d'émission normale de sa BTS (dans cette zone le niveau de champ électrique doit être supérieur à un seuil déterminé.)
- Sa fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radio électrique .
- Le réseau auquel elle est interconnectée.

I.7.2 Déploiement des réseaux cellulaires

Diverses tailles et types de cellules sont à déployer en fonction de l'environnement considéré et de la technologie. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau Pour cela, on distingue :

I.7.2.1 La macro cellule omnidirectionnelle

Elle est composée d'un frame et donc d'un seul secteur. Elle possède au minimum un TRX. Ce type classique de cellule est plus utilisé dans les zones rurales (à faible densité d'abonnés).

I.7.2.2 La macro cellule bisectorisée

Elle est composée de deux frames (une par secteur) et de deux secteurs. Elle possède au minimum un TRX chacun. Ce type de cellule conviendrait mieux à un environnement médian (ruro-urbain). Malheureusement ce type de cellule est de plus en plus délaissé au profit des cellules trisectorisées.

I.7.2.3 La macro cellule trisectorisée

Elle est composée de trois frames (une par secteur) et de trois secteurs possédant chacun au minimum un TRX. C'est le type de cellule la plus utilisée, notamment en zones urbaines à forte densité de trafic.

Les microcellules sont des cellules de petite dimension destinées aux zones à fortes densité de trafic (par exemple une rue passante), tandis que les pico cellules sont des cellules de taille encore plus inférieures, prévues pour des endroits tels que les gares, les galeries marchandes,...

I.7.3 Le modèle hexagonal

Lorsqu' on considère un environnement homogène, l'affaiblissement de parcours est proportionnel à $\mathbf{r}^{-y}$ où **r** désigne la distance entre station de bas et mobile et **y** coefficient d'atténuation entre 2 et 4 typiquement 3.5, Une cellule est alors un disque de rayon R, dont la valeur dépend de la puissance d'émission et du seuil de réception du système. On approxime une cellule par un hexagone qui est le polygone le plus proche du cercle qui permet de paver le plan.

On considère un territoire à couvrir par des cellules de même dimension avec les hypothèses suivantes:

- Sur l'ensemble de ce territoire, la loi de propagation s'applique.
- La puissance nominale de toutes les stations de base et de tous les mobiles est la même.
- La demande en trafic est uniformément répartie et l'opérateur affecte le même nombre de porteuse à chaque station de base.

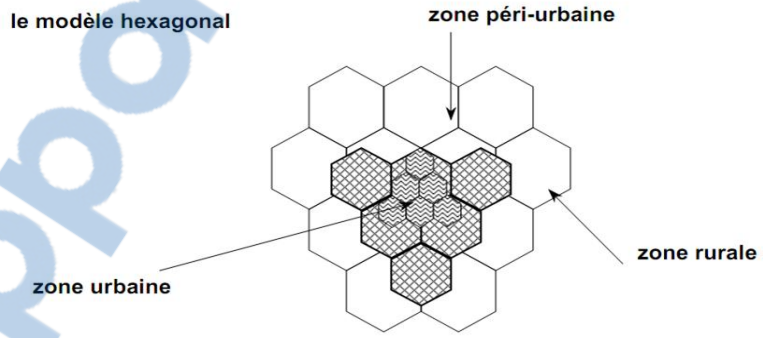

Figure I.7: Le modèle hexagonal. [11]

Rapport-Gratuit.com

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principes de base du GSM avec les différentes techniques définies utilisées. Ces techniques offrent une meilleure qualité de communication et une signalisation en temps réel entre les entités du réseau.

Dans le chapitre deux, on traitera la planification radio dans le réseau GSM.

Chapitre II : Planification radio dans le réseau GSM

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.1 Introduction

La planification d'un réseau constitue l'une des taches primordiales de l'opérateur du réseau. Elle conditionne de façon importante la qualité de service offerte aux utilisateurs. Dans ce chapitre nous présentons les deux étapes principales de la planification à savoir, le dimensionnement du réseau ainsi que la réutilisation des fréquences.

II.2 L'objectif de la planification [13]

La planification d'un réseau cellulaire est un processus très délicat et le résultat conditionne le succès de l'opérateur. En effet un réseau mal planifié se traduit par une qualité d'appel médiocre, un taux de perte d'appel important et un taux de blocage élevé.

La planification d'un réseau cellulaire consiste à définir sa couverture et sa capacité, celles-ci sont vitales pour un opérateur.

II.2.1.L'objectif

L'objectif de la planification d'un réseau peut être résumé de cette façon :
Etant donné les caractéristiques de l'environnement à couvrir (caractéristique géographique et de propagation), les caractéristiques des abonnés à desservir (densité, comportement d'usager) et une bande de fréquence, il faut minimiser le coût d'infrastructure radio et réseau en fonction de la couverture radio, de la taille des cellules, des plans de fréquence et de la topologie du réseau.

Par conséquent, la planification du réseau suivra des objectifs différents en fonction de la zone à planifier :

- En zone urbaine l'objectif est d'assurer une capacité en trafic suffisante (desservir un nombre d'abonnés élevé).
- En zone rurale (zone à faible densité d'abonné), l'objectif est d'assurer la couverture la plus complète possible (rayon de cellule d'une dizaine de kilomètre) sans nécessité de capacité élevé.

II.3 contraintes radio [14]

Le premier objectif d'un déploiement cellulaire est de garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir. La qualité de ce lien est définie principalement par 2 paramètres : le rapport signal à bruit C/N (canal /noise) et le rapport signal sur interférences (C/I) (canal/interférences).

II.3.1 Rapport signal sur bruit C/N

Le rapport signal à bruit est donné par le rapport entre la puissance du signal reçu et la densité de puissance du bruit en réception. Dans la gamme de fréquences utilisées en GSM, le bruit en réception est majoritairement un bruit thermique (ou bruit Johnson) lié à l'échauffement des électrons dans le système de réception.

Ce bruit à des propriétés bien spécifiques : il est blanc, à moyenne nulle, gaussien et additif.

- Blanc veut dire qu'il est réparti sur l'ensemble des fréquences de façon uniforme : sa densité spectrale de puissance (DSP) est donc uniforme sur toutes les fréquences (sauf pour une fréquence nulle où il est égal à 0).
- Moyenne nulle : il n'y a pas de composante continue. Si l'on fait la somme (ou l'intégration) du bruit au cours du temps, elle tend vers 0.
- Gaussien : Ce signal aléatoire, a une distribution d'amplitude bien particulière la probabilité d'avoir un bruit d'amplitude est régie par une loi normale (forme gaussienne).
- L'écart-type de la distribution s est le seul paramètre à connaître pour caractériser le niveau de bruit. La puissance moyenne de ce bruit que l'on nomme N_0 est égale à la variance des échantillons :

  $$\sigma^2=N_0 \qquad (01)$$

- Additif : un bruit additif est un bruit dont le niveau ne dépend pas de l'amplitude du signal reçu. Statistiquement, le bruit est indépendant du signal reçu, et le signal observé est la somme du signal reçu et du bruit.

On désigne par **I** la puissance totale des interférences, la puissance du bruit est notée par **N**. Elle correspond principalement au bruit de fond du récepteur.

Le rapport Signal sur Bruit s'exprime ici comme un rapport :

$$\frac{C}{(N+I)} \qquad (02)$$

Ce rapport permet d'apprécier la qualité du signal reçu.

Le seuil $\frac{C}{(N+I)}$ au-delà duquel la réception est correcte est une des caractéristiques essentielles d'une interface radio. Il dépend du type de transmission utilisée sur la voie radio.

Du fait de la réutilisation des fréquences : N<<I

On parle couramment de rapport C/I.

II.3.2 Rapport signal sur interférences C/I

II.3.2.1 Les interférences

Les interférences sont de 3 types : les interférences inter-symboles (IIS), les interférences inter-fréquences (IIF, encore appelées interférences canaux-adjacents), et les interférences Co-canal (ICC).

- Les interférences inter-symboles caractérisent les interférences entre les impulsions successives d'une même source : lorsqu'un bit est émis, le récepteur en reçoit plusieurs échos étalés dans le temps à cause de la différence de temps de parcours entre les différents chemins Emetteur-Récepteur.
- Les interférences Co-canal (ICC) sont forcément importantes en GSM et sont directement liées à la norme elle-même. Le choix d'un partage de ressources de type FDMA et TDMA impose une répartition des ressources en temps et en fréquence. Sur un canal en fréquence, on peut avoir jusqu'à 8 voix multiplexées en temps (8 slots par trame). Pour augmenter la capacité globale d'un système, les fréquences sont réparties entre les cellules, avec un certain facteur de réutilisation. Ainsi, toutes les cellules et les stations de base associées qui utilisent un même canal en fréquence sont susceptibles d'interférer entre elles.

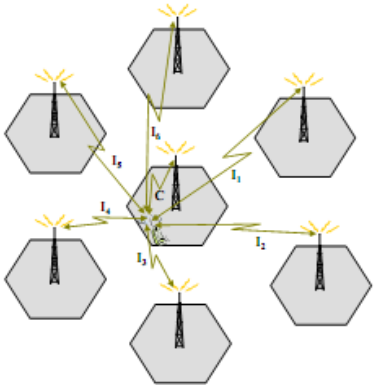

Figure II.1: Interférences entre cellules voisines réutilisant la même fréquence sur un Modèle hexagonal.

- Les interférences canaux adjacents (IIF) sont liées à la réutilisation de canaux de fréquences adjacents. En effet la largeur réelle des canaux est supérieure aux 200kHz utilisés pour répartir les canaux en fréquence.

Les différents types d'interférences s'additionnent pour brouiller le signal reçu.

On note I le total des interférences présentes pour un signal donné :

I = IIS + ICC + IIF (03)

II.3.2.2 Le rapport C/I

Les interférences sont prépondérantes sur le bruit. Ceci est typique des zones urbaines, dans lesquelles il y a nécessité de déployer plusieurs canaux sur les BTS afin de gérer le trafic important qui leur est propre. Ainsi, le rapport C / (N + I) est réduit à l'expression suivante :

$$\frac{C}{I} \qquad (04)$$

Dans cette partie nous considérons seulement les interférences co-canal.

Les interférences venant des canaux adjacents sont supposées négligeables.

On appelle Q=D/R le facteur de réutilisation, où D est la distance entre 2 cellules Co-Canales, et R le rayon des cellules. Il est à peu près égal à :

$$Q = \sqrt{3N} \qquad (05)$$

Où N le nombre de cellules.

On va maintenant calculer le rapport C/I en fonction de ce facteur de réutilisation.

Le rapport C/I est alors donné par :

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_i I} \quad (06)$$

Considérons un mobile en limite de cellule. La puissance utile reçu, est donnée par :

$$C = P(\frac{R}{d})^{-n} \quad (07)$$

Où R est le rayon de la cellule.

P est la puissance reçue à faible distance (d) de l'antenne (valeur de référence)

n est un exposant de perte.

La puissance en provenance de chacun des interférents peut être approchée par la distance entre les 2 stations de bases, soit la distance D.

On se limite à la première couronne de réutilisation, soit k = 6 (où K représente le nombre de cellules dans une couronne).

Le rapport C / I s'exprime en fonction de la distance :

$$\sum_i I = 6P(\frac{D}{d})^{-n} \quad (08)$$

Ce qui permet d'estimer le C/I par:

$$\boldsymbol{\frac{C}{I} = \frac{Q^n}{6} = \frac{\sqrt{3N}^n}{6}} \quad (09)$$

Finalement, on pourra choisir N, en fonction de la contrainte de C/I et du modèle d'affaiblissement n. Cependant, il est évident que ce genre de contrainte n'est qu'une approximation bien théorique de la réalité. En pratique, les cellules sont bien loin d'être hexagonales, et le nombre de cellules voisines, les niveaux d'interférence, et l'affectation des canaux nécessitent une approche empirique basée sur plusieurs tests.

Chaque système a un certain C/I de fonctionnement ; pour les systèmes analogiques sa doit être ≥ 18 dB tandis que pour le GSM≥ 9 dB.

Plus le seuil est bas, plus deux sites utilisant les mêmes fréquences peuvent être proches.

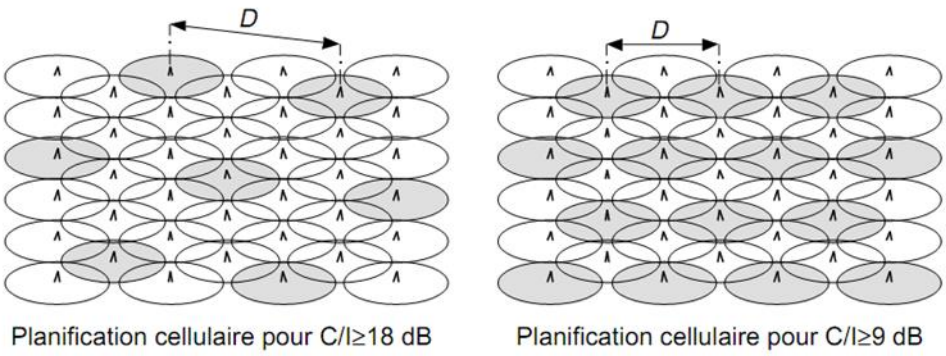

Figure II.2:planification cellulaire pour le réseau GSM et le réseau analogique.

II.4 Contraintes de trafic

Dans un réseau GSM, il ne s'agit cependant pas seulement de garantir un lien radio, mais également de garantir un certain trafic. Le trafic est estimé statistiquement à partir de la densité de population et du type d'activité associée à chaque région. Par exemple, la probabilité d'appel dans une zone d'habitation est très différente de la probabilité d'appel dans une zone à forte densité d'activité professionnelle.

Les lois d'Erlang sont utilisées pour caractériser le taux d'appels téléphoniques. Cette loi est paramétrée par 2 paramètres :

Le taux d'appel **μ**, et les durées moyennes d'appel **H**.

L'intensité du trafic par utilisateur s'exprime par :

$A_u = \mu . H$ Erlang (10)

Connaissant la densité de population associée à une zone géographique, il est facile de déterminer la densité de trafic par le produit :

$A = A_u . d_H$ Erlang/Km^2 (11)

Où $\mathbf{d_H}$ est la densité de population par km^2.

Enfin, si l'on est capable de prédire la zone couverte par une cellule, il est alors possible d'estimer le trafic que la cellule doit absorber :

$A_{tot} = A . S$ Erlang (12)

Où **S** est la surface de la cellule.

Les lois d'Erlang permettent alors de déterminer le nombre de canaux nécessaires pour absorber ce trafic statistique avec un taux d'échec donné.

La loi d'Erlang est donnée par la formule suivante :

$$P_c = \frac{A_{tot}^{NC} \frac{1}{N!}}{\sum_{n=0}^{N} A^n \frac{1}{n!}} \quad (13)$$

Où **Nc** est le nombre de canaux voix.

Ainsi, à partir de la connaissance de la densité de trafic et de la surface couverte par un émetteur, il est possible de prédire le nombre de canaux à affecter à une cellule pour garantir un taux de blocage inférieur à un certain pourcentage (par exemple 2%).

On comprend bien alors que le déploiement d'un réseau GSM ne repose pas seulement sur une couverture radio mais sur une répartition intelligente des ressources radio sur un ensemble de stations de base.

II.5 Planification du réseau GSM

II.5.1 Dimensionnement du réseau GSM

Le dimensionnement doit prendre en compte les contraintes radio et les contraintes de trafic. Il est possible, dans un premier temps, pour une zone géographique donnée, d'estimer la capacité globale d'un système GSM, en exploitant le modèle hexagonal théorique. Soit un système avec S canaux disponibles. Le nombre de canaux voix disponibles n'est pas égal au nombre de canaux en fréquences.

Pour chaque cellule, il faut réserver une voix balise qui contient les canaux de synchronisation (FCH, SCH et BCCH) : ces canaux permettent aux mobiles de détecter la présence des stations de base. Lors de l'attribution d'un certain nombre de fréquences à une station de base, il faut donc éliminer une des fréquences pour compter les ressources radios.

D'autre part, chaque canal en fréquence est susceptible de fournir 8 canaux de données TCH (chaque trame contient 8 slots multiplexés) : le nombre total de canaux est donc égal à 8 fois le nombre de canaux en fréquence.

Cependant, certains canaux communs, et en particulier la voix balise, nécessitent des ressources. On considère en général, qu'un huitième des ressources est utilisé pour les canaux communs (y compris la voix balise).

Ainsi, pour **N** canaux attribués à une station de base, le nombre de TCH est donné par

NTCH=N*7/8 (14)

Si N_f est le nombre de porteuses attribuées, alors le nombre de canaux physiques TCH disponibles est de :

$N_c=7.N_f$ (15)

En conséquence, le tableau ci-dessous donne le nombre de canaux voix en fonction du nombre de porteuses attribuées à une cellule, conformément à l'équation:

Nb fréquences	1	2	3	4	5	6	7	8
Canaux physiques	8	16	24	32	40	48	56	64
Nb TCH	7	14	21	28	35	42	49	56

Tableau II.1: Le nombre de canaux voix en fonction du nombre de porteuses attribuées à une cellule.

II.5.2 Analyse du trafic et de la couverture [15]

Le processus de planification des cellules commence lorsqu'une analyse du trafic et de la couverture effectuée par exemple par l'opérateur, montre qu'un déploiement de cellule est nécessaire. Cette analyse doit également fournir des informations concernant la zone géographique concernée et la capacité prévue (charge de trafic).

II.5.2.1 Collecte des données de base

Après la phase d'analyse, la tache suivante consiste à recueillir les données de base dont les plus importantes sont :

- Les coûts.
- La capacité.
- La couverture.
- La qualité de service.
- La qualité d'écoute.
- Les possibilités d'extension du système.

Le volume de trafic, c'est-à-dire le nombre d'usagers qui s'abonneront au système et la qualité de trafic qu'ils génèreront, constitue la base de l'étude technique du réseau cellulaire. La distribution géographique du volume du trafic peut être calculée au moyen de données démographique telles que:

Rapport-Gratuit.com

- Répartition de la population.
- Répartition de l'utilisation des automobiles.
- Répartition du niveau des revenus.
- Densité de population.
- Statistiques sur l'utilisation du téléphone.
- Autre facteur, comme les taxes d'abonnement, d'appel et le prix des stations mobiles.

II.5.2.2 Calcul de trafic

Les données de base des calculs de trafic sont indiquées ci-dessus. Les résultats de ces calculs doivent permettre de déterminer le nombre de sites et de cellules nécessaires.

De plus, il est nécessaires de connaître le nombre de fréquences par cellule ainsi que la qualité de service (QOS: Quality of service).

- Le nombre de fréquences disponibles par cellule peut être défini seulement après détermination du schéma des cellules à mettre en œuvre ensuite le nombre total des fréquences disponibles est réparti de façon égale entre les groupes de fréquences. Le schéma des cellules à utiliser est fonction des types du système car il est basé sur la distance de réutilisation des fréquences.
- QOS: est défini comme le pourcentage autorisé de tentatives infructueuses d'établissement d'appel suite à encombrement. Une valeur de 2 à 5% est normalement utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile.
- La table d'Erlang permet de déterminer le troisième facteur : nombre de voies de trafic, trafic(En Erlang) et QOS lorsque les deux autres sont déjà connus.
- Le trafic par abonné se calcule au moyen de la formule d'Erlang comme suit:

$A=n\ T/3600$ (Erlang) (16)

Où n est le nombre d'appels par heure.

T est la durée moyenne des conversations.

A est le trafic écoulé par un ou plusieurs usagers dans le système.

En supposant n=1 et T=90s nous avons $A=1\times 90/3600=0.025$Erl.

II.5.3 Allocation et Réutilisation des fréquences [16]

II.5.3.1 Réutilisation des fréquences

Le principe de réutilisation des fréquences est un concept propre aux schémas d'accès radio FDMA et TDMA basés sur la subdivision du spectre radio. Il consiste en l'allocation de canaux physiques de même fréquence à des cellules qui sont suffisamment éloignées pour ne pas générer d'interférences Co-canal. Grâce à ce principe, le réseau parvient à gérer un nombre de communications simultanées beaucoup plus grand que le nombre de fréquences disponibles.

Le principe de réutilisation des fréquences a donné lieu à plusieurs stratégies d'allocation. On distingue principalement deux techniques de gestion des ressources radio. La première nommée allocation fixe de fréquences (*Fixed Channel Assignment*) consiste à allouer un ensemble de fréquences nominales à chaque station d'une manière permanente. Dans la technique d'allocation dynamique des fréquences (*Dynamic Channel Assignment*) aucune affectation des fréquences aux stations n'est opérée à priori. Les fréquences sont attribuées aux communications à leurs arrivées. Des techniques intermédiaires ont aussi été proposées telles que : l'allocation hybride des fréquences (*Hybrid Channel Assignment*) et l'allocation par empreint (*Channel Borrowing*).

La figure II.3 représente un exemple de réutilisation des fréquences, où chaque cellule est munie d'une couleur, représentant une fréquence.

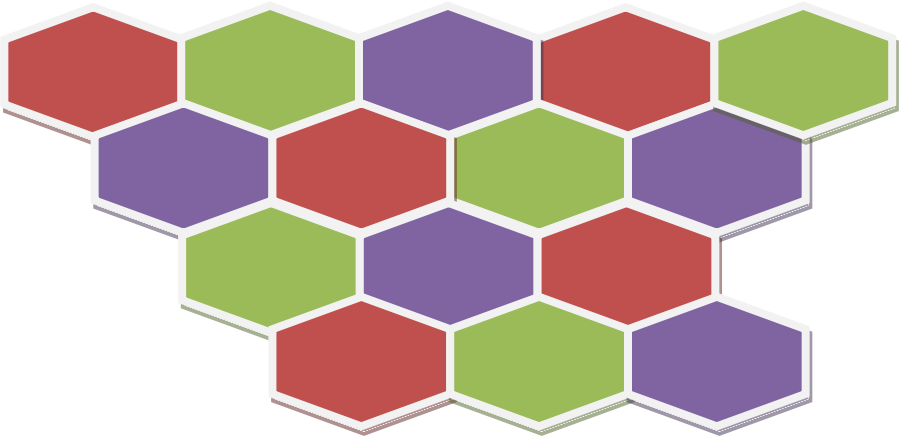

Figure II.3: Exemple de réutilisation des fréquences.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.5.3.2 Le motif cellulaire [12]

On appel "motif cellulaire" ou "motif de réutilisation" le plus petit groupe de cellules contenant l'ensemble des canaux une et une seule fois. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir. La distance minimale entre deux émetteurs utilisant la même fréquence est la distance de réutilisation. Plus le motif est grand, plus la distance de réutilisation, exprimée en nombre de cellules est grande. On utilise habituellement des motifs réguliers qui présentent les propriétés suivantes :

- Topographie: pas d'obstacle particulier.
- Pas de sectorisation antennes non directives (omnidirectionnelles).
- Interface radio : même puissances émises.
- Trafic : même activité dans chaque cellule.
- Seule interférence considérée : interférence Co-canal.

La taille d'un motif régulier vérifie alors la relation suivante:

$$K = i^2 + ij + j^2 \qquad (17)$$

Où i et j sont des entiers positifs ou nuls.

Les tailles des motifs possibles inférieures à 27 sont rappelées dans le tableau II.2. Soit une cellule donnée de rayon R dans un réseau planifié avec un motif régulier. Les stations de base utilisant la ou les mêmes porteuses sont situées sur différents cercles concentriques. Les cellules correspondantes sont fréquemment appelées cellules

Co-canal. Le rayon du plus petit cercle corresponde à la distance de réutilisation D qui vérifie alors la relation:

$$D = \sqrt{3K}\, R \qquad (18)$$

Ce cercle comporte toujours six cellules, quelle que soit la taille du motif.

K	1	3	4	7	9	12	13	16	19	21	25	27
i,j	0,1	1,1	0,2	1,2	0,3	2,2	1,3	0,4	2,3	1,4	5,0	3,3
D/R	$\sqrt{3}$ 1,73	3 3	$2\sqrt{3}$ 3,465	$\sqrt{21}$ 4.58	$3\sqrt{3}$ 5,12	6 6	$\sqrt{39}$ 6,245	$4\sqrt{3}$ 6,93	$\sqrt{57}$ 7,55	$3\sqrt{7}$ 7,94	$5\sqrt{3}$ 8,66	9 9

Tableau II.2: Tailles de motif cellulaire.

II.5.4 Exemple

On travaille dans la norme GSM avec une bande de fréquence de 900MHZ.
La largeur de bande est divisée en 124 canaux.

Dans notre cas on a 3 opérateurs donc le nombre de fréquences nécessaire pour chaqu'un des opérateurs est : 124/3=41 fréquences.

Donc chaque opérateur prend 40 fréquences (le nombre de fréquence NB)

NB f_{BCCH} + NB f_{TCH} = 40 fréquences.

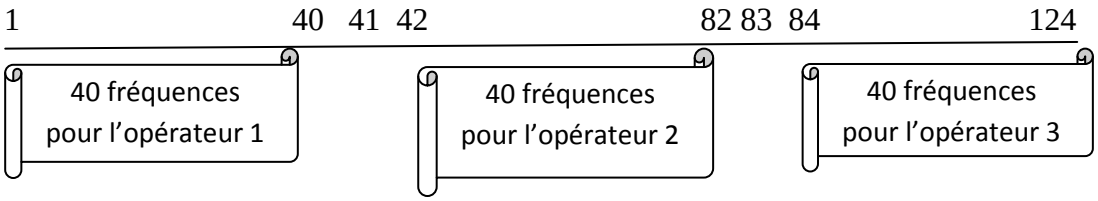

Figure II.4: Distribution de fréquences pour les trois opérateurs

En prend le NB BCCH=16 et NB TCH=24.

Pour éviter les interférences Co-canal BCCH il faut prendre les fréquences impaire comme f_{BCCH} = 1, 3, 5,7,... et pour les TCH des fréquences paire comme f_{TCH}=2, 4, 6,8,…

Données de base :

- Trafic par abonné : 0.025 Erl.
- Nombre d'abonnés : 14000.
- Nombre de fréquences disponibles: 40.
- Motif cellulaire : 4/12 (où 4 représente le nombre de site et 12 le nombre de groupes de fréquences).
- QOS: 2%.

Combien de sites tri sectoriels sont nécessaires?

- Fréquence par cellule: 40/12 = 3 fréquences.
- Canaux de trafic par cellule: 21 TCH d'après le **Tableau II.1**.
- Trafic par cellule (à partir de la table d'Erlang) = 21 TCH, 2%QOS →14.04 Erl/cellule.

- Abonnés par cellule : 14.04Erl / 0.025 Erl =561.6 abonnés par cellule.
- Nombre de cellules nécessaires: 14000 / 561.6 = 24cellules.
- Nombre de sites tri sectoriels nécessaires : 24/3 = 8 sites.

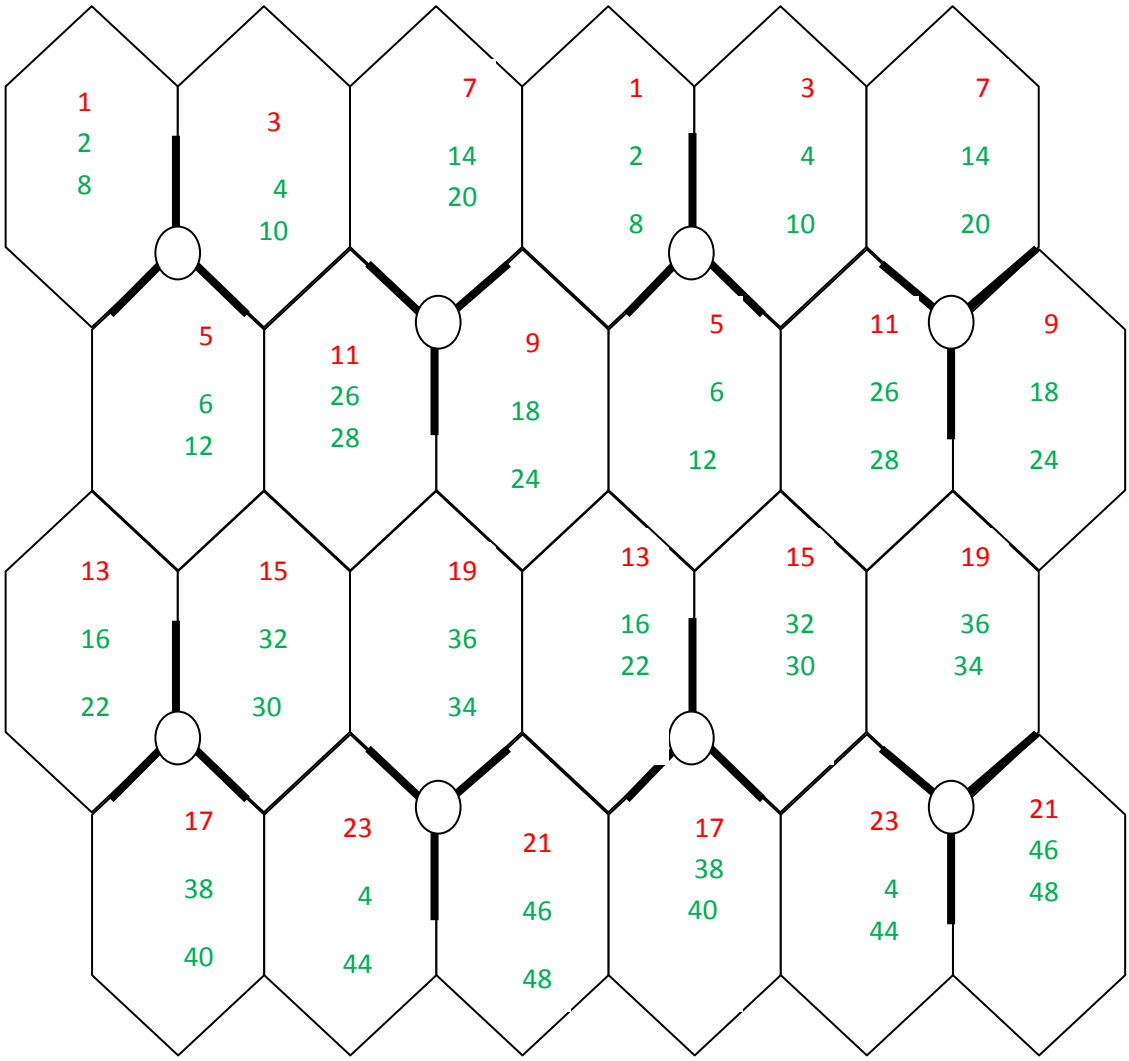

Figure II.5: Motif cellulaire 4/12

Où:

Les fréquences BCCH.

Les Fréquences TCH.

Un Site trisectorial.

Canal	1%	2%	3%	5%	10%	20%	40%
1	0.01010	0.02041	0.03	0.05263	0.111110	0.25000	0.66667
2	0.15259	0.22347	0.28155	0.38132	0.59543	1.00000	2.00000
3	0.45549	0.60221	0.71513	0.89940	1.2708	1.9299	3.4798
4	0.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210
5	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955
6	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907
7	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2303	9.7998
8	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419
9	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045
10	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677
11	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314
12	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954
13	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.227	19.598
14	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.418	21.243
15	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.600	22.891
16	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	13.18	15.25	17.61	19.56	21.64	25.92	31.15
21	12.84	14.04	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81

Tableau II.3: Table d'Erlang.

Groupe de fréquences	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
Fréquences	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Tableau II.4: Table des fréquences.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la planification radio dans le réseau GSM. Nous avons présenté les deux étapes principales de la planification à savoir, le dimensionnement du réseau ainsi que la réutilisation des fréquences dans le but d'optimiser les deux rapports de contrainte radio (*C/N* et *C/I*) et d'éviter tout genre d'interférences.

Dans le chapitre qui suit, nous décrivons l'algorithme génétique qui permet une meilleure distribution de fréquences. Une allocation de fréquence en utilisant cet algorithme sera implémenté pour notre travail.

Chapitre III : Algorithme génétique pour l'affectation des fréquences.

III.1 Introduction

Après avoir montré dans le second chapitre la planification d'un réseau GSM, nous allons traiter dans ce chapitre une des parties les plus importantes dans cette planification qui est le processus d'affectation des fréquences. Nous détaillons dans cette partie notre approche d'affectation des fréquences basée sur les algorithmes génétiques. Avant de présenter l'approche utilisée, nous commençons d'abord par exposer les fondements théoriques des algorithmes génétiques.

III.2 Algorithmes génétiques

III.2.1 Présentation générale

Les algorithmes génétiques (AG) constituent une classe de stratégies de recherche réalisant un compromis équilibré et raisonnable entre l'exploration et l'exploitation .Ce sont des méthodes qui utilisent un choix aléatoire comme outil pour guider une exploration hautement intelligente dans l'espace des paramètres codés.

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'exploration fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Ils utilisent à la fois les principes de la survie des structures les mieux adaptées, et les échange d'informations pseudo-caractéristiques, de l'exploration humaine. [16]

III.2.2 Principe d'algorithme génétique

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes itératifs de recherche globale dont le but est d'optimiser une fonction prédéfinie appelée le critère ou fonction coût (fitness en anglais). Pour réaliser cet objectif, l'algorithme travaille en parallèle sur un ensemble de points représentant les solutions potentielles du problème. Cet ensemble est appelé population. Chaque point la constituant est appelé individu ou chromosome.

Un chromosome est une représentation ou un codage d'une solution d'un problème donné. Le chromosome est constitué d'un ensemble d'éléments appelés gènes pouvant prendre plusieurs valeurs appelées allèles appartenant à un alphabet non nécessairement numérique. Dans les algorithmes de base un allèle a pour valeur <<0>> ou <<1>>, un chromosome est donc une chaine binaire de longueur finie.

Le but est donc de chercher la meilleure combinaison de ces éléments, qui donne lieu à la meilleure fonction cout. A chaque itération ou génération, est créée une nouvelle population en utilisant des parties des meilleurs éléments de la génération précédentes, ainsi que des parties innovatrices à l'occasion. Bien qu'utilisant le hasard, les algorithmes génétiques ne sont pas purement aléatoires. Ils exploitent efficacement l'information obtenue précédemment pour avoir les meilleurs individus pour chaque population.

A partir d'une première population de chromosome de taille fixe, créée soit d'une manière aléatoire, soit par des heuristiques ou méthodes spécifiques au problème, soit encore par mélange de solutions aléatoire et heuristique, les algorithmes génétiques génèrent de nouveaux individus de telle sorte qu'ils soient plus performants que leurs prédécesseurs. Le processus d'amélioration d'une population donnée s'effectue par l'utilisation d'opérateurs génétiques qui sont la sélection, le croisement et la mutation.

III.2.2.1 L'opérateur de sélection

La sélection choisit et détermine quels membres ou individus d'une population survivent et se reproduisent. Cette sélection est déterminée en fonction des valeurs de la fonction coût. Intuitivement cette fonction peut être envisagée comme une mesure de profit, d'utilité ou encore de qualité, que l'on souhaite maximiser. Sélectionner des chromosomes en fonction des valeurs de leurs fonctions coût revient à donner aux individus dont la valeur est plus grande une probabilité plus élevée de produire un ou plusieurs descendants dans la prochaine génération et de contribuer ainsi à l'évolution de la solution.

L'opérateur de sélection peut être mis en œuvre sous forme algorithmique de différentes façons :

- Soit d'une manière déterministe ; il s'agit de garder un certain nombre d'individus jugés bons d'après leurs fonction coût et de rejeter le reste. Parmi ce type de méthodes, on peut citer la sélection par tournoi qui consiste à choisir k individus aléatoirement, l'individu sélectionné est le vainqueur du tournoi c'est-à-dire celui qui possède la meilleur performance, donc il y aurait autant de tournoi que d'individu à sélectionner.

Rapport-Gratuit.com

- Soit d'une manière stochastique en utilisant la technique de la roulette biaisée pour laquelle chaque individu de la population occupe face de la roue proportionnelle à sa fonction cout.

Cependant, aucune sélection n'est parfaite, le risque de favoriser un individu ou un petit nombre d'individus constitue un véritable inconvénient. En effet si un chromosome est très supérieur à la moyenne, il constituera presque exclusivement la population suivante ce qui nous fait perdre l'âme des algorithmes génétiques à savoir la diversité, d'où risque de convergence prématurée. Pour éviter ce genre d'excès une des solutions possible constituerait à procéder a un changement d'échelle de la fonction coût. On s'arrange pour que les fonctions coût minimum et maximum aient des valeurs données en adoptant un changement d'échelle statique ou dynamique, linéaire ou exponentiel.

La sélection ne permet pas d'explorer de nouveaux points (de nouvelles possibilités) dans l'espace des solutions admissibles. En ce sens, rien de nouveau n'est testé. L'introduction d'un nouvel espace de recherche se fait via les processus de mutation et de croisement qui d'un point de vue algorithmique, peuvent être considérés comme des mécanismes servant à changer localement les solutions ou a les combiner.

III.2.2.2 L'opérateur de croisement

Le croisement est un opérateur qui assure le brassage et la recombinaison des gènes parentaux pour former des descendants aux potentialités nouvelles, il correspond à un échange des matériels génétiques entre deux reproducteurs (parents) choisis d'une manière aléatoire parmi les génitures sélectionnés précédemment, pour former deux nouveaux chromosomes (ou enfants). L'opérateur de croisement étant aléatoire, il se produit selon une probabilité a_x fixée par l'utilisateur en fonction du problème à optimiser. Il existe plusieurs types d'opérateurs de croisement dont nous citons ci-dessous les plus utilisés :

- **Croisement a un point :** C'est l'opérateur de croisement le plus simple. Il consiste à choisir au hasard deux parents (individus) de la population contenant des chromosomes précédemment sélectionnés et un site de croisement (un nombre de 1 à L-1 , avec L la longueur du chromosome et k l'indice de ce site) , on obtiens deux enfants en prenant d'une part les k premiers allèles du premier parent et les (L-k) derniers allèles du second parent et pour le deuxième enfant, les k premiers allèles du second parent et les (L-k) derniers allèles du premier parent. Ceci est illustré dans l'exemple suivant en considérant que parent 1 et parent 2 ont été sélectionnés

aléatoirement pour subir un processus de croisement à un point avec une position de coupure choisie aléatoirement entre 1<=k<=9.

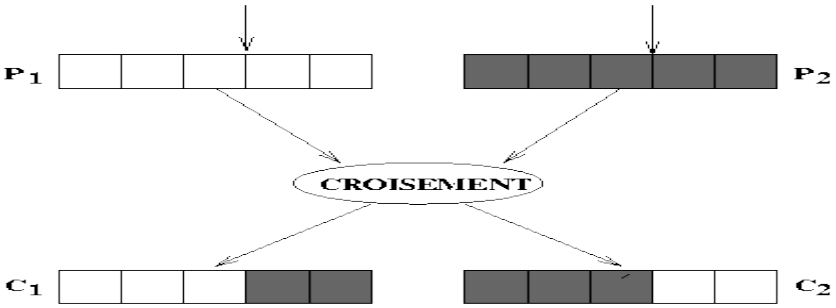

Figure III.1: Slicing crossover.

Parent1	1 0 0 0 1 1 1 1 1 0
Parent2	1 1 1 1 0 0 0 0 0 1
Position aléatoire	K=4
Enfant1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 1
Enfant2	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0

Tableau III.1:Schéma de croisement à un point.

- **Croisement multipoints :** Il est semblable à l'opérateur de croisement à un point sauf que dans ce cas plusieurs sites de croisement sont sélectionnés. Les enfants seront construits par mélange des parties appartenant aux deux parents. Nous considérons dans l'exemple qui suit un croisement à deux points, supposons que les deux points de coupure se trouvent aux positions 3 et 5.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

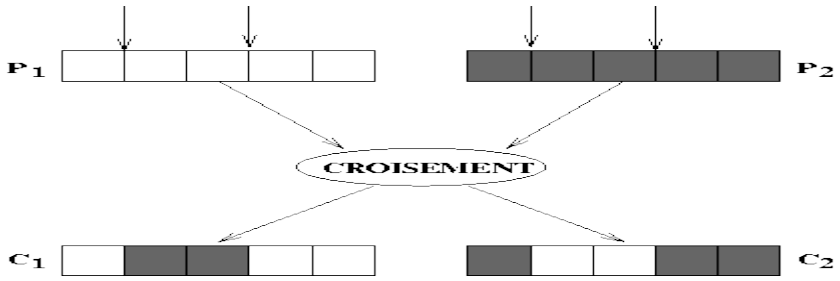

Figure III.2: Slicing crossover 2 points.

Parent 1	1 0 0 0 1 1 1 1 1 0
Parent2	1 1 1 1 0 0 0 0 0 1
Positions aléatoires	K1=3 k2=5
Enfant1	1 0 0 1 0 1 1 1 1 0
Enfant2	1 1 1 0 1 0 0 0 0 1

Tableau III.2 : Schéma de croisement à deux points.

Individus parents			
Gène1	Gène2	Gène3	Gène4
Gène1	Gène2	Gène3	Gène4
Gène1	Gène2	Gène3	Gène4

Individus enfants			
Gène1	Gène2	Gène3	Gène4
Gène1	Gène2	Gène3	Gène4
Gène1	Gène2	Gène3	Gène4

Tableau III.3: Les différents gènes pour les parents et les enfants.

- **Croisement uniforme** : Ce croisement a été proposé par Syswerda. Il consiste à choisir avec la même probabilité un allèle de l'un ou l'autre parent pour transmettre sa valeur à la même position des enfants. Pour bien comprendre ce type de croisement nous présentons l'exemple suivant :

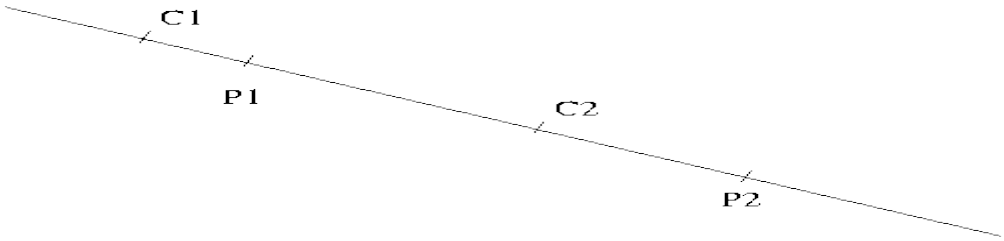

Figure III.3: Croisement barycentrique**.**

Parent1	1 0 0 0 1 1 1 1 1 0
Parent2	1 1 1 1 0 0 0 0 0 1
Masque	1 0 0 1 1 1 0 0 1 0
Enfant1	1 1 1 0 1 1 0 0 1 1
Enfant2	1 0 0 1 0 0 1 1 0 0

Tableau III.4: schéma de croisement uniforme.

Où (masque) représente les tirages aléatoires pour décider de la transmission de la valeur de l'allèle à l'un ou l'autre descendant :

Si la valeur de (masque) à la même position que l'allèle concerné est égal à 1 alors l'enfant de l'allèle de parent 1 passe à l'enfant 1 et celle de parent 2 passe à l'enfant 2, si elle est égale a 0 alors la valeur de l'allèle concerné de parent 1 passe à l'enfant 2 et celle de parent 2 passe à l'enfant 1. Des résultats théoriques et empiriques présentés par Syswerda indiquent que l'opérateur de croisement uniforme donne généralement de meilleurs résultats que ceux produits par un croisement à un ou à deux points. [16]

III.2.2.3 L'opérateur de mutation

La mutation est un changement aléatoire occasionnel (de faible probabilité notée a_m) de la valeur d'un allèle dans un chromosome. Elle ne crée généralement pas de meilleures solutions, mais elle évite une perte irréparable de la diversité. Sans elle on aurait une population uniforme, incapable d'évaluer. La mutation classique appliquée à une chaine binaire consistera à changer un <<1>> en <<0>> ou vice versa. Pour illustrer ce processus, supposons qu'un chromosome noté A ainsi que la position K=5, ont été aléatoirement choisis, il vient :

A avant mutation	1 0 0 0 1 1 1 1 1 0
Position aléatoire	K=5
A après mutation	1 0 0 0 0 1 1 1 1 0

Tableau III.5: Schéma d'une mutation classique.

Comme pour le cas du croisement, il y a plusieurs types d'opérateurs de mutation, nous citons :

- Transposition de deux allèles consécutifs (échange de deux allèles consécutifs dans un chromosome)
- Transposition de deux allèles quelconque (échange de deux allèles choisis d'une manière aléatoire dans le même chromosome)
- Inversion d'allèles (on tire deux positions dans un chromosome d'une manière aléatoire et on inverse l'ordre des allèles dans la zone sélectionnée). [16]

III.2.3 Paramètre de la population

Ces paramètres sont pris en compte au début de la résolution d'un problème pour fixer les paramètres propres à la population et à son évolution :

- Nombre d'individus de la population

Fixe le nombre d'individus générés aléatoirement au début pour former la population initiale. C'est aussi le nombre d'individus à la fin de chaque phase d'évolution. En effet, le nombre d'individus de la population est constant : il y a autant de morts que de naissances à chaque étape.

- Taux de reproduction

C'est la proportion de la population qui se reproduit après croisement à chaque étape de l'évolution. C'est donc, aussi la proportion des individus qui mourront au cours d'une étape.

- Probabilité de mutation

C'est la probabilité que chaque gène de chaque individu de la population courante subisse une mutation aléatoire au cours d'une phase d'évolution. [17]

III.2.4 Paramètre des conditions d'arrêt

On peut imaginer une multitude de conditions d'arrêt ; nous en avons choisi trois. Chacune comportant un paramètre. L'arrêt de la recherche intervient dès qu'une des conditions, détaillées ci-dessous, intervient :

- Stagnation de la valeur du cout du meilleur individu

Si la valeur du coût du meilleur individu de la population stagne pendant un nombre important de générations, on peut raisonnablement penser que l'algorithme ne trouvera pas de meilleures solutions aux problèmes car on ne remarque plus de changement considérable du coût entre les différentes itérations. Le paramètre est donc le nombre de générations de stagnation de la meilleure valeur du cout à partir de laquelle on doit interrompre la recherche.

- Coût acceptable

Ce test d'arrêt intervient lorsque l'on est capable de dire à partir de quelle limite on sera satisfait par la solution. Cela se traduira par la définition d'une valeur du coût maximale de la solution (c'est le paramètre à donner). L'algorithme interrompra donc les recherches des que le cout atteindra ou passera au dessous de cette valeur.

- Nombre maximum de générations

Il existe des cas pour lesquels on sait que l'on dispose d'un temps limité pour trouver une solution, on peut donc limiter l'exécution de l'algorithme à un nombre maximum de générations après lequel l'algorithme arrête sa recherche. [17]

Un niveau bas de mutation sert à empêcher tous les éléments dans le chromosome de rester fixe a une valeur constante au sein de la population entière, tandis qu'un niveau élevé de mutation va rendre les individus totalement aléatoires. Pour maintenir un certain équilibre entre les deux extrémités, il faut bien choisir la valeur de $a_{m.}$ [18]

Remarque

Pour pouvoir appliquer les trois opérateurs on a besoin de définir principalement trois paramètres :

Le nombre d'individus dans la population n, les taux de croisement a_x et de mutation a_m, trouver de bonnes valeurs de ces paramètres est un problème parfois délicat. La valeur de (n) dépend fortement du problème, alors que des taux de 5% de mutation et 70% de croisement sont souvent utilisés. [16]

III.2.5 Algorithme

Ci-dessous les principales étapes d'un algorithme génétique :

```
{
t=0 ;
INIT-POPULATION (P_t) ;
EVALUATE-FITNESS (P_t) ;
While (critère d'arrêt est non satisfait).
{
Π= SELECT-PARENTS (P_t) ;
Recombine (π, α_x) ;
Mutate( π,α_m) ;
t=t+1 ;
UPDATE-POPULATION (P_t) ;
}
Sortie : meilleure solution ;
}
```

Ou a_x et a_m représentent les probabilités associées des fonctions de croisement et de mutation respectivement

- INIT-POPULATION traduit le choix d'une population représentant une solution initiale.
- EVALUATE-FITNESS calcule le coût correspondant.

- SELECT-PARENTS fait choisir deux individus parents π de la population.
- Recombine représente l'opérateur de croisement.
- Mutate représente l'opérateur de mutation.
- UPDATE-POPULATION permet la mise à jour de la population en ne gardant qu'un certain nombre d'individus jugés bons et rejetant le reste .Cette mise à jour est adoptée dans notre simulation.

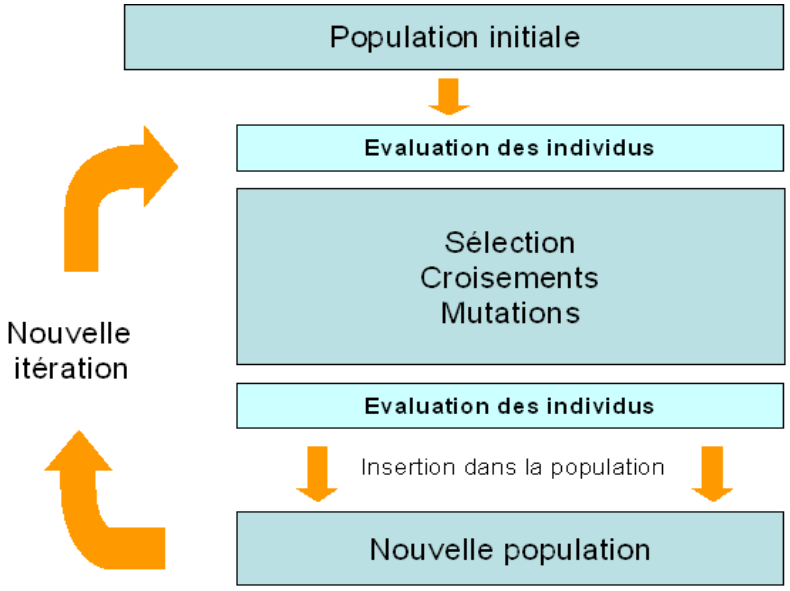

Figure III.4: Schéma général d'un algorithme génétique.

Pour conclure, on peut dire qu'un algorithme génétique donne une grande liberté dans le paramétrage et dans l'implémentation des différents traitements. Libre à vous ensuite de modifier tel ou tel paramètre si les solutions obtenues ne vous conviennent pas.

Les algorithmes génétiques ont l'énorme avantage de pouvoir être appliqués dans un grand nombre de domaines de recherche de solution, lorsqu'il n'est pas nécessaire d'avoir la solution optimale, qui prendrait par exemple trop de temps et de ressources pour être calculée, ou tout simplement si personne n'est capable de la trouver de manière théorique à l'instar du problème d'allocation de fréquences dans un réseau GSM.

III.3.L'Algorithme génétique implémenté

Dans cette section, nous présentons l'algorithme génétique implémenté dans notre approche d'affectation de fréquences pour un réseau GSM. Plus précisément, notre algorithme consiste à choisir un plan de fréquence optimal de sorte à minimiser les interférences Co-canal et les canaux adjacents.

Initialement, nous créons un ensemble de solutions générées aléatoirement, chaque solution est représentée par un chromosome. Nous utilisons une représentation en nombres réels tel que chaque gène représente la fréquence BCCH d'une cellule donnée. Par exemple, le premier gène représente la fréquence BCCH de la première cellule, le deuxième gène pour la fréquence BCCH de la deuxième cellule … etc.

La figure III.5 montre un exemple de chromosome, pour cette solution la fréquence BCCH pour la première cellule est égale à 810, à 830 pour la deuxième cellule, etc.

Cellule 1 … Cellule N

810	830	815	…	…	…	…	…	845	865

Figure III.5 : Exemple d'un chromosome.

III.4 Les étapes de l'algorithme génétique implémenté

Les différentes étapes de l'algorithme génétique utilisé se présentent comme suit :

- **Etape 1.** Générer la population initiale P de taille N aléatoirement.
- **Etape 2.** Evaluer toutes les solutions dans P.
- **Etape 3.** Sélectionner les deux parents en utilisant la "sélection binaire par tournoi". Elle consiste à tirer au hasard deux solutions de la population P puis sélectionner la solution avec le rang le plus élevé.
- **Etape 4.** Générer deux solutions enfants par le croisement des deux solutions parents avec une probabilité P_c.
- **Etape 5.** Exécuter l'opérateur de mutation avec une probabilité P_m pour chaque solution enfant.

- **Etape 6.** Ajouter les deux solutions enfants dans la population suivante G.
- **Etape 7.** Répéter les étapes de 3 à 6 pour obtenir N solutions enfants dans G.
- **Etape 9.** Répéter les étapes de 2 à 7 jusqu'à atteindre le nombre d'itérations.

III.5 Résultats obtenus

Notre algorithme génétique est implémenté en langage « Visual Basic », le code source de l'algorithme se trouve à la fin de ce rapport dans la partie Annexe.

Pour évaluer les performances de notre approche, nous avons considéré le réseau cellulaire de l'opérateur MOBILIS pour la ville de Maghnia (Figure III.6).

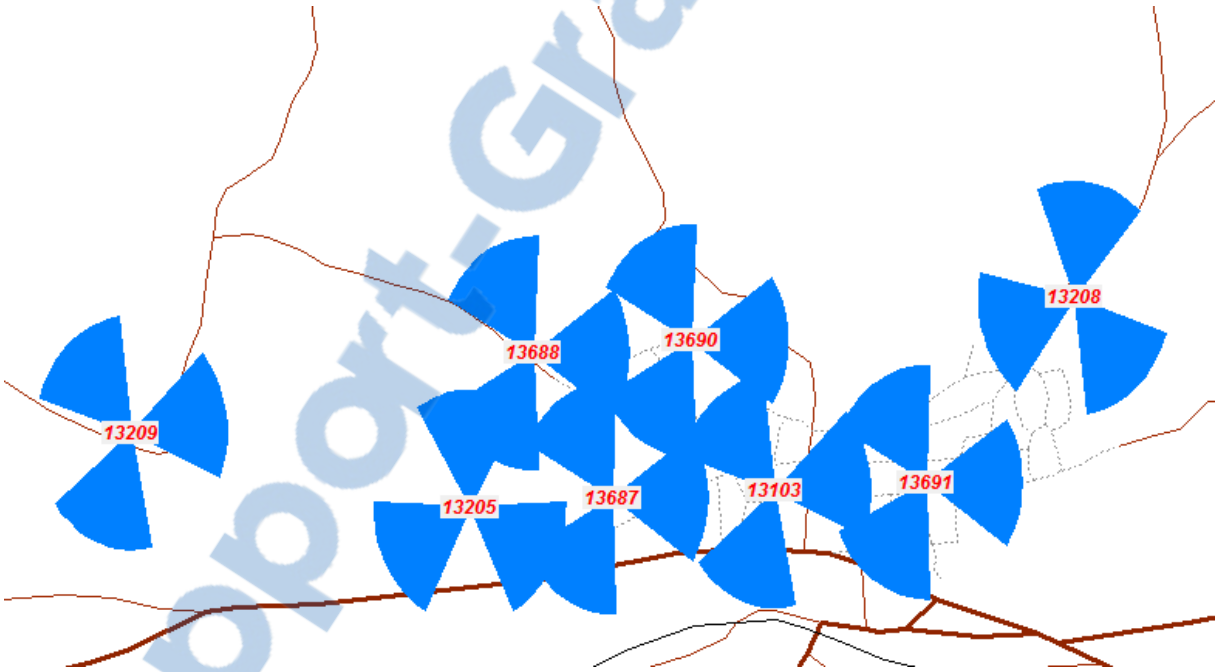

Figure III.6 : Réseau MOBILIS de la ville de Maghnia.

Le réseau MOBILIS de la ville de Maghnia est constitué d'un ensemble de 8 BTS, ce qui donne un total de 24 cellules. La matrice des cellules adjacentes (neighboring cells) est donnée comme suit :

Rapport-Gratuit.com

CELL	NCELL
1	2 3 20 9 22 21 19 15 14 16 17 18 4 5 6
2	1 3 22 24 15 10 11 23 13 15 19 20 21 16 17 5 18
3	1 2 22 23 19 20 16 17 24 13 15 21 9 14 18 4 5 6 22
4	1 3 13 5 6 1 8 9 11 10 20 21 14 15 16 17 19
5	1 3 4 13 17 10 9 8 1 6 18 16 19 23 20 21 14 15 2 11 22
6	1 3 14 13 15 17 18 19 21 16 20 4 5 8 9 10 11 23
7	4 5 16 6 8 9 11 22 24
8	22 23 19 21 20 4 5 6 1 16 9 10 4 5 6 1 16 9 10
9	22 3 19 20 4 5 6 1 8 23 24 15 10 11 18 16 1
10	17 18 4 5 6 8 9 1 2 16 15 13 14 19
11	10 11 6 9 1 2 3 4 5 16 17 18 15
12	4 6 1 9 5 16 17 18 13 14 15 20
13	14 15 2 3 1 4 5 16 19 20 10 11 6 17 18 21 23 22 24
14	13 2 15 5 17 20 4 1 3 6 10 11 16 18 19 21 22 23 24
15	13 14 5 3 4 17 18 19 20 21 16 1 2 10 11 6 22 23 24 9
16	3 17 18 13 15 4 1 2 19 20 21 22 5 10 11 14 23 6 24 1 8 9
17	16 3 14 15 18 10 4 1 20 21 23 24 2 5 11 13 19 6 22
18	16 17 15 10 1 3 4 20 21 24 5 11 13 14 19 6 2 22 23 9
19	9 3 15 2 20 21 16 13 24 1 4 5 10 14 17 18 22 23 6 8
20	19 18 21 1 3 17 16 15 13 14 23 24 5 4 9 2 11 22 6 8
21	19 20 18 17 16 15 1 3 5 4 2 13 14 22 23 24 6
22	24 23 8 9 16 1 2 3 1 14 15 18 19 21 20 4 5 13
23	24 22 5 6 8 13 1 17 20 2 3 9 14 15 16 18 19 21
24	22 23 19 20 18 17 3 2 1 9 14 15 21 16 6 4 8 13

Figure III.7: La matrice des cellules adjacentes (neighboring cells).

La figure III.8 représente les interférences Co canal dans la région de Maghnia.

On voit clairement qu'il y a un Co canal entre les deux cellules 13688 A et 13687 C et 13690 A et 13208 C

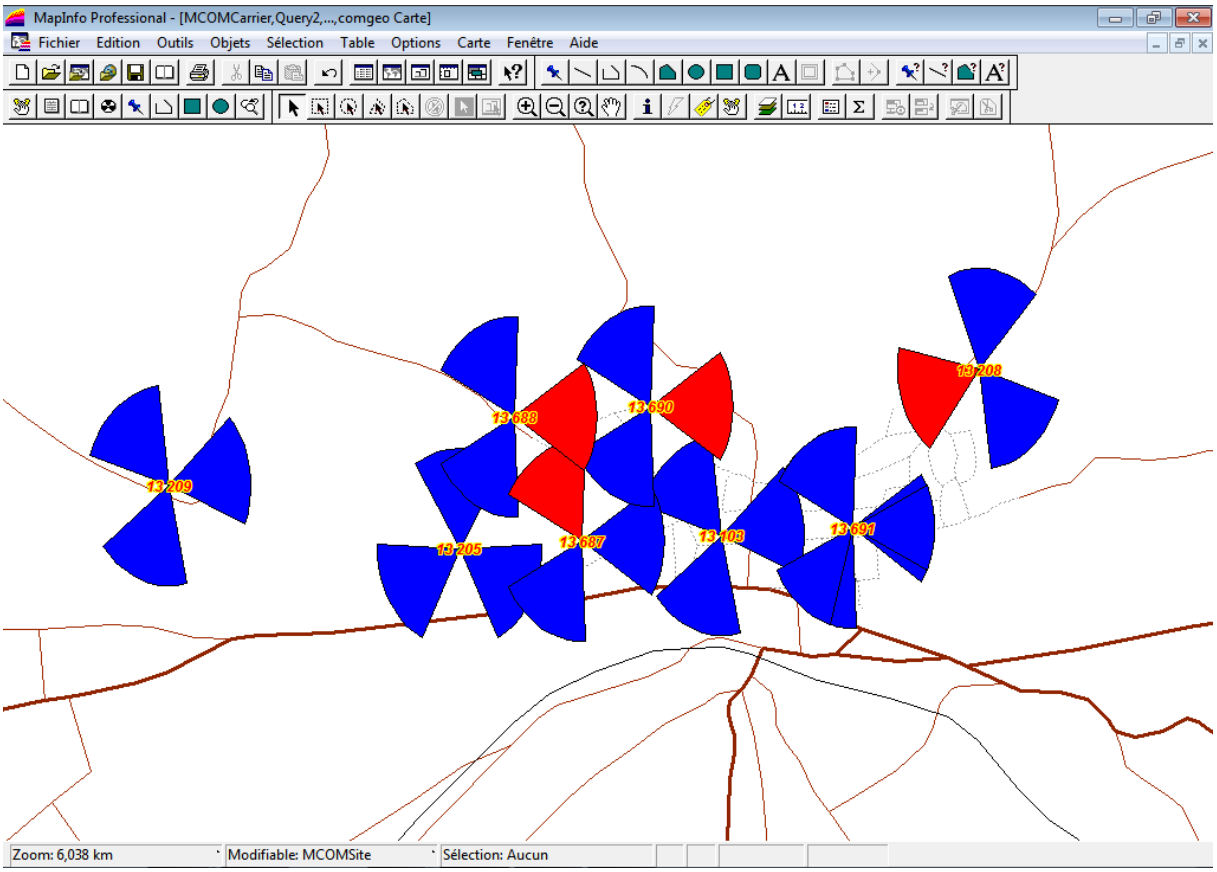

Figure III.8: Représentation des interférences Co-canal de BCCH dans la région de Maghnia avant d'utiliser l'algorithme génétique.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

En utilisant notre algorithme génétique, nous avons réussi d'obtenir aucune interférence (Co-BCCH) pour le réseau considéré. La figure III.9 montre une capture de l'exécution de notre application pour le réseau de Maghnia.

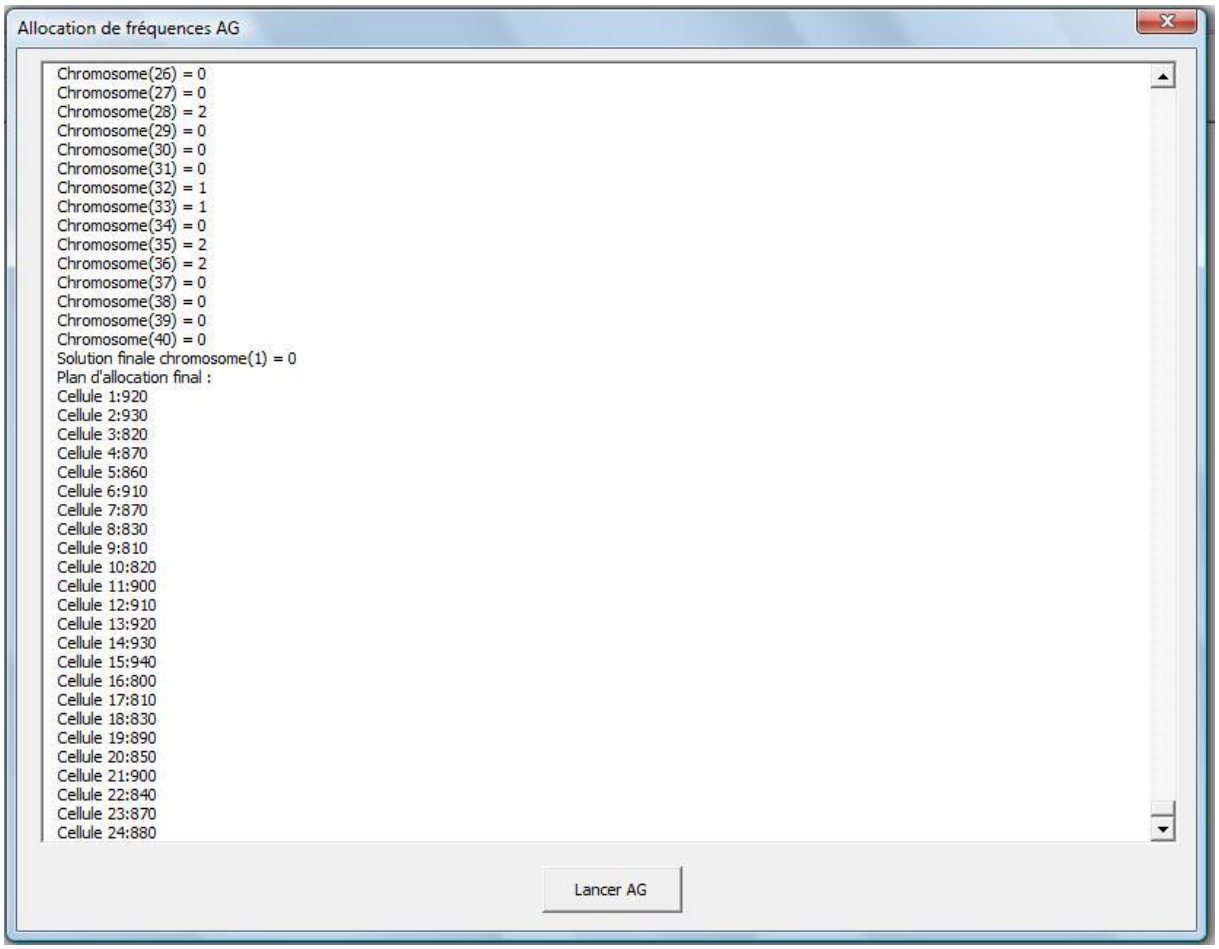

Figure III.9 : Capture de l'application implémentée.

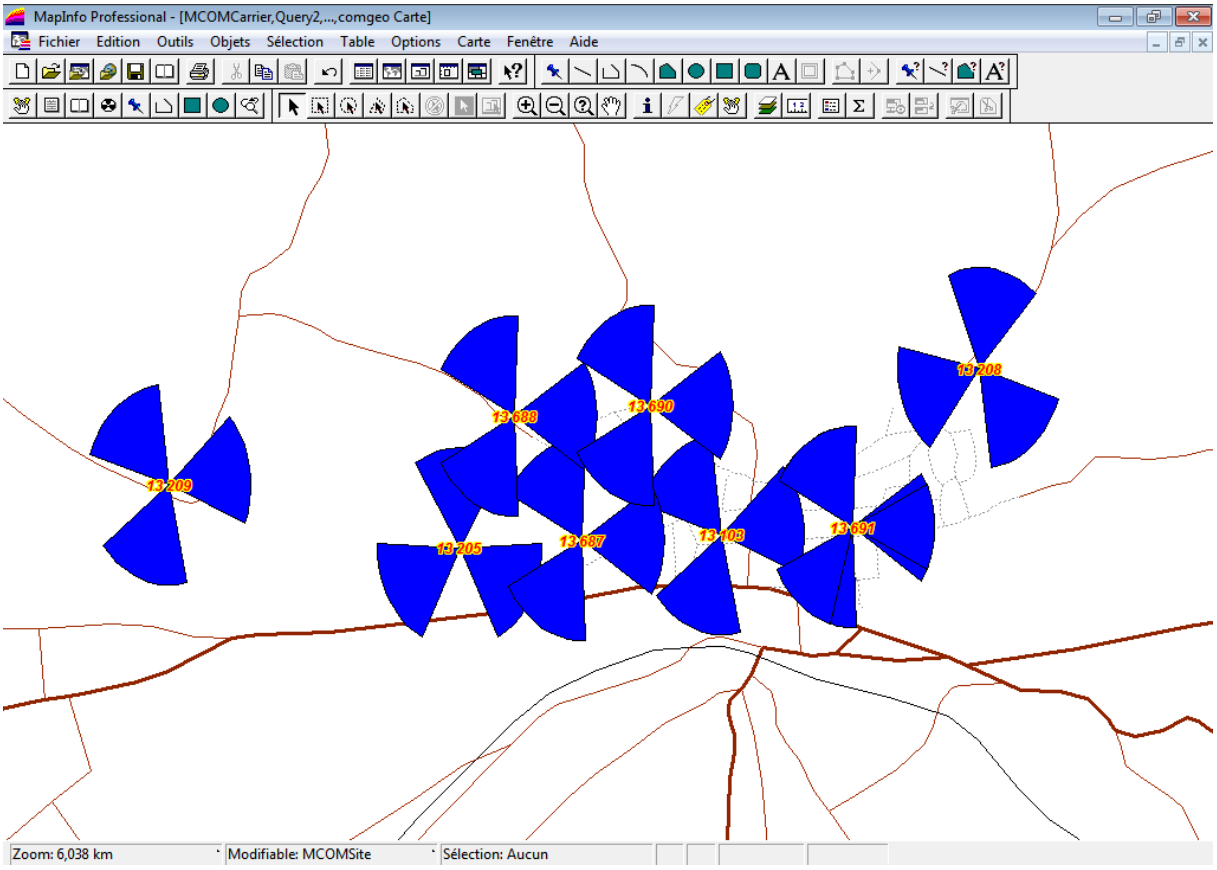

Figure III.10: Représentation des interférences Co-canal de BCCH dans la région de Maghnia après l'utilisation de l'algorithme génétique.

On voit clairement dans la figure III.10 aucunes interférences dans cette région.

III.6 Conclusion

Le processus d'affectation des fréquences est crucial pour la planification d'un réseau cellulaire. C'est un problème d'optimisation qui consiste à choisir un plan de fréquence optimal de sorte à satisfaire les contraintes de demande en trafic et de qualité de la communication tout en minimisant l'interférence Co-canal et de canaux adjacents. Dans ce contexte, nous avons développé un outil d'optimisation basé sur les algorithmes génétiques permettant l'allocation des fréquences dans un réseau GSM. Les résultats obtenus montrent clairement l'efficacité des algorithmes génétiques pour ce genre de problème.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressées au problème d'affectation des fréquences dans le réseau cellulaire de deuxième génération.

A travers ce projet de fin d'étude, nous avons développé un outil d'optimisation permettant de donné un plan de fréquences optimale dans le réseau GSM basé sur les algorithmes génétiques. Pour évaluer les performances de notre algorithme, nous avons considéré le réseau cellulaire de l'opérateur MOBILIS pour la ville de Maghnia. En effet, nous nous sommes servi des positions des sites et le nombre de fréquence allouées pour chaque cellule du réseau de Maghnia. Les résultats obtenus (zéro Co-BCCH) montrent clairement l'efficacité et la robustesse de l'approche utilisée.

Comme perspectives de ce travail, d'autres approches d'affectation des fréquences basées sur différentes heuristiques (algorithme de tabou …) peuvent être développées. Il est aussi envisageable de comparer notre outil développé avec des logiciels spécialisés dans ce type de problème à l'instar du logiciel Atoll (Wireless Network Engineering Software), ceci va nous permettre de valider l'approche utilisée.

Enfin ce travail nous a été très enrichissant. Il nous a permis de toucher de prés une partie très importante dans la planification des réseaux GSM.

Nous souhaitons que le présent travail satisfasse ses lecteurs.

Annexe

Annexe

```
Option Explicit

Dim s As SIMAN
Dim monModele As Model
'Variables en entrée
Const nb_cells = 24 'nombres de cellules
Const nb_freq = 15 'nombres de fréquences utilisées
Dim neighbors(nb_cells, nb_cells) As Integer 'neighboring
Dim freq(nb_freq) As Double  'tableau des fréquences utilisées
'Variables AG
Const nb_iteration = 150 'nombre d'itérations
Const taille_pop = 40 'taille de population
Const taille_chromo = nb_cells 'taille chromososme
Dim compt As Integer
Dim card As Integer
Dim fitness(taille_pop) As Integer  'tableau des fitness de chaque individu
Dim parent1(taille_chromo) As Double
Dim parent2(taille_chromo) As Double
Dim enf1(taille_chromo) As Double
Dim enf2(taille_chromo) As Double
Dim population(taille_pop, taille_chromo) As Double 'population
Dim sol As Double
'Variables de sortie
Dim alloc_finale(taille_chromo) As Double 'plan d'allocation finale
Sub creation_neighbors()  'cr&ation de la matrice neighbors
Dim i, j As Integer
For i = 1 To nb_cells
 For j = 1 To nb_cells
  neighbors(i, j) = 0
 Next j
Next i
'*****************************************************************
Pour représenter les cellules adjacentes, on a utilisé une matrice carrée neighbors[nb_cell x nb_cell],
tel que :  neighbors[i,j] = 1 si la cellule i est adjacente à la cellule j et neighbors[i,j] = 0 si la cellule i
n'est pas adjacente à la cellule j.
Exemple: neighbors (1, 2) = 1, neighbors (1, 3) = 1, neighbors (1, 20) = 1……
'*****************************************************************
' For i = 8 To nb_cells
 'For j = 1 To nb_cells
  'neighbors(i, j) = Int(Rnd + 0.5)
 'Next j
'Next i
End Sub
Sub creation_freq()  'création de la plage des fréquences
Dim i As Integer
Randomize Timer
'For i = 1 To nb_freq
```

```
 'freq(i) = Int(Rnd * 100 + 800)
'Next i
'*****************************************************************
Les fréquences sont: freq(1) = 800, freq(2) = 810, freq(3) = 820……
'*****************************************************************
For i = 1 To nb_freq
 ListBox1.AddItem "freq(" + CStr(i) + ") = " + CStr(freq(i))
Next i
End Sub
Sub initialisation()  'initialisation de population
Dim i, j, f As Integer
Randomize Timer
For i = 1 To taille_pop
 For j = 1 To taille_chromo
  f = Int((Rnd * nb_freq) + 1)
  population(i, j) = freq(f)
 Next j
 Next i
End Sub
Sub selection()
Dim i1, i2, j1, j2, k, sel As Integer
 i1 = Int((Rnd * taille_pop) + 1)
 i2 = Int((Rnd * taille_pop) + 1)
 j1 = Int((Rnd * taille_pop) + 1)
 j2 = Int((Rnd * taille_pop) + 1)
 If (fitness(i1) < fitness(i2)) Then
  sel = i1
 Else
  sel = i2
 End If
 For k = 1 To taille_chromo
  parent1(k) = population(sel, k)
 Next k
'*****************************************************************
'ListBox1.AddItem ("parent1 = " + CStr(sel))
'*****************************************************************
 If (fitness(j1) < fitness(j2)) Then
  sel = j1
 Else
  sel = j2
 End If
 For k = 1 To taille_chromo
  parent2(k) = population(sel, k)
 Next k
'*****************************************************************
'ListBox1.AddItem ("parent2 = " + CStr(sel))
'*****************************************************************
End Sub
Sub croisement()
Dim j, h As Integer
```

```
Dim beta As Double
Dim pcrois As Double
Dim s As String
 pcrois = (0.3 * Rnd) + 0.6   ' reste à vérifier : probabilité de croisement
 beta = Rnd
'*****************************************************************
 'ListBox1.AddItem ("Crois = " + CStr(crois))
 'ListBox1.AddItem ("Beta = " + CStr(beta))
'*****************************************************************
 If (beta < pcrois) Then
   h = Int((Rnd * (taille_chromo - 1)) + 1)
   For j = 1 To h
     enf1(j) = parent1(j)
     enf2(j) = parent2(j)
   Next j
   For j = h + 1 To taille_chromo
     enf1(j) = parent2(j)
     enf2(j) = parent1(j)
   Next j

   '*****************************************************************
   'ListBox1.AddItem ("h = " + CStr(h))
   '******************************************************************
 Else
   For j = 1 To taille_chromo
     enf1(j) = parent1(j)
     enf2(j) = parent2(j)
   Next j
 End If
'*****************************************************************
's = ""
'For j = 1 To taille
' s = s + CStr(enf1(j))
'Next j
'ListBox1.AddItem "enf1 = " + s
's = ""
'For j = 1 To taille
' s = s + CStr(enf2(j))
'Next j
'ListBox1.AddItem "enf2 = " + s
'*****************************************************************
End Sub
Sub mutation()
Dim p, q, j As Integer
Dim aux, beta, pmuta As Double
  pmuta = (0.05 * Rnd) + 0.05  ' probabilité de mutation entre 0.05 et 0.1
  beta = Rnd
'*****************************************************************
   'ListBox1.AddItem ("muta = " + CStr(muta))
   'ListBox1.AddItem ("Beta = " + CStr(beta))
```

Rapport-Gratuit.com

```
'*****************************************************************
 If (beta < pmuta) Then
   p = Int(Rnd * (taille_chromo - 1)) + 1
   q = Int(Rnd * (taille_chromo - 1)) + 1
'*****************************************************************
   'ListBox1.AddItem ("p = " + CStr(p))
   'ListBox1.AddItem ("q = " + CStr(q))
'*****************************************************************
   aux = enf1(p)
   enf1(p) = enf1(q)
   enf1(q) = aux
 End If
 pmuta = (0.05 * Rnd) + 0.05  ' probabilité de mutation entre 0.05 et 0.1
 beta = Rnd
'*****************************************************************
  'ListBox1.AddItem ("muta = " + CStr(muta))
  'ListBox1.AddItem ("Beta = " + CStr(beta))
'*****************************************************************
 If (beta < pmuta) Then
   p = Int((Rnd * (taille_chromo - 1)) + 1)
   q = Int((Rnd * (taille_chromo - 1)) + 1)
'*****************************************************************
  'ListBox1.AddItem ("p = " + CStr(p))
  'ListBox1.AddItem ("q = " + CStr(q))
'*****************************************************************
   aux = enf2(p)
   enf2(p) = enf2(q)
   enf2(q) = aux
 End If
 For j = 1 To taille_chromo
  population(card, j) = enf1(j)
  population(card + 1, j) = enf2(j)
 Next j
 card = card + 2
End Sub
Public Function calculer_coBCCH(ByVal l As Integer) As Integer  'calculer le nombre de coBCCH pour l'individu l
' reste à verifier : deux cellules coBCCH seront comptés deux fois
Dim i, j, nb_neighbors As Integer
nb_neighbors = 0
For i = 1 To taille_chromo
 For j = i + 1 To taille_chromo
  If (i <> j And population(l, i) = population(l, j) And neighbors(i, j) = 1) Then
  nb_neighbors = nb_neighbors + 1
  End If
 Next j
Next i
calculer_coBCCH = nb_neighbors
End Function
Sub calculer_fitness()  'calculer la fitness pour chaque individu
```

```
Dim i As Integer
For i = 1 To taille_pop
 fitness(i) = calculer_coBCCH(i)
 ListBox1.AddItem "Chromosome(" + CStr(i) + ") = " + CStr(fitness(i))
Next i
End Sub
Sub execution()
Dim i As Integer
card = 1
ListBox2.Clear
'afficher
Do While (card < taille_pop)
 selection
 croisement
 mutation
Loop
'correction
calculer_fitness
End Sub
Sub solution_finale()  'meilleure solution
Dim i, j, k, m, l As Integer
sol = fitness(1)
l = 1
 ListBox1.AddItem "Solution finale chromosome(" + CStr(1) + ") = " + CStr(fitness(1))
For i = 2 To taille_pop
 If (fitness(i) < sol) Then
  sol = fitness(i)
  l = i
  ListBox1.AddItem "Solution finale chromosome(" + CStr(i) + ") = " + CStr(fitness(i))
 End If
Next i
For i = 1 To taille_chromo
 alloc_finale(i) = population(l, i)
Next i
ListBox1.AddItem "Plan d'allocation final :"
For i = 1 To taille_chromo
ListBox1.AddItem "Cellule " + CStr(i) + ":" + CStr(alloc_finale(i))
Next i
End Sub
Private Sub Lancer_Click()
Dim compt As Integer
compt = 0
creation_neighbors
creation_freq
initialisation
'correction
calculer_fitness
Do While (compt < nb_iteration)
 execution
 compt = compt + 1
```

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

```
Loop
'afficher
solution_finale
'afficher_res
End Sub
Private Sub UserForm_Click()
End Sub
```

Références Bibliographique

Référence

[1]: D.ROMAIN, “ Réseaux cellulaires’’, document PDF, Juillet 2000.

Site : www.yopdf.com.

[2]: S.C.MAHAMAT et I.A.R.BAWA, “Optimisation des réseaux GSM pour la migration vers l’UMTS’’, PFE, Promotion IGE 25, Institut des Télécommunications Abdelhamid Boussouf d’Oran, soutenu Juin 2005.

[3]: I.M.DAOUA, M.M.GONI BOUALAMA, “Evolution des réseaux mobiles de 2G versla 3G’’, PFE, IGE 25, Institut des Télécommunications Abdelhamid Boussouf d’Oran, soutenu Juin 2005.

[4]: C. BERRABAH, S.ABDELKRIM, “Ingénierie et planification d'un réseau GSM’’, PFE, Promotion IGE 24, Institut des Télécommunications Abdelhamid Boussouf d’Oran, soutenu Juin 2004.

[5]: ZNATY, “Global System for Mobile Communications Architecture, Interfaces et Identités’’, document PDF, 2008.

Site : www.yopdf.com

[6]: P.BRISSON, P.KROPF, “ Global System for Mobile Communication (GSM)’’, Université de Montréal.

[7]: POLY, JL Langlois sur GSM, document PDF.

[8]: L.DENEIRE, “Téléphonie Mobile de troisième génération de GSM’’ a HSPDA, département R et T, Licence professionelle, Janvier 2008.

[9]: “GSM Basic and Key Technology’’ ZTE University.

[10]: Stephan Robert, “Planification des réseaux mobiles’’ Haute Ecole d’Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-Vd), Institute for Information and Communication Technologies (IICT), Juin 2003.

[11]:“communication radio mobile’’, Cours B11 TRANSMISSION DES TELECOMMUNICATIONS – Partie2 - Chapitre 8, document PDF.

[12]: M.A.BENNAMAR , A.HADGOU, “Le réseau cellulaire GSM’’, PFE Promotion système de telecommunication ,Universite AbouBaker Belkaid Tlemcen , soutenu juin 2003.

[13]: Planification et dimensionnement GSM, document PDF.

[14]:H.MOULAY EL BOUDKHILI, “Réseau GSM et Planification des cellules’’, PFE, Université Aboubakr Belkaid, soutenu Juin 2006.

[15]: C.MEZIOUD, “ Recherche sur la Résolution des Problèmes Complexes d’Affectation de Fréquences Basses Bandes pour les opérateurs de la Téléphonie Mobile’’, thèse pour l’obtention de grade de docteur en science soutenue publiquement par : thèse pour l’obtention de grade de docteur en science soutenue le 26/05/2011.

[16]: K.MESGHOUNI, “Applications des algorithmes évolutionnistes dans les problèmes d'optimisation en ordonnancement de la production’’, thèse de doctorat soutenue a Lille et préparer sous la direction du professeur Pierre Borne, 5 janvier 1999.

[17]: E.DUBOT “ Un exemple de résolution de problème – le voyageur de commerce’’.

Site : //wwwsi.supelec.fr/yb/projets/algon/voydeCom/voydeCom.html.

[18]: W.K.LAI, George G.GOGHILL, “Channel Assignment Thought Evolutionary Optimization ’’ IEEE transaction en vehicular thechnology, Vol.45, $N^0$1, February 1996.

[19]:

Résumé

Le processus d'affectation des fréquences est crucial pour la planification d'un réseau cellulaire. C'est un problème d'optimisation qui consiste à choisir un plan de fréquence optimal de sorte à satisfaire les contraintes de demande en trafic et de qualité de la communication tout en minimisant l'interférence Co-canal et de canaux adjacents. Dans ce travail, nous essayons de développer un outil d'optimisation permettant l'allocation des fréquences pour les différents transmetteurs dans un réseau GSM.

Une méthode d'optimisation basée sur les différentes heuristiques (algorithme génétique, algorithme de tabou …) sera retenue pour le développement de l'outil en question. Les indicateurs de performances KPIs récoltés au niveau de l'OMC (Centre d'opération et de maintenance) et des fichiers de mesures drive test réalisés à l'aide de la chaine de mesure appropriée vont nous permettre de valider notre plan d'allocation.

Mots Clés

GSM, BTS, MS, optimisation, plan de fréquences, méthodes heuristiques, couverture, interférences, indicateurs KPI, drive test.

Abstract

In this memory, we summons itself interested in a theoretical study on networks GSM.

The systems of mobile radiotelephony GSM and their alternative DSC are now a reference on a world level. Its access is often difficult and the description of certain functionalities is disseminated on several specifications.

Key words

GSM, BTS, MS, cellular system, optimization, frequency plan, heuristics, coverage, interference, KPIs, test drive.

تلخيص

في هذا العمل اهتممنا بالدراسة النظرية لشبكة الموصلات GSM التي تدخل في توليد الترددات و تعمل في مجالات ترددية رقمية مختلفة تعتمد علي الموصلات الهوائية.

تطرقنا في هده الدراسة إلي تطوير أداة الأمثل لتخصيص الترددات لأجهزة الإرسال المختلفة في شبكة MSG معتمدين علي AG.

كلمات البحث

STB MSG، SM، خطة تردد، الاستدلال، التغطية، مؤشرات الأداء الرئيسية، اختبار القيادة.