



**République Algérienne Démocratique et
Populaire**



**Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued**

Faculté de Technologie

**Mémoire de Fin d'Études
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Technologie

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

Thème

***Optimisation des modèles de perte dans un canal physique
pour la communication mobiles***

Réalisé par :

➤ **ZAIZ Arbia**

Soutenu en juin 2019 devant le jury composé de :

Dr. LAKHDAR Nacereddine

MCA

Président

M. HIMA Abdelkader

MAA

Examineur

M. BOULILA Mohamed

MAA

Directeur du mémoire

Année Universitaire : 2018/2019

Mémoire de Fin

d'Étude

Remerciement

Je remercie tout d'abord « Dieu Le Tout Puissant » de m'avoir donné procurer patience et volonté durant toutes mes années d'étude.

*Au terme de ce travail, j'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadreur **Mr.Mohamed Boulila** à l'Université D'EL-OUED, pour j'avoir fait confiance, pour son soutien et sa grande générosité et j'avoir permis de bénéficier de son grand savoir dans la matière et son aide précieux tout au long de ce travail.*

Je remercie particulièrement les membres de jury de m'avoir accordé l'honneur d'accepter l'évaluation de ce travail.

Je remercie tout particulièrement pour mes parents et mes proches qui n'ont jamais cessé de je fournir l'essentiel.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci...

Dédicace

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute mon existence.

Je dédie ce modeste travail :

✚ À ma chère mère symbole d'amour et d'affection

✚ À mon cher père qu'il trouve ici le fruit de son sacrifice et son encouragement

*Merci beaucoup **Maman & Papa.***

✚ À mes chers frères

Elhadi, Tahar, Lazhar, Mohamed, Youcef

✚ À mes chères soeurs

Fatiha, Khadidja, Faiza, Meriem

✚ À qui je porte tout l'amour, l'appréciation et le respect

Zaiz Salah Eddine, Bekkouche Sif Elhak

✚ À ceux qui m'ont beaucoup soutenu lors de l'exécution de ce travail et pour mes amis de l'étude

Aya, Hamidatou Laila, Manel, Nesrine

✚ Dédicace personnel et spéciale pour ceux qui sont dans le cœur et on n'a pas pu les mentionnés

✚ Une grande gratitude pour **Mr. Boulila Mohamed** et tous les enseignants du département de la télécommunication

✚ Enfin, j'espère que notre travail portera une aide aux étudiants en voie de graduation

Zaiz Arbia

Table des matières

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Les Méthodes Empiriques

I.1 Introduction.....	5
I.2 Définition du modèle de propagation.....	5
I.3 Catégories des modèles de propagation.....	6
I.3.1 Les modèles pour les grandes cellules (Macro-Cellules).....	7
I.3.2 Les modèles pour les petites cellules (Micro-cellules).....	7
I.4 Les types de modèles de propagation.....	7
I.4.1 Les Modèles empiriques.....	8
I.4.1.1 Modèle d'Okumura.....	9
I.4.1.2 Modèle de Hat.....	10
I.4.1.3 Modèle de COST 231 Hata.....	11
I.4.1.4 Modèle d'Egli.....	12
I.4.1.5 Modèle de SUI (Stanford University Interim).....	13
I.4.2 Les modèles semi-empiriques.....	16
I.4.2.1 Le modèle de LEE.....	17
I.4.2.2 Le modèle COST-CENT.....	18
I.5 Domaine d'application d'un modèle.....	21
I.6 Conclusion.....	22

Chapitre II : Réseau GSM

II.1 Introduction.....	24
II.2 Historique.....	24
II.3 Objectif du GSM.....	25

Table Des Matières

II.4 Caractéristiques techniques du GSM.....	26
II.5 La technologie de GSM.....	27
II.5.1 Concept cellulaire.....	27
II.5.2 La définition d'une cellule.....	28
II.5.3 Division cellulaire.....	28
II.5.4 Intérêt de la division cellulaire.....	29
II.5.5 Réutilisation des ressources.....	31
II.5.6 Itinérance (Roaming).....	31
II.5.7 Handover.....	32
II.6 Architecture d'un réseau GSM.....	32
II.6.1 Station Mobile (MS).....	33
II.6.2 Sous-Système Radio (BSS).....	34
II.6.2.1 La BTS (Base Transceiver Station).....	34
II.6.2.2 Le BSC (Base Station Controller).....	34
II.6.3 Sous-Système Réseau (NSS).....	35
II.6.3.1 Commutateur de service mobile (MSC).....	35
II.6.3.2 Registre des abonnés locaux (HLR).....	36
II.6.3.3 Centre d'authenticité (AuC).....	36
II.6.3.4 Registre des abonnés visiteurs (VLR).....	36
II.6.3.5 Registre d'identification d'équipement (EIR).....	37
II.6.4 Sous-Système Opération (OSS).....	37
II.7 Problèmes de propagation.....	37
II.7.1 Fading (Evanouissement).....	37
II.7.2 Alignement de temps.....	38
II.7.3 Dispersion de temps.....	38
II.8 Conclusion.....	39

Chapitre III : Algorithme Génétique

III.1 Introduction.....	41
III.2 Algorithmes génétiques.....	42
III.2.1 Présentation générale.....	42
III.2.2 Principe d'algorithme génétique.....	42
III.2.2.1 Fonction de performance.....	46
III.2.2.2 Les opérateurs.....	47
III.2.2.2.1 Opérateur de sélection.....	48
III.2.2.2.2 Opérateur de croisement.....	48
III.2.2.2.3 Opérateur de mutation.....	51
III.2.3 Paramètre de la population.....	52
III.2.4 Paramètre des conditions d'arrêt.....	52
III.3 Les avantages de l'algorithme génétique.....	53
III.4 Algorithme.....	54
III.5 Conclusion.....	56

Chapitre IV : Résultats Et Discussions

IV.1 Introduction.....	58
IV.2 Les étapes expérimentales.....	58
IV.3 Résultats de simulation et discussion.....	60
IV.3.1 Processus d'optimisation par AG.....	63
IV.3.2 Résultats d'optimisation par AG.....	65
IV.3.3 Validation.....	68
IV.4 Conclusion.....	69
Conclusion Générale.....	70
Références bibliographiques.	

Liste Des Figures

Chapitre I : Les Méthodes Empiriques

Figure I.1: Les types des cellules.....	6
Figure I.2: Plan de travail des modèles empiriques.....	8
Figure I.3: Plan de travail des modèles semi-empiriques.....	16
Figure I.4: Détermination des différentes hauteurs équivalentes de l'antenne d'émission.....	18
Figure I.5: Profil E-R considéré par le modèle COST-CENT.....	19

Chapitre II : Réseau GSM

Figure II.1: La structure cellulaire du réseau GSM.....	28
Figure II.2: Représentant un motif élémentaire et un ensemble de motifs dans un réseau.....	28
Figure II.3: Zone de handover entre deux cellules.....	31
Figure II.4: Architecture du réseau GSM.....	33
Figure II.5: Schématisation d'un system mobile MS.....	33
Figure II.6: Représentation d'un réseau NSS et un GMSC.....	35
Figure II.7: Phénomène de Fading.....	37
Figure II.8: Alignement de temps.....	38
Figure II.9: Dispersion de temps.....	38

Chapitre III : Algorithme Génétique

Figure III.1: Cycle d'évolution de l'algorithme génétique.....	45
Figure III.2: Les cinq niveaux (étapes) d'organisation d'un algorithme génétique.....	45
Figure III.3: Illustration du mécanisme de croisement en deux points.....	50

Liste Des Figures

Figure III.4: Illustration du mécanisme de croisement uniforme.....	51
Figure III.5: Illustration du processus de mutation.....	52
Figure III.6: Schéma général d'un algorithme génétique.....	55

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV.1: Comparaison graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS1-Rural).....	60
Figure IV.2: Comparaison graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS2-suburbain).....	61
Figure IV.3: Organigramme du processus d'optimisation.....	64
Figure IV.4: Comparaison entre COST-231 Hata et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1).....	66
Figure IV.5: Comparaison entre COST-231 Hata et COST-231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2).....	68
Figure IV.6: Evolution de la fonction fitness par rapport au nombre de générations.....	69

Liste Des Tableaux

Chapitre I : Les Méthodes Empiriques

Tableau I.1: Valeurs de paramètre de différents terrains pour le modèle SUI.....	15
--	----

Tableau I.2: Paramètres du modèle de LEE.....	17
---	----

Chapitre II : Réseau GSM

Tableau II.1: Caractéristiques technique du GSM.....	26
--	----

Chapitre III : Algorithme Génétique

Tableau III.1: La liaison entre les termes génétiques et la signification physique.....	46
---	----

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau IV.1: Paramètres BTS.....	59
-----------------------------------	----

Tableau IV.2: Comparaison des performances entre les modèles utilisés selon les critères de test.....	62
---	----

Tableau IV.3: Paramètres optimisés en tant que chromosome.....	64
--	----

Tableau IV.4: Paramètres AG utilisés.....	65
---	----

Tableau IV.5: Résultats du processus d'optimisation du modèle Hata COST-231 (rural).....	66
--	----

Tableau IV.6: Résultats du processus d'optimisation du modèle Hata COST-231 (suburbain).....	67
--	----

Tableau IV.7: Comparaison des performances selon les critères de test avec COST231-Opts (5.1).....	68
--	----

Abréviation

2G

Seconde Génération.

A

AuC

Authentication Center.

AG

Algorithme Génétique.

B

BTS

Base Transceiver Station.

BS

Base Station.

BSS

Base Station Subsystem.

BSC

Base Station Controller.

C

COST

COopération européenne dans le domaine de la recherche
Scientifique et Technique.

COST-CENTC Oopération européenne dans le domaine de la recherche
Scientifique et Technique - Centre National d'Etude des
Télécommunications.

DECT

Dual Energy Computed Tomography.

CEPT

Conférence Européenne des administrations des Postes et
Télécommunications.

E

EIR

Equipment Identity Register.

F

FDMA

Frequency Division Multiple Access.

G

GMSC

Gateway Mobile Switching Center.

GSM

Global System for Mobile Communications.

H

HLR

Home Location Register.

I

IMEI International Mobile Equipement Identity.

IMSI International Mobile subscriber Identity.

L

LTP Long-Term Potentiation.

M

MS Mobile Station.

MNT Modèle Numérique de Terrain.

MMDS Multichannel Multipoint Distribution Service

MSC Mobile Switching Center.

ME Erreur moyenne.

N

NSS Network Switching Subsystem.

NLOS Non-line-of-sight.

O

OSS Operation Support Subsystem.

R

RTC Réseau Téléphonique Commuté.

RPE Rated Perceived Exertion.

RMSE Racine Mean Square Error.

S

SUI Stanford University Interim.

SIM Subscriber Identity Module.

SE Écart type d'erreur.

T

TDMA Time Division Multiple Access.

U

UHF Ultra Hautes Fréquences.

UM User Mobile.

V	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System.
	VLR	Visitor Location Register.
	VHF	Very High Frequency.

Acronymes

A_{mu}	L'atténuation relative à l'espace libre.
h_{te}	Hauteur de l'antenne de la station de base.
h_{re}	Hauteur de l'antenne mobile.
L_F	Le pathloss en espace libre.
$G(h_{te})$	Le facteur gain de l'antenne de la station de base.
$G(h_{re})$	Le facteur gain de l'antenne du mobile.
G_{AREA}	Gain dû au type de l'environnement.
L	L'affaiblissement en dB.
d	Distance entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice.
f_c	Fréquence en [MHz].
$a(h_{re})$	Facteur de correction.
c_m	Différentes valeurs pour différents environnements.
PL	Affaiblissement total, en dB.
Λ	La longueur d'onde [m].
X_f	Facteur de correction de fréquence.
X_h	Facteur de correction pour la hauteur de l'antenne de réception.
s	Correction pour l'observation et l'exposant d'affaiblissement sur le trajet.
γ	L'écart type.
n, P_0	Paramètres déduits à partir de mesures faites sur le terrain.
$h_{te}(eff)$	Hauteur effective de l'antenne d'émission.
W	Largeur de la rue dans laquelle est localisé le mobile.

Abréviation Et Acronymes

w1	Distance entre le mobile et le bâtiment (onde diffractée).
w2	Distance entre le mobile et le bâtiment (onde réfléchié).
N	Arêtes des bâtiments.
t1	Trajet de l'onde diffractée.
t2	Trajet de l'onde réfléchié.
α	Angle formé entre l'horizontale et la direction de propagation de l'onde radio émise.
L_0	Affaiblissement d'espace libre.
L_{msd}	Affaiblissement de diffraction multiple.
L_{rts}	Affaiblissement dans la rue du mobile.
L_{deg}	Affaiblissement lié à la diffraction.
N_{pop}	La taille de la population.
p_c	Probabilité constante.
D	Le nombre de bits dans un chromosome.
K	Un nombre entier aléatoire.
p_m	Probabilité de mutation.
a_x, a_m	Les probabilités associées des fonctions de croisement et de mutation respectivement.
$PL_{m,i}$	Pertes total mesuré.
$PL_{e,i}$	Pertes total estimée.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le développement de la communication et l'augmentation du niveau de vie des personnes sont directement liés à l'utilisation accrue du mobile cellulaire. Cellular Mobile Radio - la technologie sophistiquée haut de gamme qui permet à chacun de communiquer n'importe où avec n'importe qui, Où la téléphonie mobile est un aspect majeur de la vie de tout le monde, que ce soit au travail ou dans la vie courante.

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.

Les différents mécanismes et phénomènes de propagation entrent en jeu (la réflexion, la réfraction, la transmission, la diffusion, fading, et les trajets multiples etc), pour ce faire les opérateurs disposent de services techniques qui effectuent des mesures du signal radio sur le terrain et mettent au point les outils d'ingénierie informatique permettant de visualiser et de prévoir la couverture radioélectrique. Pour cela ils utilisent et mettent au point des modèles de propagation des ondes radioélectriques utilisées par le réseau de télécommunication radio mobile, afin de les aider à améliorer la qualité (couverture, transmission) du réseau de télécommunication.

Les modèles empiriques sont basés sur l'analyse d'un grand nombre de mesures expérimentales en fonction de différents paramètres tels que la fréquence, la distance, la hauteur de station de base. Ils sont robustes,

rapides et ne nécessitent pas bases de données géographiques. Ils sont adaptés au dimensionnement des systèmes mais peu un précis plus particulièrement à courtes distances, et les modèles semi empiriques il s'agit de modèles dont les variations d'entrée et de sortie sont choisies en fonction d'une analyse physique du phénomène. Ils se basent sur une partie théorique assez simplifiée pour tenir en compte des phénomènes de propagation influents (calcul de diffraction multiple, réflexion.).

L'objectif de ce mémoire, consiste à décrire un programme qui utilise l'algorithme AG pour optimiser un modèle empirique et le rendre plus approprié à la zone de couverture désirée.

Dans ce travail, j'ai choisi l'algorithme génétique (AG) pour apprécier les pertes dans un réseau GSM. La méthode AG est retenue pour optimiser un modèle empirique qui sera choisi après comparaison entre plusieurs modèles existants avec des données réels sont prélevées de la région de Batna ; BTS1 couvre la zone rurale et BTS2 couvre la zone suburbaine.

Le travail présenté dans ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre porte sur l'analyse des différents modèles de propagation, et surtout les modèles empiriques et semi-empiriques.

Le deuxième chapitre des préambules importants sur le GSM, tel que le système cellulaire, l'architecture du réseau GSM, la planification du réseau.

Le troisième chapitre j'ai présenté une étude complète sur les algorithmes génétiques.

Dans le dernier chapitre, les résultats de simulation vont être présentés d'une manière simple à comprendre indiquant la performance de modèle optimisé. Notre travail est terminé par une conclusion générale.

Chapitre I

Les Méthodes Empiriques

I.1. Introduction

La plupart des systèmes de communication mobiles fonctionnent dans des environnements de propagation complexes qui ne peuvent pas être modélisés avec précision par perte de trajet dans l'espace libre ou traçage de rayons. Un certain nombre de modèles de perte de chemin ont été développés au fil des ans pour prédire la perte de chemin dans des environnements sans fil typiques tels que les grandes macrocellules urbaines, les microcellules urbaines et, plus récemment, à l'intérieur de bâtiments [1].

Les modèles de propagation sont principalement basés sur des mesures empiriques sur une distance donnée dans une gamme de fréquences donnée et dans une zone géographique ou un bâtiment particulier. Cependant, les applications de ces modèles ne sont pas toujours limitées aux environnements dans lesquels les mesures empiriques ont été effectuées, ce qui rend quelque peu douteuse la précision de ces modèles empiriquement appliqués à des environnements plus généraux. Néanmoins, de nombreux systèmes sans fil utilisent ces modèles comme base pour l'analyse des performances.

I.2. Définition du modèle de propagation

Un modèle de propagation des ondes radio est un modèle mathématique, qui permet de simuler le canal de propagation entre un émetteur et un récepteur. Le modèle mathématique est ensuite mis en œuvre dans un algorithme, puis dans un programme informatique. Il permet de prédire le niveau moyen du signal radio que l'on reçoit en n'importe quel point à partir d'un certain nombre de paramètres (caractéristiques techniques, type d'environnement géographique traversé le long de la liaison...). Il modélise donc les variations dues aux obstacles rencontrés par les ondes le long du canal radio mobile (effet de masques) auxquelles il faudra rajouter ensuite un algorithme pour tenir compte des variations rapides (fading) [2].

On peut distinguer donc trois grands types de modèles des prédictions de propagation des ondes radioélectriques :

- Les modèles empiriques
- Les modèles semi-empiriques
- Les modèles déterministes ou exacts.

I.3. Catégories des modèles de propagation

En se basant sur l'environnement radio, devant la demande sans cesse croissante, les opérateurs ont été amenés à densifier leurs réseaux : ils augmentent le nombre des stations de base et réduisent la taille des cellules. La cellule est la zone couverte par une station de base. Elles schématisent des implantations physiques particulières de l'antenne de la station de base et de sa zone géographique déterminée : leurs caractéristiques sont liées à la position, la puissance, la hauteur de l'antenne de la station de base et à l'environnement géographique [5]. On distingue quatre types de cellules selon la taille de la zone géographique couverte : Macro cellule, Petite ou Mésocellule, Micro cellule et Pico cellule [2] (figure I.1).

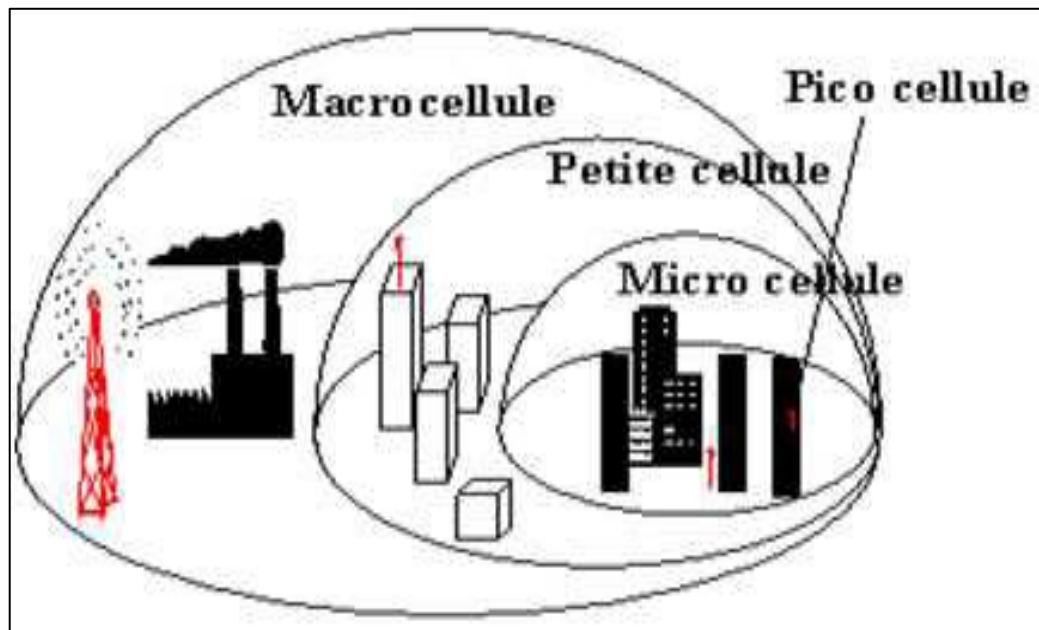


Figure I.1 : Les types des cellules [2].

Les modèles de prédiction peuvent être classés en deux principales catégories :

- ✓ Modèle Macro-cellule.
- ✓ Modèle Micro-cellule.

I.3.1. Les modèles pour les grandes cellules (Macro-Cellules)

Dans les réseaux de télécommunications radio mobiles la cellule la plus grande est la macro cellule. Le milieu géographique environnant est en général rural ou montagneux et l'antenne de station de base est positionnée sur un point très élevé. La distance entre la station de base et le mobile peut être supérieure à une dizaine de kilomètres.

Les modèles Macro-cellules sont des modèles généralement fondés sur l'analyse des obstacles qui s'y trouvent (colline, forêt, etc.). Ils s'appuient généralement sur des données géographiques de type maillé de sol et de sursol. Une mise au point par ajustement de variables est opérée à l'aide de mesures expérimentales du fait de la pauvreté des informations géographiques fournies et de la simplicité des algorithmes de calcul.

Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement rural. On distingue deux types de modèle :

- Les modèles ruraux : le modèle rural prend uniquement en compte la coupe de terrain verticale entre l'émetteur et le récepteur pour déterminer les affaiblissements et notamment ceux dus à la diffraction par les obstacles (sol et sursol).
- Le modèle montagneux : le modèle montagneux prend en compte, outre le trajet direct, les trajets réfléchis sur le flanc les montagnes [3].

I.3.2. Les modèles pour les petites cellules (Micro-cellules)

Contrairement aux modèles statistiques grandes cellules qui prédisent une couverture radio moyenne et pas très précise essentiellement en milieu ouvert, les modèles Micro-cellules essaient de prédire une zone de couverture moins étendue mais plus précise. Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement urbain ou semi-urbain [6].

I.4. Les types de modèles de propagation

Le type de modèle choisi dépendra du niveau d'estimation souhaité : estimation approximative ou précise. De plus, les données sur le terrain

disponibles jouent un rôle important. Après l'estimation de prédiction, des mesures de champ doivent être réalisées de façon à valider le modèle. Cette étape nécessite généralement le réajustement des paramètres. Les deux principaux types de modèles résultants de ces approches sont les modèles théoriques, basés sur des modélisations théoriques, et les modèles empiriques. Des modèles semi empiriques utilisant les approches précédentes sont également définis. Ils prennent en compte les équations théoriques de propagation et sont paramétrés à l'aide des résultats de mesures réelles [4].

I.4.1. Les modèles empiriques

Les méthodes ou modèles empiriques de prédiction de propagation sont, en réalité, des formulations mathématiques exprimant l'atténuation en fonction de plusieurs paramètres tels que la fréquence d'émission, le degré d'urbanisation, la hauteur des terminaux, la distance, etc. [7].

L'élaboration de ces modèles repose sur la collecte de données concernant des mesures. Par une analyse statistique de ces données on tire les équations donnant une valeur moyenne d'affaiblissement à une distance donnée [8].

La figure I.2 montre la topologie des modèles empiriques.

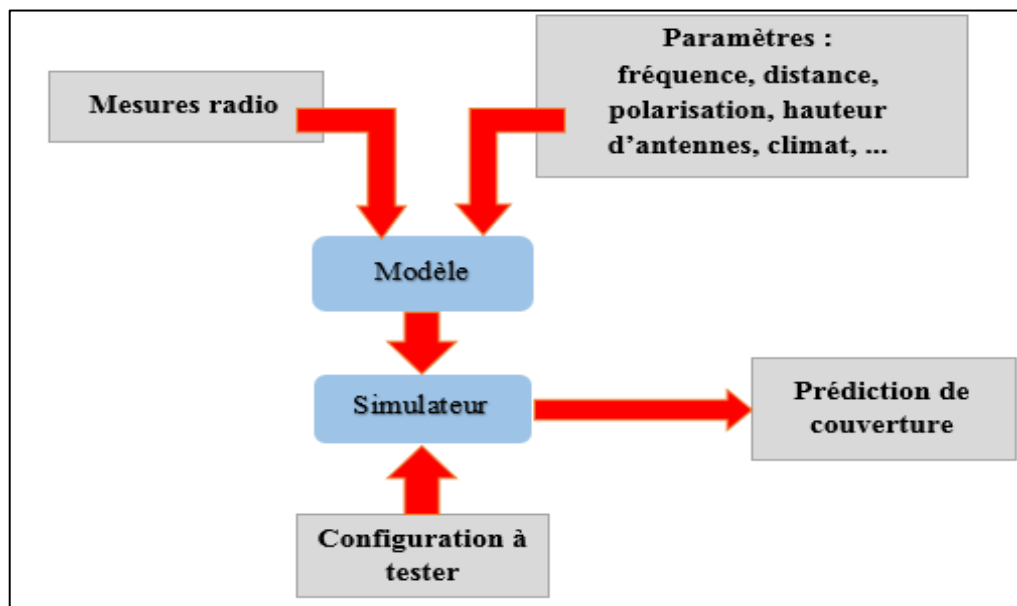


Figure I.2 : Plan de travail des modèles empiriques [9].

Si le modèle empirique est bien construit, avec la rigueur exigée par l'analyse statistique, il représentera correctement les données qui ont servi à l'établir. Parce qu'en général, il est relativement simple et facile à mettre en œuvre (en termes de développement mathématique et de programmation informatique), le concepteur de système de télécommunication aura tendance à le préférer à tout autre [9].

I.4.1.1. Modèle d'Okumura

Le modèle d'Okumura est le plus largement utilisé dans la prédiction des signaux dans les zones urbaines. Il s'applique aux fréquences se situant entre 15 MHz et 1920 MHz (bien que pratiquement on l'extrapole jusqu'à 3000MHz) et des distances entre 1 Km et 100 Km. Il peut être utilisé pour des hauteurs d'antennes de stations de bases allant de 30 m à 1000 m.

Okumura a développé un ensemble de courbes donnant l'atténuation relative à l'espace libre (A_{mu}) dans une zone urbaine quasi-lisse avec une station de base de hauteur (h_{te}) et un mobile de hauteur (h_{re}). Pour déterminer le pathloss, Okumura détermine le pathloss en espace libre puis rajoute la valeur $A_{mu}(f,d)$ avec un certain nombre de facteurs de corrections spécifiques au terrain. Le modèle est exprimé par :

$$L(dB) = L_F + A_{mu}(f,d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \quad (I.1)$$

Où L_F est le pathloss en espace libre, A_{mu} est l'atténuation relative en espace libre, $G(h_{te})$ est le facteur gain relative à la hauteur de l'antenne de la station de base, $G(h_{re})$ est le facteur gain de l'antenne du mobile et G_{AREA} est le gain dû au type de l'environnement. Des plots de $A_{mu}(f,d)$ et G_{AREA} pour de larges fréquences sont donnés dans l'annexe. Des estimations des gains ont été faites par Okumura par les formules suivantes [10] :

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000m > h_{te} > 30m \quad (I.2)$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3m \quad (I.3)$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10m > h_{re} > 3m \quad (I.4)$$

Le modèle d'Okumura est considéré comme l'un des plus simples et des meilleurs en termes de précision de la prévision de perte de chemin pour les systèmes cellulaires et terrestres mobiles matures dans un environnement encombré. Le principal inconvénient du modèle Okumura est sa lenteur à réagir aux changements rapides du terrain. Le modèle est donc assez bon dans les zones urbaines et suburbaines, mais pas aussi bon dans les zones rurales [11].

I.4.1.2. Modèle de Hata

Le modèle Hata est introduit en tant qu'expression mathématique pour atténuer le meilleur ajustement des données graphiques fournies par le modèle classique d'Okumura. Le modèle Hata est utilisé pour la plage de fréquences de 150 MHz à 1500 MHz afin de prévoir l'affaiblissement de propagation médian pour une distance allant de l'émetteur à l'antenne du récepteur jusqu'à 20 km. La hauteur de l'antenne de l'émetteur est considérée comme comprise entre 30 et 200m et la hauteur de l'antenne du récepteur est égale à 1 m à 10 m [12]. En milieu urbain, l'affaiblissement en dB appelé ici L_{50} est donné par [13] :

$$L_{50}(\text{urbain}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) \quad (I.5)$$

C'est une formule empirique des données de perte de trajet graphique fournies par Okumura [14].

h_{te} : 30m à 200m (hauteur de l'antenne de la station de base).

h_{re} : 1m à 10m (hauteur de l'antenne mobile).

d : distance entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice T-R [km].

f_c : fréquence en [MHz].

Le paramètre $a(h_{re})$ est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne de la station mobile et de l'environnement dont la valeur est [13] :

- ✓ Une petite à moyenne ville : $a(h_{re}) = (1.1 \log(f_c) - 0.7)h_{re} - (1.56 \log(f_c) - 0.8)$ en dB
- ✓ Grande ville ($f_c < 300$ MHz) : $a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1$ en dB
- ✓ Grande ville ($f_c > 300$ MHz) : $a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97$ en dB

Pour obtenir le path loss zone de suburbain la formule standard de Hata est modifiée ainsi :

$$L_{50}(\text{suburbain})(dB) = L_{50}(\text{urbain}) - 2 \left(\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad (\text{I.6})$$

En milieu rural :

- Environnement dégagé :

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbain}) - 4.78(\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 40.94 \quad (\text{I.7})$$

- Environnement semi-dégagé :

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbain}) - 4.78(\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 35.94 \quad (\text{I.8})$$

I.4.1.3. Modèle de COST 231 Hata

Le modèle COST 231 Hata est une extension du modèle Hata mais à des fréquences supérieures. Ce modèle est utilisé pour calculer l'affaiblissement sur le trajet dans trois environnements différents (urbain, suburbain et rural) dans la gamme de fréquences 1500 MHz à 2000 MHz. Ce modèle fournit des moyens simples et faciles de calculer la perte de trajectoire. Bien que les gammes de fréquences 2,5 GHz et 3,5 GHz soient en dehors de sa plage de mesure, sa simplicité et ses facteurs de correction permettaient toujours de prédire l'affaiblissement sur le trajet dans cette gamme de fréquences supérieure. L'équation de base de l'affaiblissement sur le trajet pour ce modèle COST-231 Hata peut être exprimée comme suit :

$$L_{50} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_{te}) - ah_m + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{te})) \log_{10}(d) + c_m \quad (\text{I.9})$$

Où

d : distance entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice [km].

f_c : fréquence [MHz].

h_{te} : hauteur de l'antenne de l'émetteur [m].

Le paramètre c_m a différentes valeurs pour différents environnements tels que 0 dB pour les zones suburbaines et 3 dB pour les zones urbaines ; les zones et le paramètre restant ah_m est défini dans zones urbaines comme :

$$ah_m = 3.20 (\log_{10}(11.75 h_{re}))^2 - 4.79, \text{ pour } f_c > 400 \text{ MHz} \quad (\text{I.10})$$

La valeur de ah_m dans les zones suburbaines et rurales (plates) est donnée par :

$$ah_m = (1.11 \log_{10}(f_c) - 0.7) h_{re} - (1.5 \log_{10}(f_c) - 0.8) \quad (\text{I.11})$$

Où h_{re} est la hauteur de l'antenne du récepteur en mètres [12].

I.4.1.4. Modèle d'Egli

Le modèle Egli est un modèle de terrain pour la propagation de radiofréquences. Le modèle Egli a été introduit par John Egli en 1957. Ce modèle de prévision est applicable à une fréquence de 40 MHz à 900 MHz et la portée de liaison est inférieure à 60 km. Il a été dérivé de données réelles sur les transmissions télévisées UHF et VHF dans plusieurs grandes villes. Il prédit la perte totale de chemin pour un lien point à point. Egli a observé que l'intensité du signal médian dans une petite zone avait tendance à suivre une loi de quatrième puissance inverse avec la distance de l'émetteur, de sorte que le modèle est basé sur la propagation sur une terre plane. Les formules du modèle de prévision de l'affaiblissement de propagation d'Egli sont les suivantes [15] :

- Pour $h_{re} \leq 10$

$$L(\text{dB}) = 20 \log_{10}(f_c) + 40 \log_{10}(d) - 20 \log_{10}(h_{te}) + 76.3 - 10 \log_{10}(h_{re}) \quad (\text{I.12})$$

- Pour $h_{re} \geq 10$

$$L(dB) = 20 \log_{10}(f_c) + 40 \log_{10}(d) - 20 \log_{10}(h_{te}) + 85.9 - 10 \log_{10}(h_{re}) \quad (I.13)$$

Où

h_{te} : hauteur de l'antenne de la station de base [m].

h_{re} : hauteur de l'antenne de la station mobile [m].

d : distance de l'antenne de la station de base [m].

f_c : fréquence de transmission [MHz].

D'après les formules, il est noté que ce modèle prédit que l'intensité moyenne du signal diminuera avec la distance à un taux de 40 dB / décennie. Le taux de décrémentation ne dépend pas de la hauteur effective de l'antenne de la station de base radio ou d'autres facteurs si tous ces facteurs restent les mêmes sur toute la distance de mesure.

I.4.1.5. Modèle de SUI (Stanford University Interim)

Le groupe de travail sur l'accès sans fil à large bande IEEE 802.16 a proposé les normes pour la bande de fréquences au-dessous de 11 GHz contenant le modèle de canal développé par l'Université de Stanford, à savoir les modèles SUI. Ce modèle de prévision provient de l'extension du modèle Hata avec une fréquence supérieure à 1900 MHz. Les paramètres de correction permettent d'étendre ce modèle jusqu'à la bande 3,5 GHz. Aux États-Unis, ce modèle est défini pour le système de distribution multipoint hyperfréquences (MMDS) pour la bande de fréquences de 2,5 GHz à 2,7 GHz.

La hauteur de l'antenne de la station de base du modèle SUI peut être utilisée de 10 à 80 m. La hauteur de l'antenne du récepteur est comprise entre 2 et 10 m. Le rayon de la cellule est compris entre 0,1 km et 8 km. Le modèle SUI décrit trois types de terrain, à savoir le terrain A, le terrain B et le terrain C. Il n'y a pas de déclaration relative à un environnement particulier. Le terrain A peut être utilisé dans les régions montagneuses à végétation modérée ou très dense. Ce terrain présente la plus grande perte de trajectoire

et est considéré comme une zone urbaine dense et peuplée. Le terrain B est caractérisé pour les terrains accidentés avec une végétation rare ou les terrains plats avec une densité d'arbres modérée ou forte. C'est le schéma de perte de chemin intermédiaire. Ce modèle est considéré pour l'environnement suburbain. Le terrain C convient aux terrains plats ou ruraux avec une végétation légère, la perte de trajectoire est ici minimale.

L'expression de perte de chemin de base du modèle SUI avec facteurs de correction est présentée comme suit :

$$PL = A + 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + s, \text{ Pour } d \geq d_0 \quad (\text{I.14})$$

Où

PL : affaiblissement total, en dB.

d : distance entre BS et l'antenne de réception [m].

d_0 : distance de référence 100 [m].

λ : la longueur d'onde [m].

X_f : facteur de correction de fréquence pour les fréquences supérieures à 2GHz.

X_h : facteur de correction pour la hauteur de l'antenne de réception [m].

s : la correction pour l'observation (dB) et l'exposant d'affaiblissement sur le trajet.

Les variables aléatoires sont prises en charge selon une procédure statistique car l'exposant de perte de trajet γ et l'écart type de faible évanouissement s sont définis. Le journal est un facteur normalement distribué, pour les atténuations d'ombre dues aux arbres et autres parasites sur un chemin de propagation, et sa valeur est comprise entre 8,2 dB et 10,6 dB.

Le paramètre A est défini comme :

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (\text{I.15})$$

Et l'exposant d'affaiblissement sur le trajet γ est donné par [13] :

$$\gamma = \alpha - b h_{te} + \left(\frac{c}{h_{te}}\right) \quad (\text{I.16})$$

Où, le paramètre h_{te} est la hauteur de l'antenne de la station de base en mètres. Ceci est entre 10 m et 80 m. Les constantes, et dépendent des types de terrain, données dans le tableau 1. Valeur du paramètre $\gamma = 2$ pour la propagation en espace libre dans une zone urbaine, $3 < \gamma < 5$ pour un environnement NLOS urbain, et $\gamma < 5$ pour la propagation en intérieur.

Paramètre de modèle	Terrain A	Terrain B	Terrain C
α	4.6	4.0	3.6
$b (m^{-1})$	0.0075	0.0065	0.0050
$c (m)$	12.6	17.1	20.0
s	10.6	9.6	8.2

Tableau I.1 : Valeurs de paramètre de différents terrains pour le modèle SUI [16].

Le facteur de correction de fréquence X_f et la correction de la hauteur de l'antenne du récepteur X_h pour le modèle sont exprimés en :

$$X_f = 6.0 \log_{10} \left(\frac{f_c}{2000} \right) \quad (\text{I.17})$$

- Pour les types de terrain A et B

$$X_h = -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_{re}}{2000} \right) \quad (\text{I.18})$$

- Pour le type de terrain C

$$X_h = -20.0 \log_{10} \left(\frac{h_{re}}{2000} \right) \quad (\text{I.19})$$

Où

f_c : la fréquence de fonctionnement [MHz].

h_{re} : la hauteur de l'antenne du récepteur [m].

Pour les facteurs de correction ci-dessus, ce modèle est largement utilisé pour la prévision de perte de trajectoire des trois types de terrain en milieu rural, urbain et suburbain [16].

I.4.2. Les modèles semi-empiriques

Par opposition aux modèles empiriques, les modèles semi empiriques s'appuient sur une caractérisation plus précise de la zone à couvrir. Ils font un compromis entre la complexité et la précision. En effet, ils font intervenir à la fois les aspects théoriques et des mesures. Ce qui donne des résultats plus précis que des modèles empiriques.

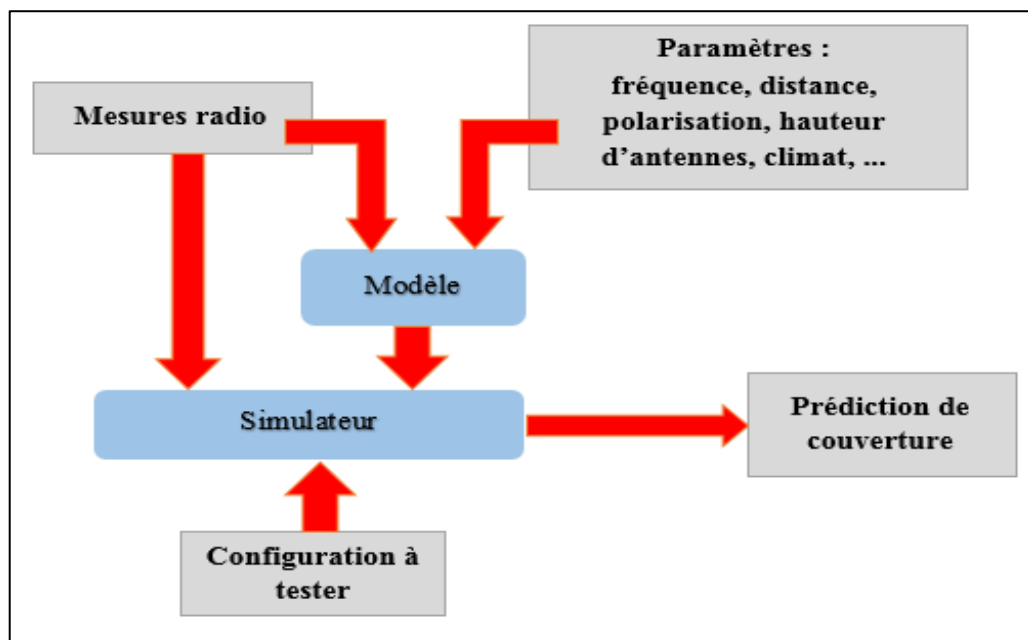


Figure I.3 : Plan de travail des modèles semi-empiriques [9].

Les modèles semi-empiriques se basent sur une partie théorique assez simplifiée pour tenir compte des phénomènes de propagation influents (calcul de diffraction multiple, réflexion...).

Puis à partir de cela, un certain nombre de corrections statistiques sont effectuées sur l'ensemble des variables calculées par le modèle ce qui permet de l'ajuster par rapport aux situations réelles rencontrées sur le terrain.

Pour développer ce type de modèles, il faut donc disposer de données assez précises sur l'environnement en présence (données géographiques numériques) et de données expérimentales (campagnes de mesures sur le terrain) [9].

I.4.2.1. Le Modèle de LEE

Le modèle de Lee (LEE, 1982) est basé sur des mesures réalisées dans différents environnements (espace libre, espace ouvert, périurbain, urbain) ainsi que sur le calcul de la hauteur effective de l'antenne d'émission. L'affaiblissement total est donné par la relation suivante :

$$PL = 10n\log_{10}(d) - 20\log_{10}(h_{te})(eff) - P_0 - 10\log_{10}(h_{re}) + 29 \quad (I.20)$$

Avec :

PL : affaiblissement total.

d : longueur de la liaison (en km),

n et P_0 : paramètres déduits à partir de mesures faites sur le terrain et dont la valeur est fonction du milieu géographique.

h_{re} : hauteur de l'antenne de la station mobile.

$h_{te}(eff)$: hauteur effective de l'antenne d'émission (figure I.4).

Environnement	n	P_0
Espace libre	2	-45
Espace ouvert	4.35	-49
Suburbain	3.84	-61.7
Urbain : Philadelphie	3.68	-70
Newark	4.31	-64
Tokyo	3.05	-84
New York City	4.08	-77

Tableau I.2 : Paramètres du modèle de LEE [17].

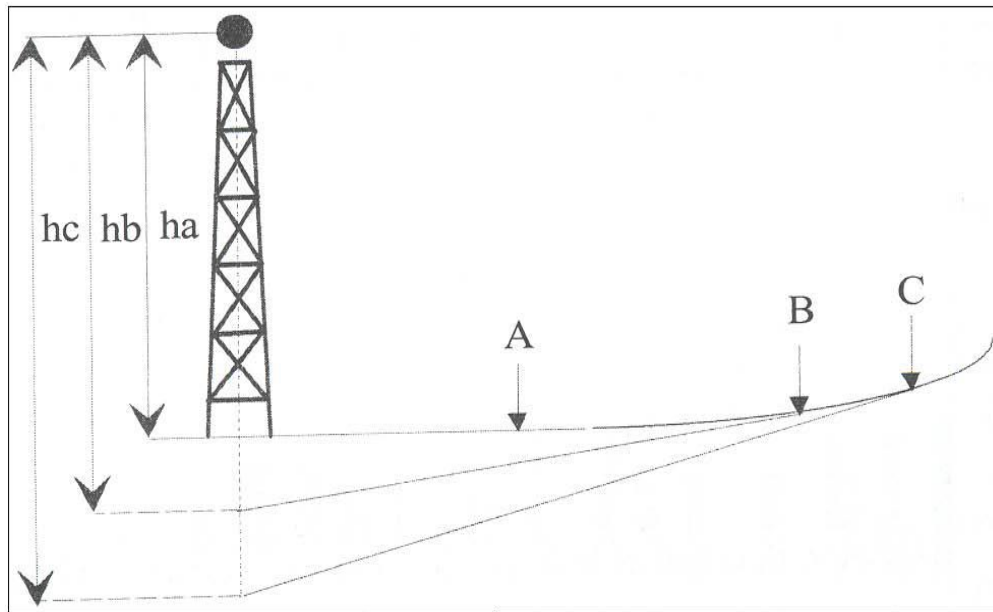


Figure I.4 : Détermination des différentes hauteurs équivalentes de l'antenne d'émission [17].

La hauteur effective de l'antenne d'émission est déterminée en projetant la pente du terrain au voisinage du mobile sur l'emplacement où est localisé la station de base supportant l'émetteur. La figure schématise la variation de la hauteur effective de l'antenne d'émission (h_a , h_b , h_c) pour différentes positions du mobile en fonction de la pente du terrain (avec A, B, C : pente du terrain plus 1.5 mètres, correspondant à la position du mobile) [17].

I.4.2.2. Le modèle COST-CNET

L'amélioration des modèles de propagation purement statistiques pour les petites cellules en milieu périurbain et urbain est obtenue par l'intégration du mode profil et de différents algorithmes de diffraction multiple sur une succession d'arêtes [17].

Le modèle COST-CNET est un modèle semi empirique en 2D qui a été développé pour modéliser le signal radio pour les petites cellules (mésocellules) d'un réseau radio mobile. Il convient plus particulièrement à l'ingénierie du GSM à 900 MHz et du DECT¹⁵⁶ à 1800 MHz, avec une émission de 5 à 15 mètres au-dessus des toits. Il a été élaboré par FTR&D

(anciennement CNET : Centre National d'Etude des Télécommunications) dans le cadre du programme européen COST 231.

Il correspond en fait à la synthèse de deux approches célèbres dans la modélisation radio en milieu urbain, celle de Walfisch-Bertoni pour le calcul de la diffraction multiple (WALFISH, 1988), et celle d'Ikegami pour le calcul de la diffraction sur la dernière arête et la réflexion sur la façade de l'immeuble situé en face dans la rue où est localisé le mobile (IKEGAMI, 1984).

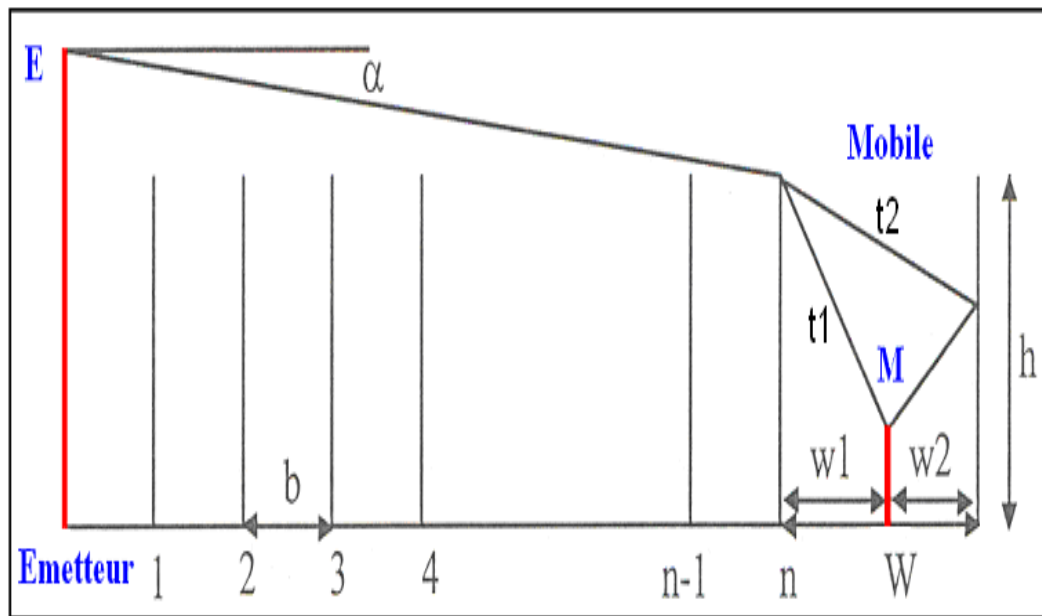


Figure I.5 : Profil E-R considéré par le modèle COST-CENT [17].

Avec :

h : hauteur des bâtiments.

b : distance entre les bâtiments.

W : largeur de la rue dans laquelle est localisé le mobile.

$w1$: distance entre le mobile et le bâtiment sur lequel l'onde radio est diffractée.

$w2$: distance entre le mobile et le bâtiment sur lequel l'onde radio est réfléchi.

n : arêtes des bâtiments (façades, coins de bâtiment).

$t1$: trajet de l'onde diffractée par la dernière arête au niveau du toit.

$t2$: trajet de l'onde réfléchi sur la façade de l'immeuble opposé.

α : angle formé entre l'horizontale et la direction de propagation de l'onde radio émise depuis l'émetteur.

M : le mobile.

E : l'émetteur.

Le profil considéré comme idéal par le modèle COST-CNET suppose que tous les bâtiments sont de la même hauteur h et sont espacés de la même distance b . Dans la rue où est localisé le mobile, rue de largeur W , on suppose que l'on reçoit le trajet diffracté seul (trajet 1) ainsi que la composante réfléchie sur la façade de l'immeuble opposé (trajet 2). Les formules de calcul permettent alors de calculer l'affaiblissement total de la liaison qui est en fait la somme de 3 composantes :

$$PL = L_0 + L_{msd} + L_{rts} + L_{deg} \quad (\text{I.21})$$

Avec :

PL : Affaiblissement total.

L_0 : Affaiblissement d'espace libre.

L_{msd} : Affaiblissement de diffraction multiple sur les $n-1$ arêtes.

L_{rts} : Affaiblissement dans la rue du mobile (superposition du trajet 1 et du trajet 2).

L_{deg} : Affaiblissement lié à la diffraction sur l'arête principal.

Le problème principal du modèle COST-CNET est bien entendu de savoir comment passer d'un environnement réel, tel qu'il est extrait des bases de données géographiques vectorielles (contours de bases des bâtiments) et d'un MNT au pas de 25 mètres, au profil idéalisé (figure I.5) d'où sont extraits les paramètres nécessaires pour le calcul de l'affaiblissement radioélectrique par le modèle COST-CNET. De ce profil théorique (figure I.5) sont alors extraites les variables morphologiques (largeur moyenne des rues, largeur de la rue où se trouve le mobile, hauteur des bâtiments, etc.) mais aussi des variables qualitatives (récepteur en visibilité ou non de l'émetteur, présence de végétation, zone de bâti dense, zone pavillonnaire, etc.) caractéristiques du milieu géographique en présence [17].

I.5. Domaine d'application d'un modèle

Il existe un plusieurs modèles de propagation d'ondes radioélectriques, avec un domaine d'application bien défini par des lois. Chaque opérateur de téléphonie mobile (Djezzy, ooredoo, Mobilis, etc.), ainsi que les concepteurs de matériel de télécommunication (Huawei, Sagem, Siemens, Nokia, etc.) développent chacun leurs propres modèles de propagation d'ondes radio pour qu'ils répondent au mieux à leurs exigences Il n'existe pas de modèle universel, par contre certains algorithmes présents dans la littérature sont considérés comme des références (Okumura-Hata Walfisch-Ikegami...) qui sont ensuite adaptés par chacun d'après ses propres études.

L'utilisation d'un modèle doit se faire en respectant son domaine d'application qui dépend essentiellement de deux facteurs :

- Le type de système de télécommunications radioélectrique considéré : celui-ci fixe directement un certain nombre de paramètres radio qui est pris en compte dans le modèle comme par exemple la fréquence, la dimension des cellules (qui fixe la distance maximale d'utilisation), la hauteur et le type d'antennes.
- L'environnement : le type de milieu géographique traversé le long de la liaison influe sur la propagation du signal de façon différente et on doit donc avoir des modèles capables de simuler chaque cas :
 - Premier cas : Les modèles pour l'extérieur avec des phénomènes très différents suivant le milieu de propagation (urbain, suburbain, rural, maritime, montagneux...) nécessitent des développements de modèles pour chaque cas.
 - Deuxième cas : Les modèles de pénétration pour l'utilisation des portables à l'intérieur des bâtiments à partir d'émetteurs situées à l'extérieur.
 - Troisième cas : Les modèles Indoor pour la couverture intérieure à partir d'émetteurs situés à l'intérieur même des bâtiments.
 - Quatrième cas : Les modèles pour le canal Terre-satellite [18].

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous sommes intéressés à la présentation des modèles empiriques pour la prédiction de la propagation les plus couramment utilisés, et les modèles semi empiriques. Nous avons montré que ces modèles de propagation ne sont que des formules mathématiques obtenues à partir des statistiques sur un très grand nombre de mesures dans réalité et dans différents environnements. Ces modèles permettent des calculs rapides et ne tiennent pas en compte la topologie du terrain tel que terrain plat ou rigoureux.

Les modèles empiriques traduisent l'affaiblissement en fonction de plusieurs paramètres tels que les hauteurs des bâtiments, du mobile, de la station de base, des distances etc. Toutefois un ajustement de quelques paramètres pour améliorer la précision des modèles doit être faite.

Chapitre II

Réseau GSM

II.1. Introduction

Le téléphone est un outil de communication fixe ou mobile, il convertit la voix en un signal électrique émis sous forme d'ondes de radio fréquences qui se propagent par l'intermédiaire de l'antenne du téléphone jusqu'à une antenne-relais. Le réseau **GSM** (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21^{ème} siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe, où a été rapidement accepté et a vite gagné des parts de marché telles qu'aujourd'hui, plus de 180 pays ont adopté cette norme et plus d'un milliard d'utilisateurs sont équipés d'une solution GSM.

Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G). Contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. C'est le premier service de téléphonie mobile universel, efficace et satisfaisant les exigences d'interconnexion et de mobilité tout en divisant le terrain en zones de couverture dites cellules. Il possède certaines caractéristiques qui lui sont propres. Il a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC – réseau fixe).

II.2. Historique

Dans les années 1980, coexistaient de nombreuses normes incompatibles entre elles et qui utilisaient des bandes de fréquences différentes. Il fut alors décidé d'établir une norme commune en Europe qui permettrait d'harmoniser la situation et d'offrir aux opérateurs et constructeurs un véritable marché des télécommunications mobiles [19].

L'histoire de la téléphonie mobile (numérique) débute réellement en 1982. En effet, à cette date, le Groupe Spécial Mobile, appelé GSM, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 890 à 915 [MHz] pour l'émission à partir des stations mobiles et 935 à 960 [MHz] pour l'émission à

partir de stations fixes. Il y eut bien des systèmes de mobilophonie analogique (MOB1 et MOB2, arrêté en 1999), mais le succès de ce réseau ne fut pas au rendez-vous.

Les années 80 voient le développement du numérique tant au niveau de la transmission qu'au niveau du traitement des signaux, avec pour dérivés des techniques de transmission fiables, grâce à un encodage particulier des signaux préalablement à l'envoi dans un canal, et l'obtention de débits de transmission raisonnables pour les signaux (par exemple 9,6 kilobits par seconde, noté [kb=s], pour un signal de parole) [20].

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles : transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, le sigle GSM change de signification et devient Global System for Mobile communications et les spécifications sont adaptées pour des systèmes fonctionnant dans la bande des 1800 [MHz] [21].

II.3. Objectif du GSM

Les objectifs du GSM reprennent et prolongent les précédents systèmes de téléphonie mobile [22] :

- ✚ Offrir un vaste éventail de services de télécommunications compatibles avec ceux des réseaux fixes.
- ✚ Offrir des services spécifiques due à la mobilité des usagers.
- ✚ Assurer la compatibilité d'accès à n'importe quel utilisateur dans n'importe quel pays exploitant le système GSM.
- ✚ Assurer la localisation automatique des mobiles sous la couverture globale de l'ensemble des réseaux.
- ✚ Permettre une grande variété de terminaux mobiles.
- ✚ Disponibilité très large.
- ✚ Qualité de service téléphonique.
- ✚ Prix abordable pour l'usage.

II.4. Caractéristiques techniques du GSM

On peut classer les principales caractéristiques de la norme GSM selon le tableau II.1 suivant [22] :

Fréquence d'émission du terminal vers la station de base	890-915 MHZ
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal	935-960 MHZ
Bande fréquence disponible	25 MHZ
Mode d'accès	TDMA/FDMA
Espacement des canaux radio	200 KHZ
Espacement du duplex	45 MHZ
Nombre de canaux radio par sens	124
Nombre de canaux de parole plein débit	8
Type d'émission	Numérique
Débit brut d'un canal radio	270 kbit/s
Débit brut d'un canal phonie à plein débit	22.8 kbit/s
Débit d'un codec à plein débit	13 kbit/s
Type de codage	RPE-LTP
Type de modulation	GMSK
Puissance maximale d'une station de mobile	8 w
Puissance maximale d'un portatif	2 w
Rayon d'une cellule	200m ~30 km
Débit maximal de transmission de données	9600 bit/s

Tableau II.1 : Caractéristiques technique du GSM [22].

II.5. La technologie de GSM

II.5.1. Concept cellulaire

Les réseaux cellulaires modernes se sont organisés autour du principe de cellule. Chaque cellule est desservie par une station de base qui assure le rôle d'un intermédiaire entre l'infrastructure fixe du réseau et les utilisateurs situés à l'intérieur de la cellule. Ainsi, une cellule peut être définie comme étant l'étendue géographique couverte par une station de base et où le signal transmis est d'une qualité acceptable à tout point de la cellule [23].

La réutilisation des ressources radio (fréquences) dans les réseaux GSM constitue le deuxième intérêt du concept cellulaire. En effet l'opérateur téléphonique est restreint à un nombre limité de fréquences pour couvrir l'ensemble du réseau, ce qui rend nécessaire la réutilisation du spectre radio mainte fois de façon à prévenir les situations d'interférences entre les ondes radio. En conséquence de la réutilisation des fréquences, le réseau est capable d'écouler un nombre de communications beaucoup plus grand que le nombre de fréquences disponibles [24].

La forme hexagonale est préférée par ce que, il ne dépasse pas ces problèmes tout en simplifiant le processus de planification du réseau cellulaire. De même cette forme est idéale, dans la pratique on ne peut pas réaliser ce type de motif vu les conditions de propagation des ondes radio dans l'espace. Le rayon d'une cellule varie entre 0.5 et 35km, dépendent également des nombres de communications simultanées à écouler. La groupe d'une cellule s'appelle cluster (ou motif), ce motif est répété sur tout l'espace à couvrir. Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'ajuster la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur, c'est à dire, on place l'une ou autres cellules entre les deux. Ses distances doivent être augmentées par rapport au diamètre de la cellule (2-3 fois). La figure suivante montre un tel motif :

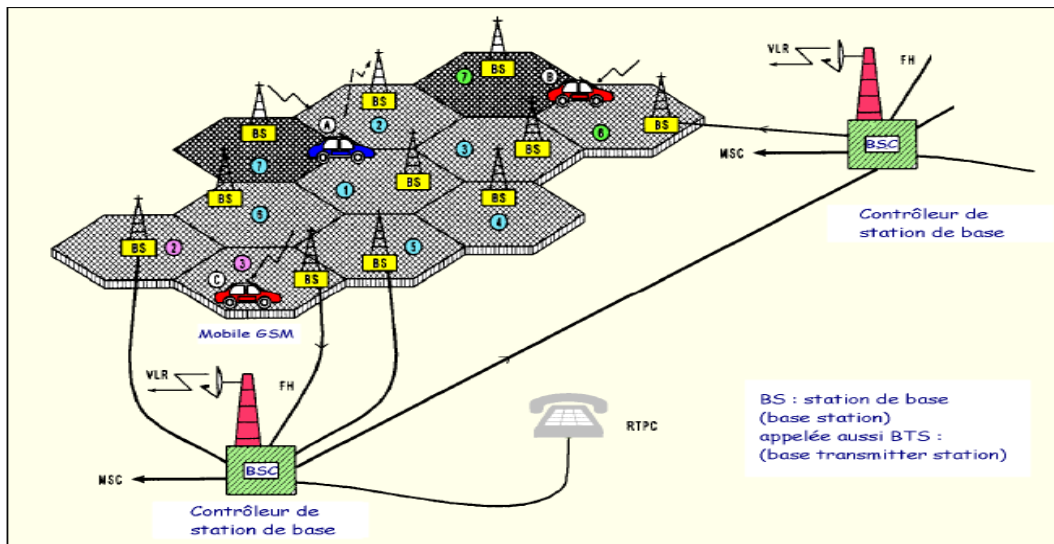


Figure II.1 : La structure cellulaire du réseau GSM [25].

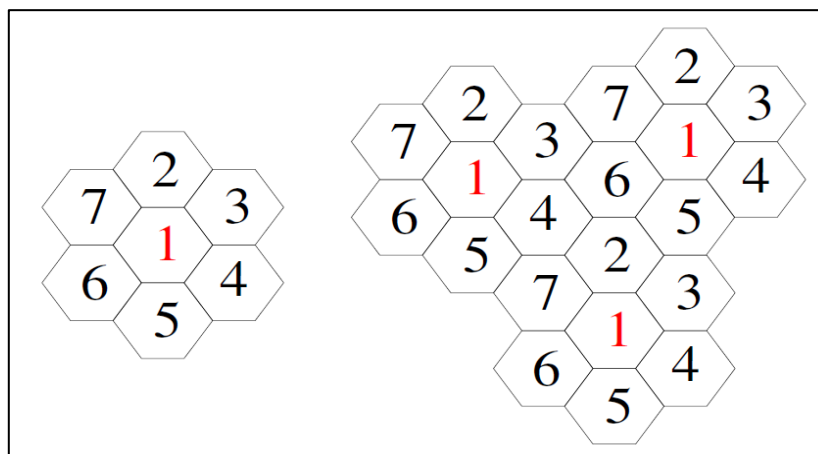


Figure II.2 : Représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite) [26].

II.5.2. La définition d'une cellule

La cellule est l'unité géographique d'un réseau. L'unité d'utilisation des fréquences radio définissant les canaux de communication, est un motif de sept cellules, le cluster. Le planificateur réseau doit tenir compte de la contrainte qu'est le nombre limité de canaux radio disponibles, il doit savoir quand il peut réutiliser un canal [27].

II.5.3. Division cellulaire

Le concept de base d'un réseau cellulaire est d'une part la division du territoire en un ensemble d'espaces appelés cellules et d'autre part le partage

des canaux radio entre les cellules afin d'éviter les interférences. Dans chaque cellule d'un réseau de seconde génération, il y a une station de base, c'est un émetteur récepteur qui constitue le point d'accès au réseau.

La taille d'une cellule varie en fonction d'un ensemble de contraintes parmi lesquelles nous trouvons : le relief de territoire (plaine, montagne), la localisation (urbaine, rurale, suburbaine), la densité d'abonnés, la nature des constructions (maisons, pavillons, tours), etc. Nous pouvons ainsi distinguer plusieurs types de cellules :

- ❖ **Les macro cellules** : Ce sont des cellules de tailles importantes allant jusqu'à 35 Km, adaptées aux zones rurales faiblement peuplées. Vu leur tailles les émetteurs doivent fournir des puissances très grandes.
- ❖ **Les micro cellules** : adaptées aux zones urbaines denses, ce sont des cellules de très petites tailles de quelques centaines de mètres de rayon. Elles permettent d'écouler un trafic important par unité de surface.
- ❖ **Les pico cellules** : de rayon de quelques dizaines de mètre et adaptées à la propagation à l'intérieur des bâtiments.
- ❖ **La petite cellule** : de quelques kilomètres de rayon, est réservée pour la couverture d'un environnement urbain [5].

II.5.4. Intérêt de la division cellulaire

La division cellulaire a pour but de :

- Garantir l'itinérance : le réseau GSM doit reconnaître à tout instant la localisation de l'abonné. C'est ce qu'on appelle : gestion d'itinérance ou Roaming. Le numéro du terminal devient du point de vue réseau fixe et il correspond à une adresse physique variable.
- Garantir la mobilité : par des procédures automatiques dites de transfert ou de handover, la communication doit être maintenue en cours de déplacement du mobile [23].

Une cellule se caractérise par :

- Sa puissance d'émission : ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.

- La fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radioélectrique.
- Le réseau auquel elle est interconnectée.

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,..)
- De la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau. On distingue pour cela trois services principaux [23] :

- ❖ Le service ***Outdoor*** qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur.
- ❖ Le service ***.Incar*** qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On Ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 décibels Watt, notée 6 [dB], dans le bilan de puissance pour en tenir compte.
- ❖ Le service ***.Indoor*** qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux :
 - ✓ Le ***.Soft Indoor***. Lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment
 - ✓ Le ***.Deep Indoor***. Lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

II.5.5. Réutilisation des ressources

Par rapport au système de première génération, les cellules étant de taille plus petite, la puissance d'émission est plus faible et le nombre d'utilisateurs peut être augmenté pour une même zone géographique. C'est

grâce au principe de réutilisation des fréquences qu'un opérateur peut augmenter la capacité de son réseau. En effet, il lui suffit de découper une cellule en plusieurs cellules plus petites et de gérer son plan de fréquences pour éviter toute interférence. Il y a toute une nomenclature spécifique pour classer les cellules en fonction de leur taille (macro, micro, pico, etc.) [28].

II.5.6. Itinérance (Roaming)

Contrairement aux réseaux téléphoniques fixes où la position d'un abonné est invariante et correspond généralement à sa maison ou à son lieu de travail, cette position subit des modifications continues dans les réseaux radio mobiles. L'itinérance désigne la faculté du système à joindre un abonné quelle que soit sa position. Ce qui sous-entend que le système doit être en mesure de déterminer la localisation d'un abonné dans le réseau à n'importe quel instant et d'assurer une bonne qualité de communication à cet endroit. D'autre part, l'abonné doit pouvoir utiliser son terminal quel que soit l'endroit où il se trouve [29].

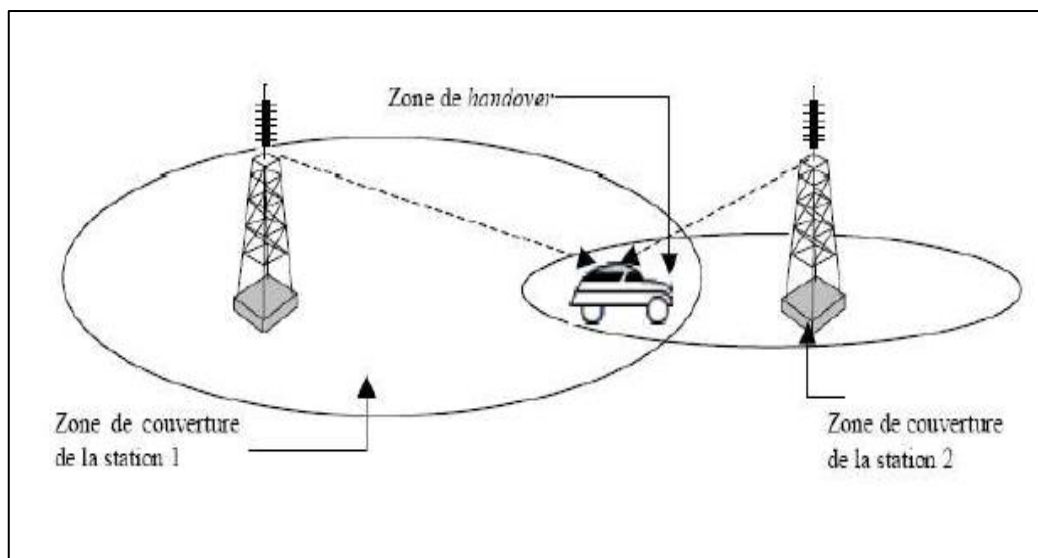


Figure II.3 : Zone de handover entre deux cellules [29].

II.5.7. Handover

Lors d'une communication, la station mobile peut être en mouvement (Figure II.3). Il est alors important de garantir la continuité de la communication en dehors de la cellule où la conversation a débuté. En effet,

lorsque la station à laquelle le mobile est rattaché n'arrive plus à assurer une bonne qualité de services, il devient alors nécessaire de changer de station de base. Ce transfert doit se faire de façon transparente et sans causer d'interruption.

Le principe de handover implique donc l'existence de zones de recouvrement, où plusieurs signaux de bonne qualité et provenant de BTS différentes coexistent. Dans les réseaux GSM, la procédure de handover nécessite généralement le changement des fréquences porteuses utilisées par le terminal mobile pour l'émission et la réception. On parle alors de hard-handover, car le terminal doit momentanément interrompre sa liaison avec la station courante pour basculer vers la nouvelle fréquence qui lui est allouée. Dans un réseau UMTS, des cellules adjacentes partagent l'utilisation de la même fréquence (la distinction entre les différentes communications se fait par le biais d'un code d'étalement du spectre) [29].

II.6. Architecture d'un réseau GSM

L'architecture de base du système GSM prévoit, quatre sous-systèmes principaux dont chacun dispose d'un certain nombre d'unités fonctionnelles et est connecté à l'autre à travers des interfaces standard qui seront décrites ultérieurement. Les principaux sous-systèmes du réseau GSM sont : MS, BSS, NSS, OSS [30].

- ✓ La station mobile, MS (Mobile Station).
- ✓ Le sous-système radio BSS (Base Station Subsystem).
- ✓ Le sous-système réseau ou d'acheminement NSS (Network Switching Subsystem).
- ✓ Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance OSS (Operation Support Subsystem).

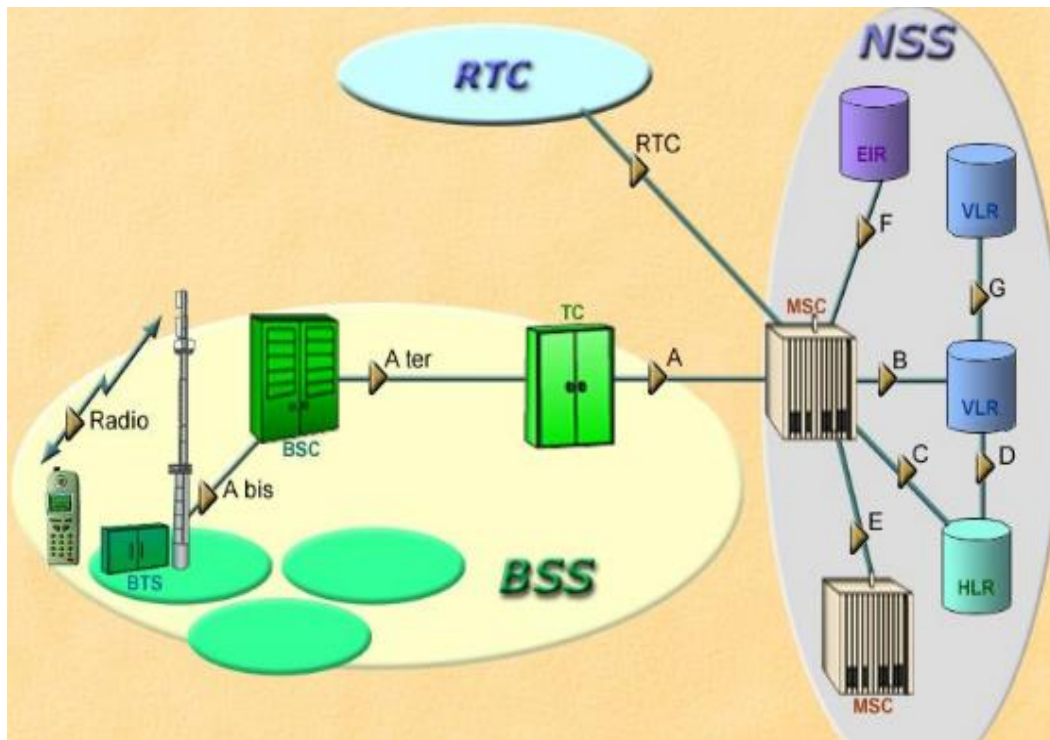


Figure II.4 : Architecture du réseau GSM [31].

II.6.1. Station Mobile (MS)

C'est le téléphone portable, permet à l'abonnés d'accéder au service GSM au travers du système cellulaire. la station mobile est composée d'un combiné téléphonique identifié par un numéro unique l'IMEI (International Mobile Equipment Identity) et d'une carte SIM qui contient le numéro d'identification de l'abonné IMSI (International Mobile subscriber Identity) et des algorithmes de chiffrement [32].

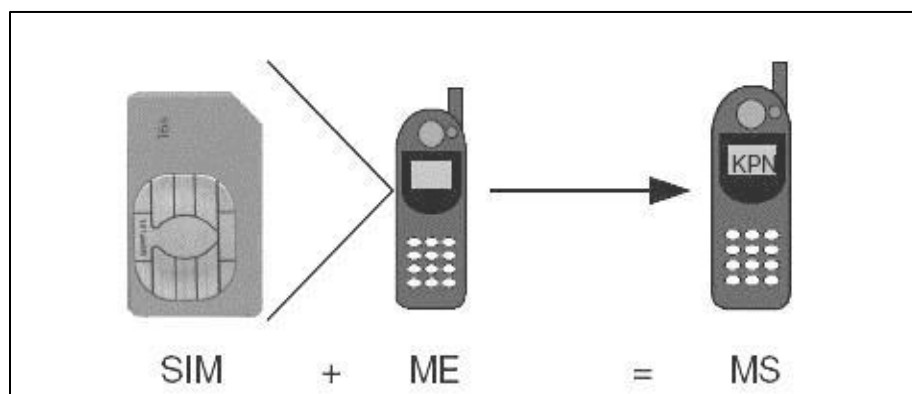


Figure II.5 : Schématisation d'un system mobile MS [22].

II.6.2. Sous-Système Radio (BSS)

C'est un sous-système qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio.

Le BSS est composé d'un ensemble regroupant le BSC et les BTS qui lui sont associés.

II.6.2.1. La BTS (Base Transceiver Station)

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station base peut être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes.

En cas de besoin, on peut exploiter une station de base localement ou par télécommande à travers son contrôleur de station de base [26].

II.6.2.2. Le BSC (Base Station Controller)

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis. Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau de la communication qu'au niveau de l'exploitation. Pour les fonctions des communications des signaux en provenance des stations de base, le BSC agit comme un concentrateur puisqu'il transfère les communications provenant des différentes stations de base vers une sortie unique. Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base

Dans le même temps, le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance. Il alimente aussi la base de données des stations de base. Enfin, une dernière fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet, le contrôleur gère les transferts inter-cellulaires des utilisateurs dans sa zone de

couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre. Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonné [26].

II.6.3. Sous-Système Réseau (NSS)

Le sous-système réseau (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming [22].

Le NSS est constitué de :

- ✓ Mobile Switching Center (MSC).
- ✓ Home Location Register (HLR).
- ✓ Authentication Center (AuC).
- ✓ Visitor Location Register (VLR).
- ✓ Equipment Identity Register (EIR).

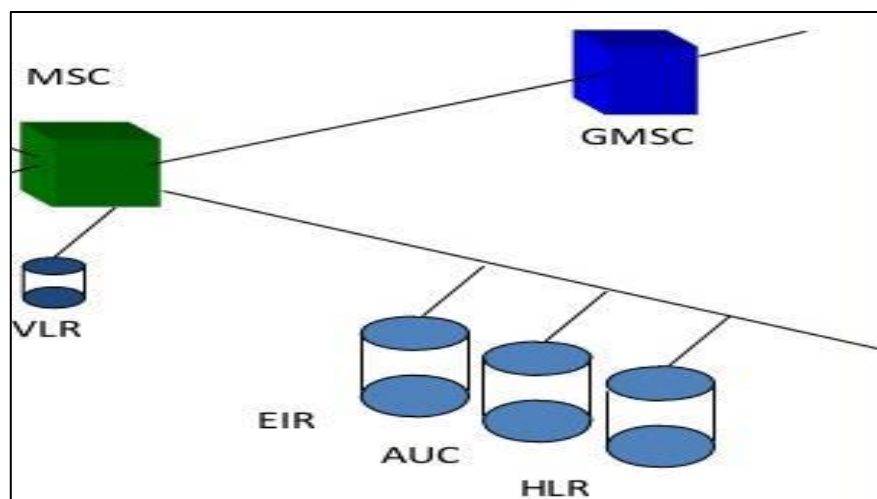


Figure II.6 : Représentation d'un réseau NSS et un GMSC [22].

II.6.3.1. Commutateur de service mobile (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.

- **Commutateur d'entrée de service mobile (GMSC – Gateway MSC) :** Ce commutateur est l'interface entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique publique. Le GMSC est chargé acheminer les appels du réseau fixe à un usager GMS [33].

II.6.3.2. Registre des abonnés locaux (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). Cette base de données contient également la position courante de ses abonnés [33].

II.6.3.3. Centre d'authenticité (AuC)

Le 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 [33].

II.6.3.4. Registre des abonnés 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 [33].

II.6.3.5. Registre d'identification d'équipement (EIR)

Comme nous l'avons vu, 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 [33].

II.6.4. Sous-Système Opération (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 le OSS contrôle et gère le trafic au niveau du BSS [33].

II.7. Problèmes de propagation

II.7.1. Fading (Evanouissement)

Le phénomène d'évanouissement ou de fading résulte des variations temporelles des phases qui varient aléatoirement dans le temps. Celles-ci peuvent résulter en des signaux multiples s'ajoutant de façon destructive au niveau du récepteur. Dans ce cas, le signal reçu résultant sera très faible ou pratiquement nul.

Les signaux multiples reçus peuvent également s'additionner de façon constructive et le signal reçu résultant est alors plus constructif et le signal reçu est alors plus puissant que le signal du seul trajet direct [29].

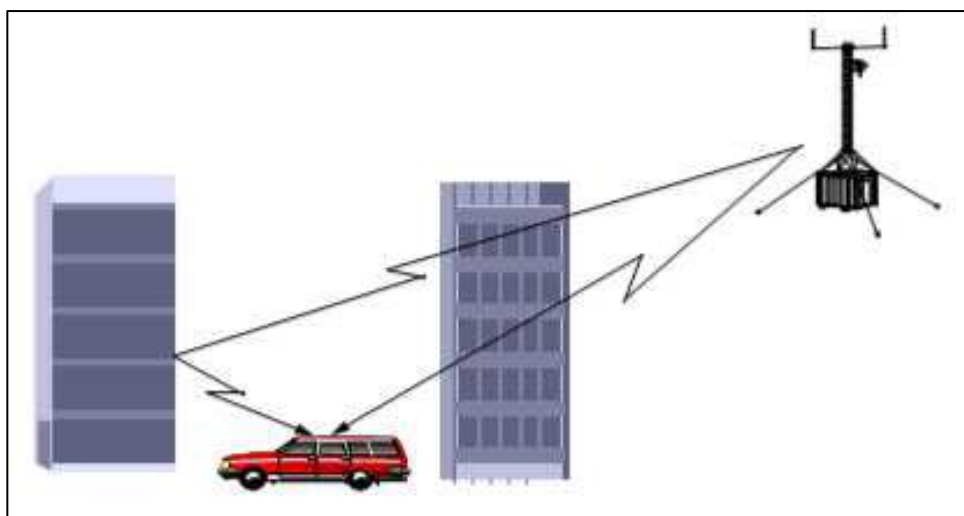


Figure II.7 : Phénomène de Fading [29].

II.7.2. Alignement de temps

A chaque appel du MS on alloue un time slot dans une trame de TDMA, qui est une durée de temps par laquelle le MS transmet les informations à la BTS, ces informations doivent aussi arriver à la BTS durant le time slot réservé, si elles arrivent en retard donc dans un autre time slot il va y avoir une interférence avec les informations provenant d'un autre MS qui est en train d'utiliser le second time slot. L'alignement de temps est causé par une grande distance entre la BTS et le MS [29].

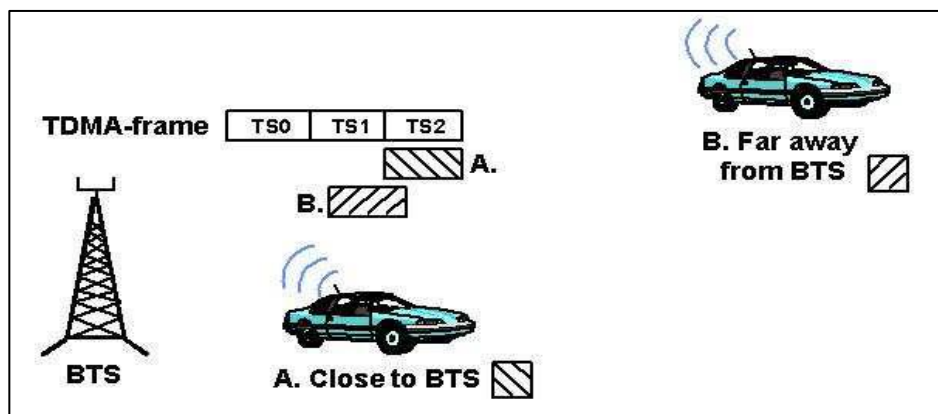


Figure II.8 : Alignement de temps [29].

II.7.3. Dispersion de temps

La dispersion de temps est un autre problème qui est causé par des objets qui ne sont pas proche de l'antenne de réception du MS ou de la BTS. La dispersion de temps cause des interférences entre les bits, ce qui rend difficile au MS la détermination du bit exact [29].

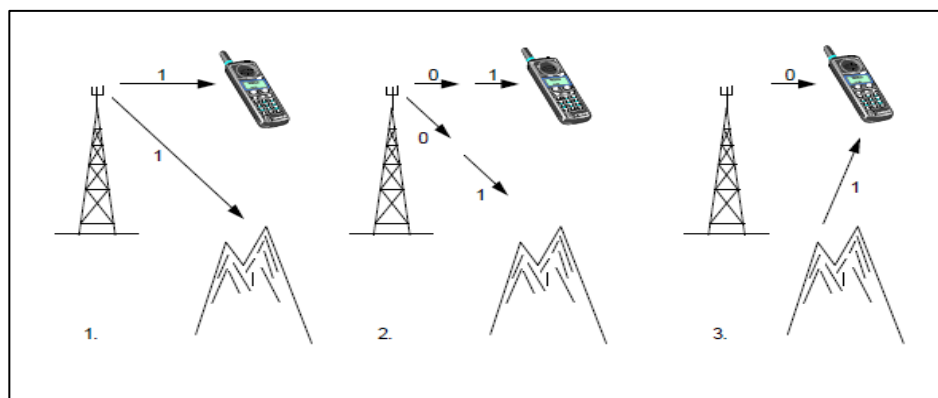


Figure II.9 : Dispersion de temps [29].

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept GSM dans sa totalité et le plus important de ce que nous avons mentionné architecture générale et l'interaction entre ses différents composants jusqu'à présenter les différents services offerts par le réseau.

Le GSM est donc un système de deuxième génération entièrement numérique et il est considéré actuellement comme étant standard mondial des systèmes de télécommunication mobiles dans le monde des réseaux cellulaires.

Chapitre III

Algorithme Génétique

III.1 Introduction

Dans les années 1950 et 1960, plusieurs chercheurs en informatique ont étudié indépendamment des systèmes évolutifs avec l'idée que l'évolution pourrait être utilisée comme un outil d'optimisation pour les problèmes d'ingénierie. L'idée dans tous ces systèmes était de faire évoluer une population de solutions candidates à un problème donné, en utilisant des opérateurs inspirés par la variation génétique et la sélection naturelle. Dans les années 1960, Rechenberg a introduit des 'stratégies d'évolution', une méthode qu'il a utilisée pour optimiser les paramètres à valeurs réelles de quelques dispositifs. Cette idée a été améliorée par la suite par Schwefel (1975, 1977). Le domaine des stratégies d'évolution est resté un domaine de recherche actif, la plupart du temps se développant indépendamment du domaine des algorithmes génétiques.

Les algorithmes génétiques (AGs) ont été inventés par John Holland dans les années 1960 et ont été développés par Holland et ses étudiants à l'Université de Michigan dans les années 1960 jusqu' à 1970. Contrairement aux stratégies d'évolution et la programmation évolutionnaire, l'objectif initial de Holland n'était pas de concevoir des algorithmes pour résoudre des problèmes spécifiques, mais plutôt d'étudier formellement le phénomène d'adaptation tel qu'il se présente dans la nature et de développer les façons permettant aux mécanismes d'adaptation naturels d'être importés dans les systèmes informatiques.

Les algorithmes génétiques (AGs) sont des algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Leur fonctionnement est extrêmement simple. On part avec une population de solutions potentielles (chromosomes) initiales arbitrairement choisies. On évalue leur performance relative. Sur la base de ces performances on crée une nouvelle population de solutions potentielles en utilisant des opérateurs évolutionnaires simples : la sélection, le croisement et la mutation. On recommence ce cycle jusqu'à ce que l'on trouve une solution satisfaisante.

Dans ce chapitre, nous avons établi les fondations nécessaires à la compréhension des algorithmes génétiques. Nous avons commencé la présentation générale d'un algorithme génétique : le principe, fonction de performance et tous les opérateurs : opérateur de sélection, croisement et de mutation, les paramètres de population et paramètre des conditions d'arrêt, ainsi que les avantages de l'algorithme génétique et de son algorithme.

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 [34].

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'exploration. Ils utilisent à la fois les principes de la survie des structures les mieux adaptées, et les échanges d'information pseudo-aléatoires, pour former un algorithme d'exploration qui possède certaines des caractéristiques de l'exploration humaine.

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

à pour valeur "0" ou "1", un chromosome est donc une chaîne binaire de longueur finie.

Le but est donc de chercher la meilleure combinaison de ces éléments, qui donne lieu au maximum de la fonction coût. A chaque itération ou génération, est créée une nouvelle population en utilisant des parties des meilleurs éléments de la génération précédente, 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 spéculer sur la position de nouveaux points à explorer, avec l'espoir que les nouveaux individus vont tendre vers l'optimum de la fonction coût.

A partir d'une première population de chromosomes de taille fixe créée soit d'une manière aléatoire, soit par des heuristiques ou méthodes spécifiques au problème, soit encore par mélange de solutions aléatoires et heuristiques, 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 [34].

Un algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction coût, par exemple le coefficient de réflexion d'une antenne, définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, nous devons disposer des cinq éléments suivants [35] :

1. Le codage des variables à optimiser, Cette étape associe à chacun des points de l'espace d'état une structure ou chaîne de données. La qualité du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques. Le codage binaire est le plus utilisé.
2. Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène et aléatoire, c'est-à-dire, les individus doivent être bien repartis dans leurs espaces de variation, qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est très important car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence de la technique vers l'optimum global. Dans le cas où rien n'est connu sur les paramètres du problème à

optimiser, il est nécessaire que la population initiale soit répartie sur tout le domaine de recherche.

3. Une fonction coût, celle-ci permet d'évaluer la qualité et la performance de chaque individu.
4. Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace de recherche. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation permet de garantir l'exploration de l'espace de recherche.
5. Les paramètres dimensionnels, tels que la taille de la population, le nombre total de générations ou le critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation.

Le principe général du fonctionnement d'un algorithme génétique se résume à travers les étapes suivantes :

- Etape 1 : générer aléatoirement une population de chromosomes le long de l'intervalle de recherche.
- Etape 2 : décoder chacun de ces chromosomes afin d'obtenir la valeur réelle d'un individu.
- Etape 3 : faire évoluer la fonction coût pour chaque individu.
- Etape 4 : reproduire une nouvelle population, dont une partie par le clonage, l'autre par la recombinaison et la mutation des chromosomes associés aux meilleurs individus.
- Etape 5 : refaire les étapes 2, 3 et 4 jusqu'à ce que la condition d'arrêt soit vérifiée. La Figure.III.1 illustre le cycle d'évolution d'un AG. Une population initiale permet de sélectionner les parents. A partir de ces derniers, les descendants seront créés et remplacent l'ancienne population (naissance d'une nouvelle génération ou population).

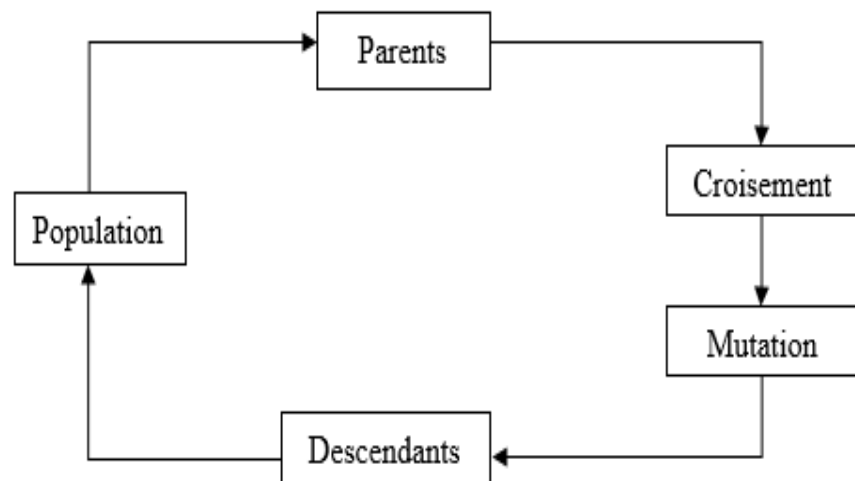


Figure III.1 : Cycle d'évolution de l'algorithme génétique [36].

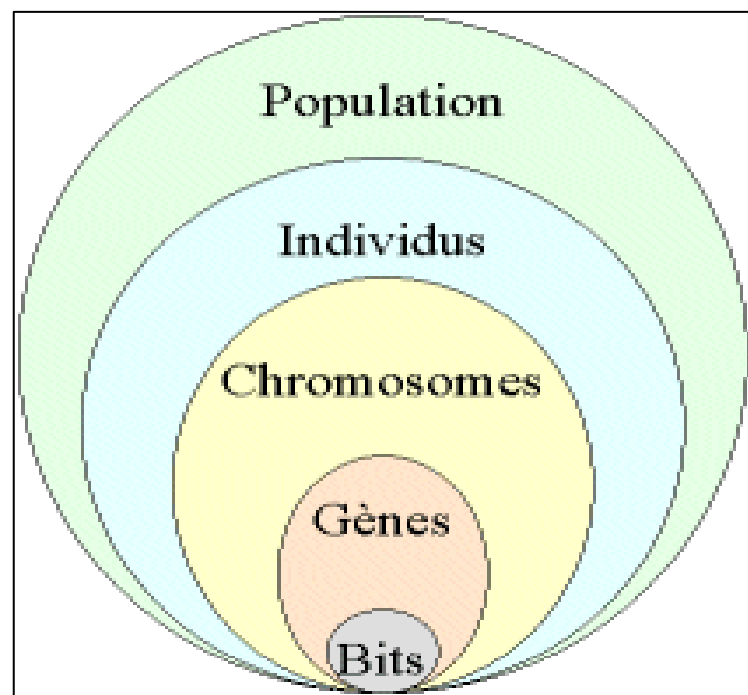


Figure III.2 : Les cinq niveaux (étapes) d'organisation d'un algorithme génétique [37].

Le Tableau III.1 présente la relation entre les termes génétiques et leur signification dans le domaine physique.

Génétique	Physique
Gène	Paramètre codé à optimiser
Génération	Populations créées successivement
Population	Un ensemble de solutions possible
Chromosome (Génotype)	Une chaîne de la solution d'essai constitué de gènes
Phénotype	Ensemble des paramètres optimisés caractérisant une antenne
Individu	Solution à un problème
Croisement et Mutation	Opérateurs de recherche pour faire évoluer la solution
Coût ou Fitness	Une valeur attribuée à un individu représentant une mesure de la qualité d'une solution
Parent	Membre de la génération courante
Enfant	Membre de la génération suivante

Tableau III.1 : La liaison entre les termes génétiques et la signification physique [38].

III.2.2.1. Fonction de performance

Chaque chromosome apporte une solution potentielle au problème à résoudre. Néanmoins, ces solutions n'ont pas toutes le même degré de pertinence. C'est à la fonction de performance (fitness) de mesurer cette efficacité pour permettre à l'algorithme génétique de faire évoluer la population dans un sens bénéfique pour la recherche de la meilleure solution. Autrement

dit, la fonction de performance, $f(\cdot)$, doit pouvoir attribuer à chaque individu un indicateur positif représentant sa pertinence pour le problème qu'on cherche à résoudre [39].

Dans notre exemple, la valeur de la fonction objectif ($f(x) = x^2$) peut être utilisée directement puisqu'elle est nécessairement positive. De manière plus générale :

Définition 2 : Performance -fitness- d'une séquence Nous représentons la performance d'une séquence A par une fonction à valeurs positives, $f: A \rightarrow f(A) \in \mathbb{R}_+$.

Dans le cas du codage binaire, la fonction de performance doit affecter une valeur positive au codage correspondant (phénotype) à chaque chaîne binaire (génotype) : $\forall A \in \{0,1\}^l, f(d(A)) \in \mathbb{R}_+$. Le but d'un algorithme génétique est alors simplement de trouver la chaîne qui maximise cette fonction f . Bien évidemment, dans le cas d'un codage binaire, chaque problème particulier nécessitera ses propres fonctions d et f .

Une fois que la performance de chaque individu dans la population actuelle est évaluée, les mécanismes évolutionnaires entrent en jeu pour procéder à l'exploration de l'espace des valeurs. Les opérateurs de l'algorithme génétique cherchent à imiter ces mécanismes.

III.2.2.2. Les opérateurs

Les opérateurs jouent un rôle prépondérant dans la possible réussite d'un AG. Nous en dénombrons trois principaux : l'opérateur de sélection, de croisement et de mutation. Si le principe de chacun de ces opérateurs est facilement compréhensible, il est toutefois difficile d'expliquer l'importance isolée de chacun de ces opérateurs dans la réussite de l'AG. Cela tient pour partie au fait que chacun de ces opérateurs agit selon divers critères qui lui sont propres (valeur sélective des individus, probabilité d'activation de l'opérateur, etc.) [40].

III.2.2.2.1. Opérateur de sélection

A l'inverse d'autres techniques d'optimisation, les algorithmes génétiques n'ont pas besoin de connaître ou d'estimer la dérivée de la fonction coût, ce qui rend leur champ plus vaste. Pour appliquer une sélection, il suffit donc de connaître pour chaque individu la valeur d'un critère [38].

La sélection, comme son nom l'indique, permet d'identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais. Elle est une opération dans le but de la reproduction. La sélection introduit l'influence de la fonction coût au processus d'optimisation de l'AG.

Cet opérateur détermine la capacité de chaque individu à persister dans la population et à se diffuser. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement reliée à sa performance relative au sein de la population. Cela traduit bien l'idée de la sélection naturelle : les gènes les plus performants ont tendance à se diffuser dans la population tandis que ceux qui ont une performance relative plus faible ont tendance à disparaître [39].

Il existe d'autres méthodes de sélection, la plus connue étant celle du tournoi (*tournoiement sélection*) : on tire deux individus aléatoirement dans la population et on reproduit le meilleur des deux dans la nouvelle population. On répète cette procédure jusqu'à ce que la nouvelle population soit complète. Cette méthode donne de bons résultats. Toutefois, aussi important que soit la phase de sélection, elle ne crée pas de nouveaux individus dans la population. Ceci est le rôle des opérateurs de croisement et de mutation.

III.2.2.2.2. Opérateur de croisement

Le croisement est le processus selon lequel une partie des gènes de deux chaînes élues sont interchangeables. Pour exécuter le croisement, des individus du groupe de reproduction sont accouplés au hasard. Donc on peut dire que l'opérateur de croisement accepte deux parents et génère un (ou deux) enfant(s). Le croisement est appliqué à la population des individus avec une probabilité constante p_c . Cette probabilité nous permet d'avoir un nombre de chromosomes

espérés de p_c . N_{pop} ayant subi l'opération de croisement (N_{pop} étant la taille de la population). Le choix de p_c est généralement très vaste et dépend de chaque application. Typiquement, la probabilité p_c varie dans l'intervalle 0,5-0,9 [38].

Plusieurs types de croisement ont été développés. Le plus simple est le croisement en un point (mono-croisement). On peut rencontrer des AG avec un croisement en deux points (double-croisement). On peut également utiliser le croisement uniforme (ou le croisement multipoint).

- **Croisement en un point**

Pour chaque chromosome du groupe de reproduction, le processus de croisement peut être implanté de la façon suivante [38] :

- Générer un nombre aléatoire r dans l'intervalle $[0 ; 1]$.
- Si $r < p_c$, sélectionner ce chromosome pour le croisement.

Les chromosomes sélectionnés sont ensuite accouplés aléatoirement : pour chaque paire de chromosomes de longueur d (d étant le nombre de bits dans un chromosome), un nombre entier aléatoire k (k indique la position du point de croisement) est généré entre 1 et $(d-1)$. Deux nouvelles chaînes sont créées en échangeant tous les caractères entre les positions $(k+1)$ et d de chaque chaîne de la paire considérée. Les nouvelles chaînes peuvent être différentes de leurs parents. Cependant, ce croisement n'aura aucune conséquence si les parents possèdent des bits de valeur identique aux mêmes positions.

A titre d'exemple, soit les chromosomes A_1 et A_2 définis comme suit :

$$A_1 = 101010\downarrow 1010$$

$$A_2 = 111000\downarrow 1110$$

Les deux chaînes ont une longueur $d = 10$ et pour alphabet $\{0, 1\}$. Le symbole $\downarrow$ représente l'endroit à partir duquel aura lieu le croisement, ici la position $k = 6$. Après croisement, nous obtiendrons les deux chaînes suivantes :

$$A_1 = 111000\downarrow 1110$$

$$A_2 = 101010\downarrow 1010$$

Nous pouvons remarquer que, dans ce cas-ci, le croisement n'a affecté que très légèrement les chaînes initiales.

- **Croisement en deux points**

Le croisement en deux point est une modification du croisement en un point. Il permet de mieux améliorer la flexibilité de diversification des gènes que le cas précédent. Partant du même principe que précédemment, on choisit aléatoirement deux points afin d'effectuer un échange. Les chromosomes sont coupés en deux endroits et les sous-parties obtenues sont échangées entre elles (Figure III.3). Dans cet exemple, deux positions de croisement $k_1 = 2$ et $k_2 = 6$ sont également générées au hasard [38].

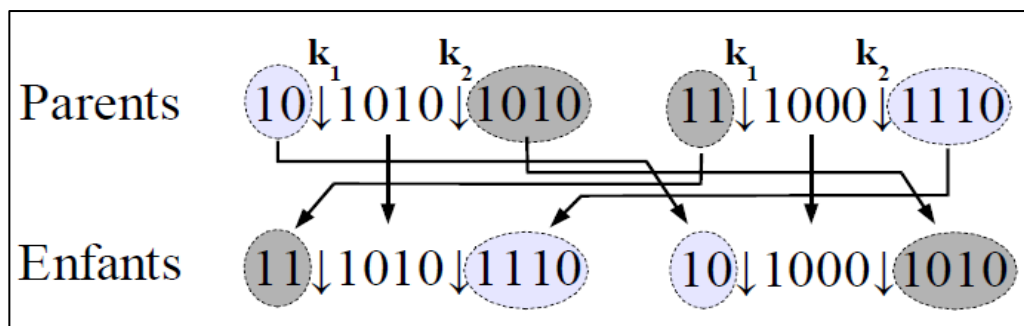


Figure III.3 : Illustration du mécanisme de croisement en deux points [38].

- **Croisement uniforme**

Il peut être vu comme un croisement multipoint dont le nombre de points de coupure n'est pas connu a priori. On choisit aléatoirement sur un parent certains bits que l'on conserve pour l'enfant (même valeur, même position) et les autres bits sont fournis par le deuxième parent (même valeur, même position) (Figure III.4).

Selon les études de Carroll, le croisement uniforme permet de mieux naturaliser les gènes comparativement aux autres principes de croisement.

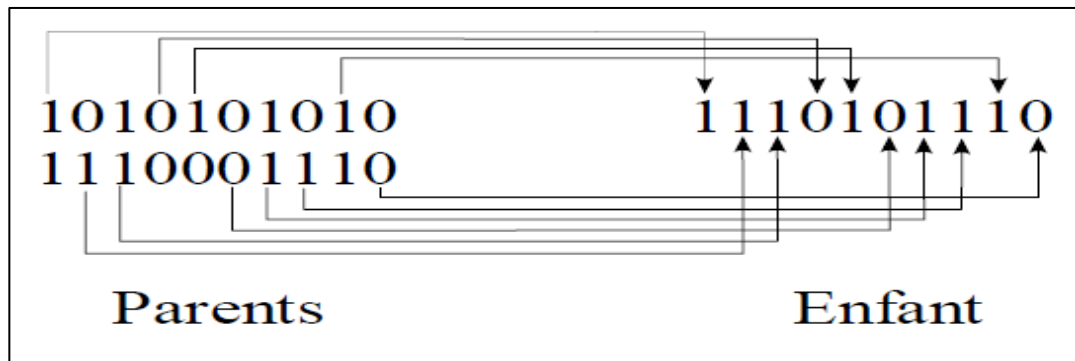


Figure III.4 : Illustration du mécanisme de croisement uniforme [38].

III.2.2.2.3. Opérateur de mutation

L'opérateur de mutation fournit un autre moyen pour explorer l'espace de solutions. C'est un processus selon lequel la valeur d'un bit choisi au hasard dans un chromosome est changée. La mutation joue un rôle plutôt secondaire dans les AG et n'est activée qu'occasionnellement. La mutation est utile pour ramener du matériel génétique qui aurait été oublié par les opérateurs de reproduction et de croisement. Certaines implantations vont automatiquement changer la valeur du bit choisi [41], d'autres vont générer aléatoirement une nouvelle valeur de bit, ce qui peut à l'occasion n'entraîner aucune mutation.

On doit choisir une probabilité avec laquelle la mutation se produit. Si la probabilité de mutation d'un bit est p_m , de nombre de bits de la génération susceptibles d'être permutés est estimé à $p_m \cdot d \cdot N_{pop}$. Ainsi, pour chaque chromosome de la population courante et chaque bit dans ce chromosome, nous procédons de la manière suivante :

- Générer un nombre aléatoire p dans un domaine de variation de $[0 ; 1]$.
- Si $p < p_m$, permuter ce bit (changement de 0 à 1 ou vice versa).

Généralement, il est conseillé d'utiliser une faible probabilité de mutation (typiquement p_m choisie dans l'intervalle de 0,01 à 0,1) [42]. La Figure III.5 présente un exemple du processus de mutation.

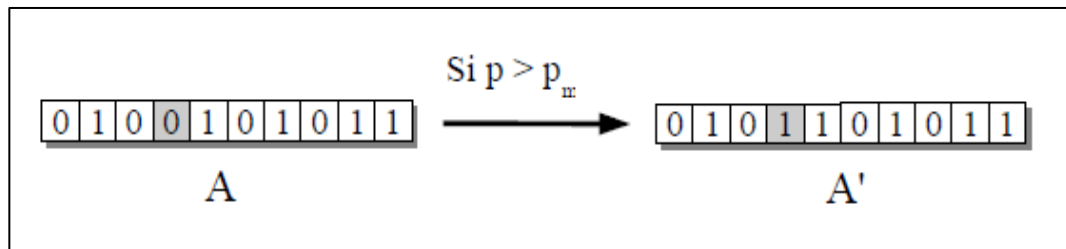


Figure III.5 : Illustration du processus de mutation [38].

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 [43].

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 dès que le coût 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 [43].

III.3. Les avantages de l'algorithme génétique

Par rapport aux algorithmes classiques d'optimisation, l'algorithme génétique présente plusieurs points forts comme [44] :

- Le fait d'utiliser seulement l'évaluation de la fonction objective sans se soucier de sa nature. En effet, nous n'avons besoin d'aucune propriété particulière sur la fonction à optimiser (continuité, dérivabilité, convexité, etc..), ce qui lui donne plus de souplesse et un large domaine d'applications.
- Génération d'une forme de parallélisme en travaillant sur plusieurs points en même temps (population de taille N) au lieu d'un seul itéré dans les algorithmes classiques.
- L'utilisation des règles de transition probabilistes (probabilités de croisement et de mutation), contrairement aux algorithmes déterministes où la transition entre deux itérations successives est imposée par la

structure et la nature de l'algorithme. Cette utilisation permet dans certaines situations aux algorithmes génétiques d'éviter des optimums locaux et de se diriger vers un optimum global.

III.4. 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).  
  {  
     $\Pi$ = SELECT-PARENTS ( $P_t$ ) ;  
    Recombine ( $\Pi$ ,  $a_x$ ) ;  
    Mutate ( $\Pi$ ,  $a_m$ ) ;  
    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.

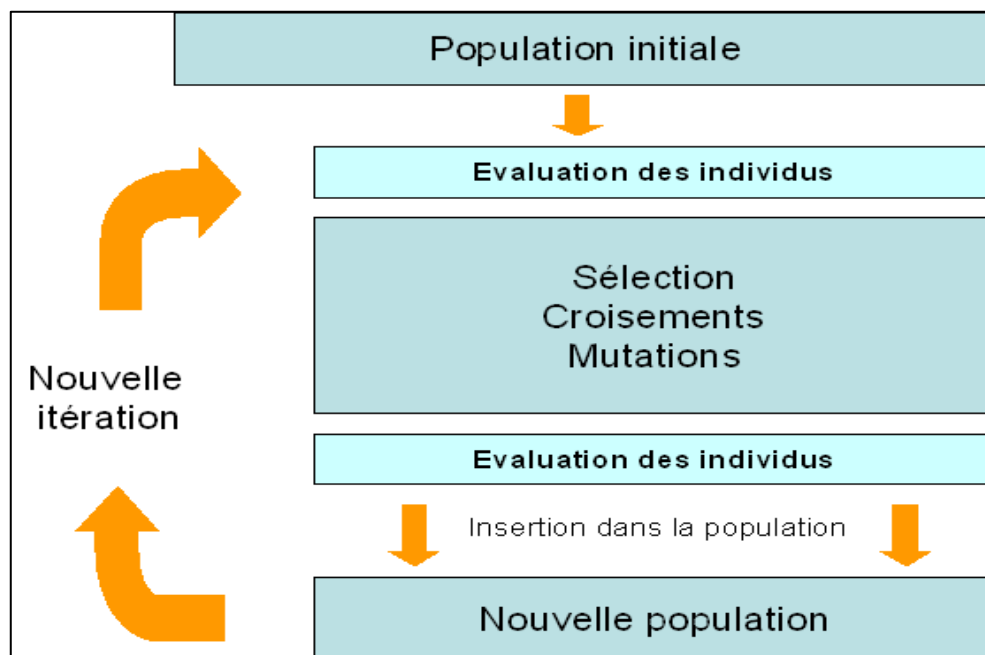


Figure III.6 : Schéma général d'un algorithme génétique [43].

La mise en œuvre des algorithmes génétiques nécessite donc plusieurs étapes. L'idée fondamentale est que : la population choisie contient potentiellement la solution, ou plutôt la meilleure solution, à un problème donné. Cette solution n'est pas exprimée car la combinaison génétique sur laquelle elle repose est dispersée chez plusieurs individus. Ce n'est que par l'association de ces combinaisons génétiques au cours de la reproduction que la solution pourra s'exprimer. Lors de la reproduction et de la recombinaison génétique associée, un individu hérite, par hasard, d'un des gènes de chacun de ses parents. L'originalité des mécanismes repose en particulier sur le fait qu'il n'a pas considéré les seules mutations comme source d'évolution mais aussi et

surtout les phénomènes de croisement. C'est en croisant les solutions potentielles existant que l'on peut se rapprocher de l'optimum [45].

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 [43].

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons les connaissances les plus importantes en algorithmes génétiques. 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.

La force des algorithmes génétiques réside essentiellement dans le fait qu'ils ne demandent pas d'hypothèses restrictives sur l'espace de recherche. A travers les différentes applications, les algorithmes génétiques sont capables de manipuler une grande variété de paramètres.

Chapitre IV

Résultats Et Discussions

IV.1. Introduction

Les pertes dans un canal physique sont un grand problème dans un réseau GSM. Cet effet est défini par un modèle de propagation. Les modèles empiriques sont basés sur l'analyse d'un grand nombre de mesures expérimentales. Une analyse statistique de données en fonction de différents paramètres tel que la fréquence, la distance, la hauteur des antennes, est affaiblissement.

Les paramètres des modèles empiriques peuvent être ajustés et l'ajustement doit se faire afin d'obtenir un minimum d'erreur entre Les pertes prédites et les mesures réelle. Cela rendra le modèle plus précis pour les prévisions des pertes.

Dans ce travail nous allons utiliser les algorithmes génétiques pour optimiser les pertes d'un réseau GSM, Ceci est fait par logiciel Matlab.

IV.2. Les étapes expérimentales

La ville de Batna a été sélectionnée pour obtenir les mesures. Le test expérimental a été réalisé (par un ingénieur BSS de l'opérateur national de téléphonie mobile "Mobilis Batna") dans un rayon de 1 km pour BTS1 couvrant une petite zone rurale traversant une route du village situé à 6 km du centre-ville de Batna, aux côtés de BTS2. Couvrant la zone d'un rayon de 2,5 km, le milieu de propagation autour de cette région étant classé en zone suburbaine, il est supposé qu'un transfert intercellulaire automatique a lieu aux stations de base adjacentes, lorsque l'intensité du signal est faible. Les spécifications d'emplacement des émissions de ces bases et leurs positions sont indiquées dans le tableau (IV.1).

Les données ont été collectées lors de la conduite d'un véhicule, ayant la configuration expérimentale. Il se compose d'un récepteur GPS spécial téléphone portable (Huawei U6100) (NMEA), d'une antenne de réception et d'un ordinateur portable avec clé et logiciel de test de conduite (sonde Huawei GENEX). Le véhicule a été conduit dans la zone de couverture de la station de

base tout en enregistrant en continu le signal reçu. À chaque instant des mesures collectées, les données GPS sont également enregistrées simultanément.

Les informations de la station de base telles que la fréquence d'émission ou de réception, la puissance transmise et les hauteurs d'antenne sont obtenues de l'opérateur "Mobilis" de la ville de Batna aux fins d'analyse. À l'aide des données GPS et de la localisation des stations de base, il est possible de calculer les distances radiales depuis la station de base en tout point de l'itinéraire.

Paramètres		BTS1	BTS2
Type de région		Rural	Suburbain
Puissance de transmission (dBm)		46	43
Perte de câble + Perte de corps		10.5	9.7
Gain d'antenne d'émission (dBi)		17.5	16.7
Hauteur de l'antenne d'émission (m)		25	35
Hauteur de l'antenne de la station mobile (m)		1.5	1.5
Fréquences opérationnelles (MHz)	Fréquence montante (Uplink)	908	912.4
	Fréquence Descendante (Downlink)	953	957.4

Tableau IV.1 : Paramètres BTS.

IV.3. Résultats de simulation et discussion

Comparaison avec les modèles de prédiction :

Pour étudier les modèles de prévision, une comparaison entre l'affaiblissement dans un canal prévu et l'affaiblissement dans un canal mesuré a été réalisée pour deux stations de base BTS1 et BTS2. Les performances des modèles empiriques sont ensuite comparées aux données d'affaiblissement sur le canal mesuré, comme indiqué aux figures IV.1 et figure IV 2. Les valeurs de l'erreur moyenne (ME) ; Racine Mean Square Error (RMSE) ; Écart type d'erreur (SE) ; Le pourcentage d'erreur relative, utilisé pour mesurer la précision de prévision de ces modèles, est présenté dans le tableau (IV.2).

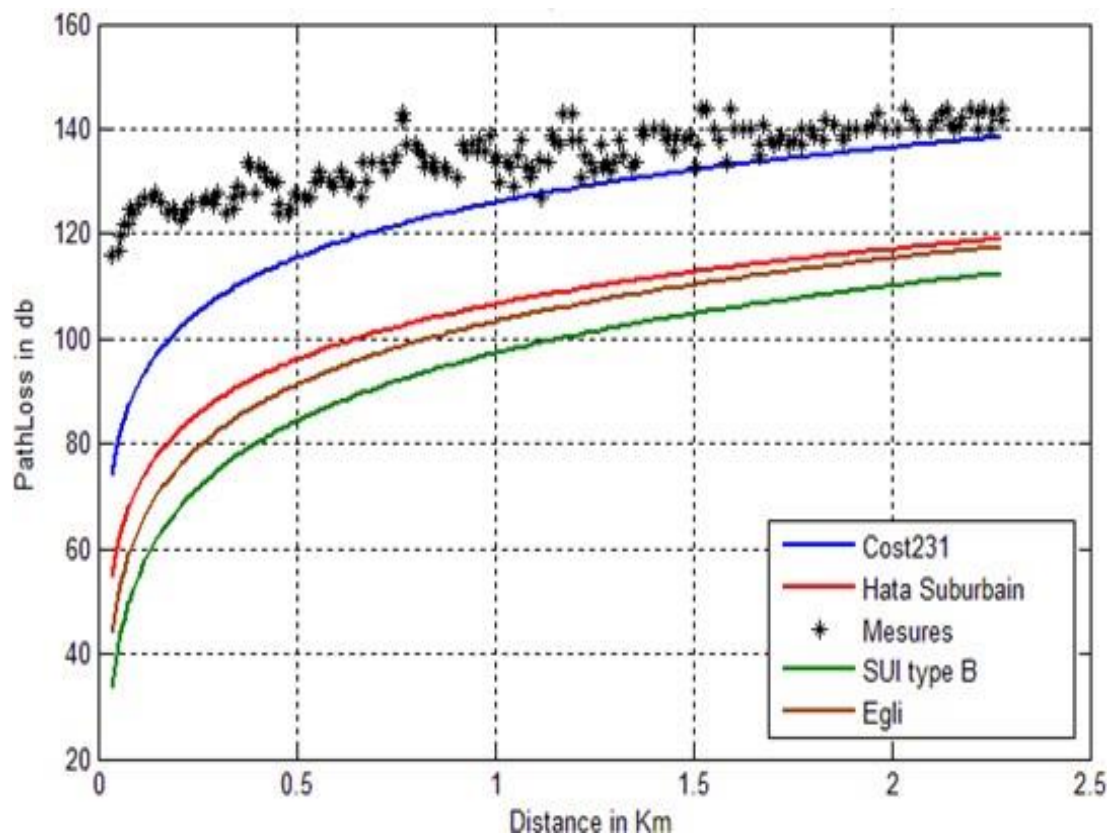


Figure IV.1 : Comparaison graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS1-Rural).

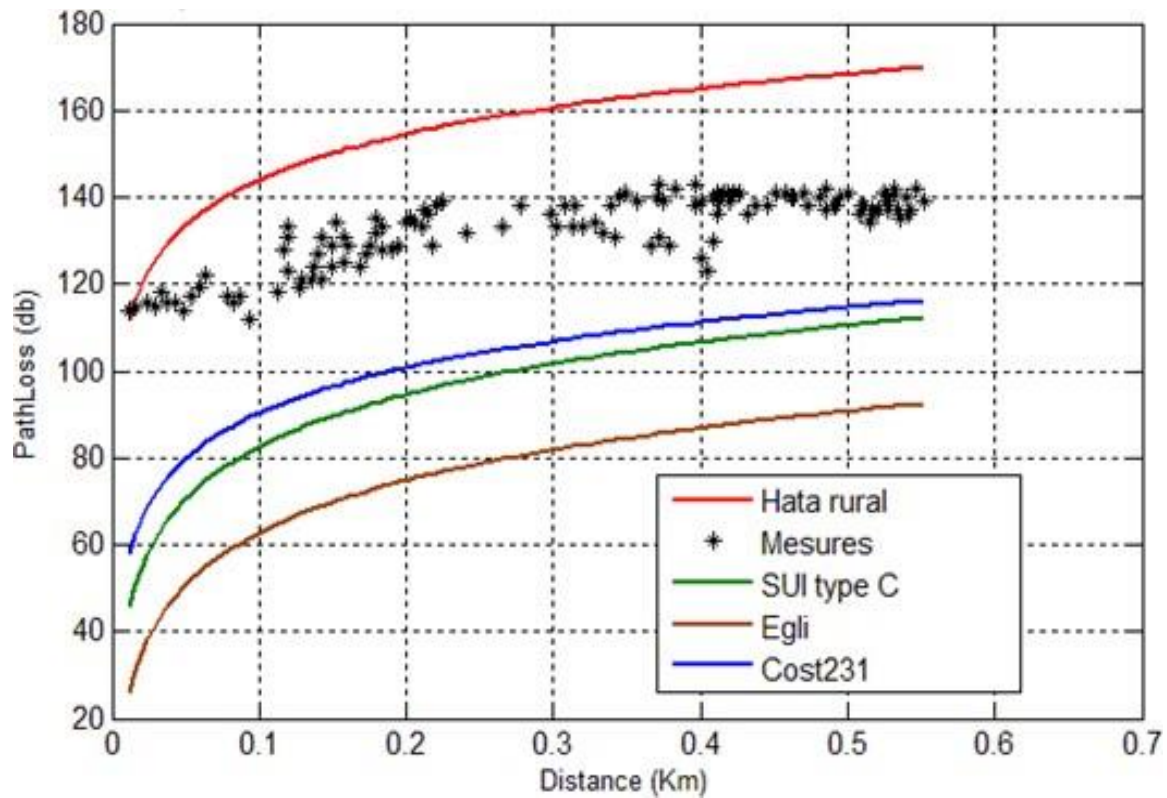


Figure IV.2 : Comparaison graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS2-suburbain).

À partir du tableau IV.2, quelques points peuvent être tirés. Il s'est avéré que les performances du modèle COST231 Hata sont les meilleures, car les valeurs RMSE et SE sont les plus basses par rapport aux autres modèles. Le modèle Hata, le modèle SUI et le modèle Egli surestiment l'affaiblissement dû au chemin pour les deux zones de couverture du système GSM900. Les figures (IV.1 et IV.2) consolident le résultat selon lequel le modèle COST231 Hata est proche de l'affaiblissement de chemin mesuré par rapport aux autres modèles.

Base Station		BTS1	BTS2
COST 231	ME	26.3666	10.8454
	RMSE	27.2553	13.7572
	SE	1.4578	0.6308
	(%)	20.1037	8.3029
Hata	ME	26.9721	30.2093
	RMSE	27.8197	31.3761
	SE	1.5036	1.5296
	(%)	20.2868	22.7732
SUI	ME	32.5823	40.1866
	RMSE	33.8035	41.7637
	SE	2.0376	2.2965
	(%)	24.9176	30.3244
Egli	ME	50.6938	33.9151
	RMSE	51.3455	35.4640
	SE	3.5560	1.8385
	(%)	38.5860	25.6050

Tableau IV.2 : Comparaison des performances entre les modèles utilisés selon les critères de test.

Pour les environnements à la fois ouverts et suburbains, l'exposant de perte dans un canal estimé par le modèle COST-231 Hata est en parfait accord avec

l'affaiblissement dans un canal mesuré (Tableau IV.2), qui montre les caractéristiques réelles d'affaiblissement du canal à Batna. Sur cette base, le modèle COST-231 Hata est choisi comme meilleur modèle d'optimisation pour développer un nouveau modèle de prévision de perte de canal dans la ville de Batna pour le système GSM 900. La section suivante décrit comment le modèle COST-231 Hata est d'abord optimisé par AG pour faire correspondre la perte dans un canal mesurée, puis une analyse comparative des performances du nouveau modèle optimisé est effectuée par rapport à la perte dans un canal mesurée et à l'estimation de la perte dans un canal par le modèle COST-231 Hata.

IV.3.1. Processus d'optimisation par AG

Le modèle COST 231 est choisi pour cette étude. Formuler le problème à résoudre sous la forme d'une équation mathématique unique (chromosome) comportant cinq variables (gènes) L'équation (IV.1) doit être défini de manière à en faire un modèle approprié avec des mesures de terrain réelles, évaluées par une fonction de coût en fonction d'un critère d'arrêt dépendant la performance de celui-ci. Et cette fonction de coût est généralement définie comme la RMSE (Root Mean Square Error). Afin d'obtenir les gènes les plus performants, une solution complète est également validée par une comparaison entre ce modèle et d'autres, basée sur des données réelles, afin de tester son applicabilité dans la réalité. Le modèle COST 231 (rural / sous) est défini.

Le modèle COST 231 (rural / sous) est défini comme suit :

$$PL = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_{te}) - ah_m + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{te})) \log_{10}(d) + c_m \quad (IV.1)$$

$$ah_m = (1.11 \log_{10}(f_c) - 0.7) h_{re} - (1.5 \log_{10}(f_c) - 0.8)$$

$$c_m = 0$$

Il peut être écrit comme suit :

$$PL = 46.3 + 44.9 \log_{10}(d) - 13.82 \log_{10}(h_{te}) - 6.55 \log_{10}(h_{te}) \log_{10}(d) + 33.9 \log_{10}(f_c) - ah_m \quad (IV.2)$$

K1	K2	K3	K4	K5
46.3	44.9	-13.82	-6.55	33.9

Tableau IV.3 : Paramètres optimisés en tant que chromosome.

Ce chromosome est évalué selon un organigramme d'optimisation défini comme suit :

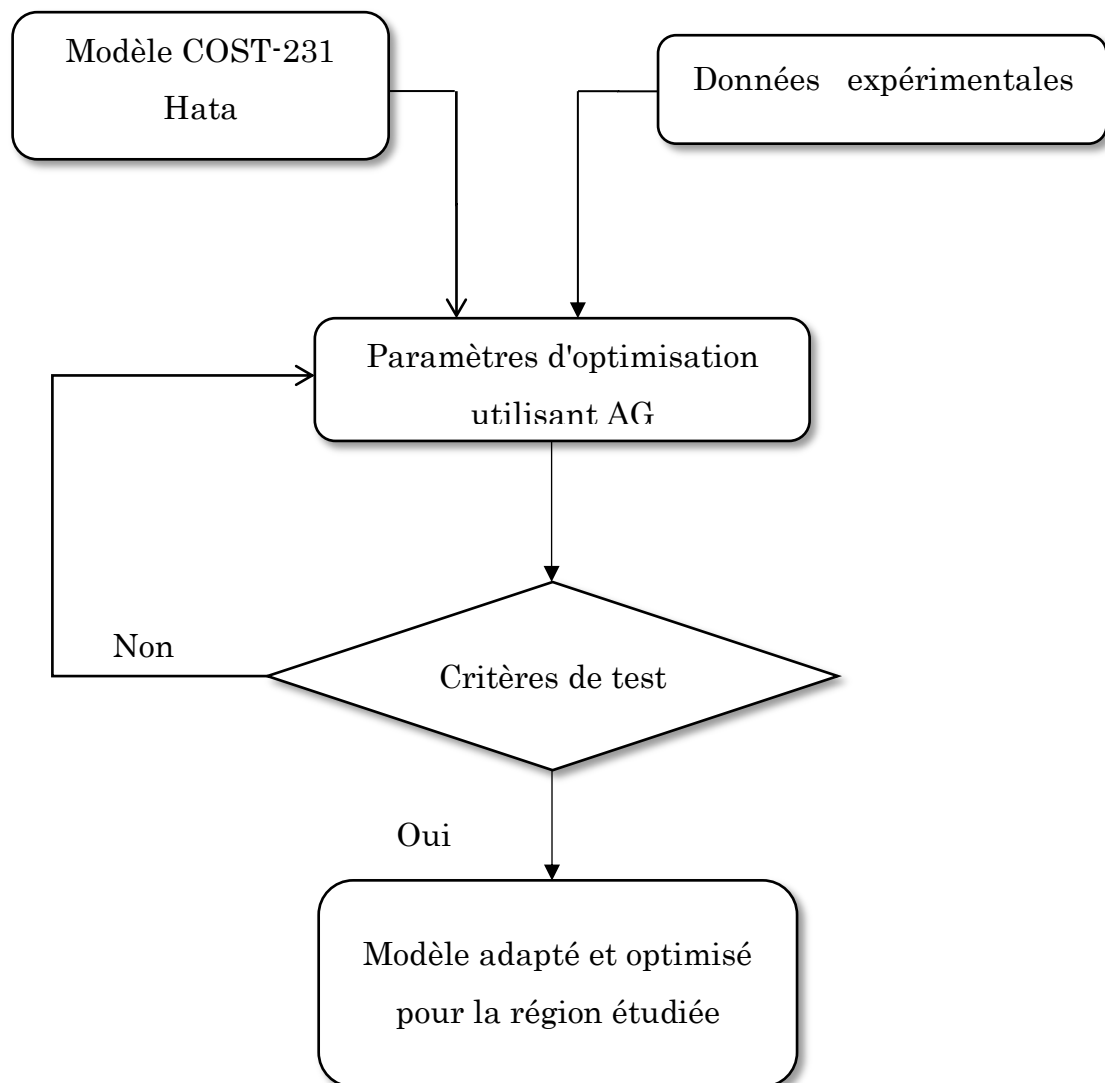


Figure IV.3 : Organigramme du processus d'optimisation.

La fonction de condition physique f utilisée pour l'évaluation des chromosomes et l'ajustement des paramètres est définie par l'erreur quadratique moyenne (RMSE) comme suit :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |PL_{m,i} - PL_{e,i}|^2}{n}}$$

Avec : $PL_{m,i}$: Pertes total mesuré.

$PL_{e,i}$: Pertes total estimée.

Où représente l'affaiblissement dans un canal mesuré en dB, l'affaiblissement de trajet prévu en dB et le nombre de points de données mesurés. Notre objectif est de minimiser la fonction de fitness (minimiser le RMSE) pour obtenir la meilleure solution (meilleur chromosome) de la population afin de garantir l'exactitude et la précision du modèle étudié (COST231). Pour la mise en œuvre de la technique AG, les paramètres sélectionnés sont répertoriés dans le tableau (IV.4).

Paramètres AG	Valeurs
La taille de la population	20
Nombre maximum de générations	100
Type de fonction fitness	Haut
Sélection	Uniforme stochastique
Croisement	Heuristique (taux de croisement = 1.5)
Mutation	Adaptable réalisable

Tableau IV.4 : Paramètres AG utilisés.

IV.3.2. Résultats d'optimisation par AG

Les résultats de la simulation utilisant les paramètres AG sont présentés dans les tableaux et figures suivants.

 **Pour BTS 1 :**

COST231-Opt		Test n° 1	Test n° 2	Test n° 3	Test n° 4	Test n° 5	COST231	
Paramètres	1	13.5659	17.6035	19.0089	13.2472	17.4122	46.3	K1
	2	8.7093	4.0752	5.7402	6.8085	7.3201	44.9	K2
	3	22.5427	23.0858	20.2126	22.4703	24.3536	-13.82	K3
	4	3.0475	3.5723	3.3992	3.7016	5.5924	-6.55	K4
	5	32.4942	30.0833	30.4848	31.9975	30.2434	33.9	K5
RMSE		5.0286	5.8339	5.4327	5.0332	4.1420	27.2553	RMSE
Temps de calcul (s)		8.95982	8.70111	8.75113	8.64531	8.59221	/ /	
N génération		100	100	100	100	100	/ /	

Tableau IV.5 : Résultats du processus d'optimisation du modèle Hata COST 231 (rural).

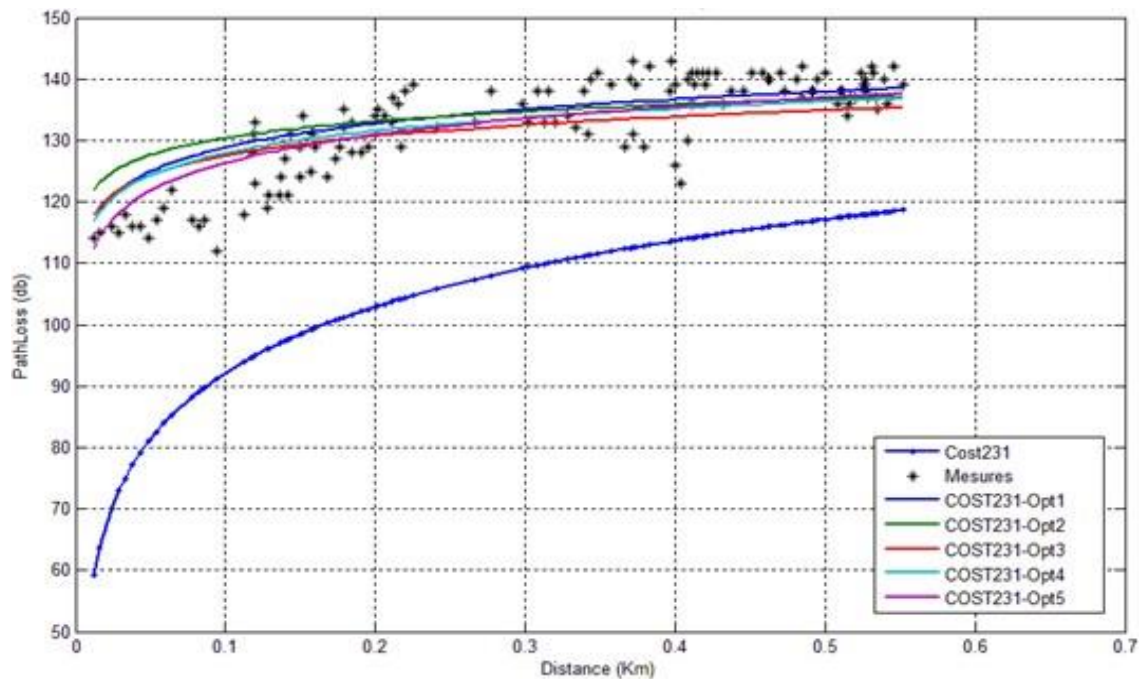


Figure IV.4 : Comparaison entre COST-231 Hata et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1).

Notez que le meilleur modèle est optimisé COST-Opt5 et sera validé ultérieurement avec les autres modèles (rural).

✚ Pour BTS 2 :

COST231-Opt		Test n° 1	Test n° 2	Test n° 3	Test n° 4	Test n° 5	COST231	
Paramètres	1	13.9698	13.8386	20.1981	20.3864	19.1589	46.3	K1
	2	7.3151	6.0975	2.1382	4.1111	10.9898	44.9	K2
	3	22.2411	27.5947	21.9237	22.5506	24.5060	-13.82	K3
	4	4.0101	4.2079	6.9594	6.6409	4.2315	-6.55	K4
	5	29.1406	26.4024	27.2499	26.7082	26.3678	33.9	K5
RMSE		3.0385	3.0849	3.0682	3.0647	3.2997	13.7572	RMSE
Temps de calcul (s)		9.31131	9.25924	9.20115	9.30156	9.24713	/ /	
N génération		100	100	100	100	100	/ /	

Tableau IV.6 : Résultats du processus d'optimisation du modèle Hata COST-231 (suburbain).

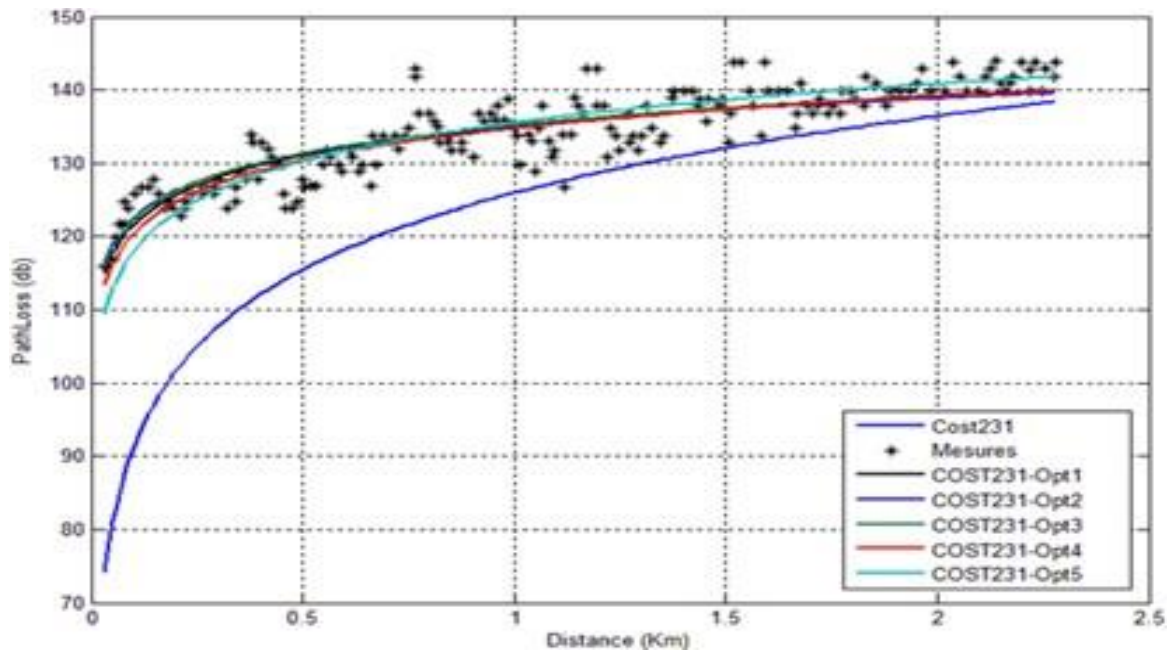


Figure IV.5 : Comparaison entre COST-231 Hata et COST-231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2).

D'après les résultats obtenus et observés dans le tableau (IV.6) et la figure (IV.5), le meilleur modèle est l'optimisation COST-Opt1.

IV.3.3. Validation

Base Station	Cost231			
	ME	RMSE	SE	(%)
BTS1	26.3666	27.2553	1.4578	20.1037
BTS2	10.8454	13.7572	0.6308	8.3029
Base Station	Cost231-Opt 5			
	ME	RMSE	SE	(%) Cost231-Opt 5 (BTS1) est choisi pour la Comparaison
BTS1	3.6547	4.1420	0.7308	2.8039
Base Station	Cost231-Opt 1			
	ME	RMSE	SE	(%) Cost231-Opt 1 (BTS2) est choisi pour la Comparaison
BTS2	2.4210	3.0385	0.6855	1.8127

Tableau IV.7 : Comparaison des performances selon les critères de test avec COST231-Opts (5.1).

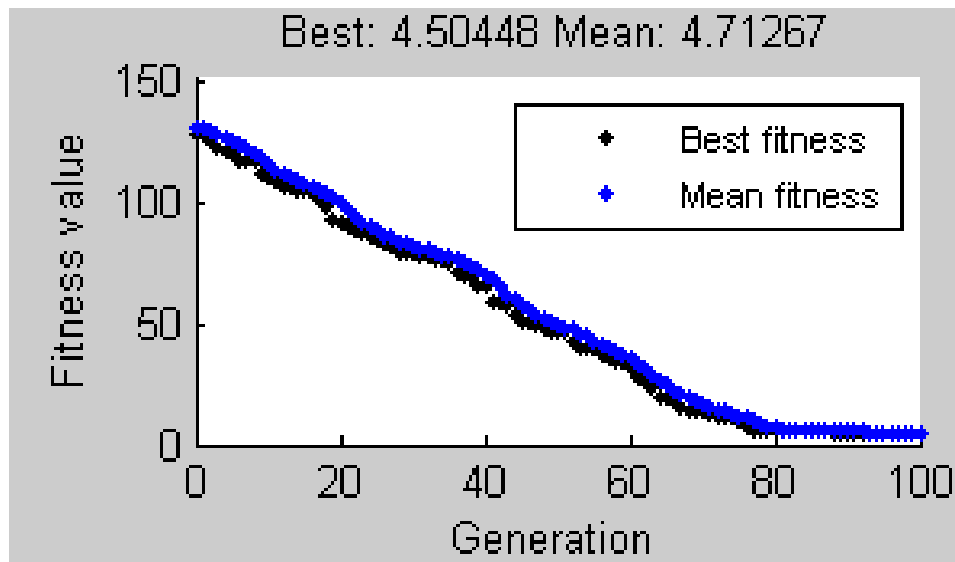


Figure IV.6 : Evolution de la fonction fitness par rapport au nombre de générations.

En commençant par les résultats du tableau (IV.7), nous avons constaté que les modèles optimisés COST-Opt5 (rural) et COST-Opt1 (Suburbain) surpassent le modèle Cost231 en termes de performances globales. Mais la convergence de ces deux modèles après l'optimisation est définie par le critère d'arrêt "Nombre maximal de générations". (100 générations) (Figure IV.6).

IV.4. Conclusion

Les données des pertes dans un canal ont été mesurées dans deux zones rurales et suburbaines de Batna, en Algérie. La perte de canal mesurée a été comparée à celle prédite par les modèles. La prévision du modèle COST-231 Hata est proche des données mesurées dans toutes les régions. Une méthodologie de reconfiguration minimale de perte de systèmes de distribution utilisant un algorithme génétique a été proposée. AG a pu produire une solution quasi optimale en adoptant la nature adaptative de la génétique naturelle. À partir de l'exemple numérique, de nouvelles valeurs de paramètres sont proposées pour le modèle COST-231 Hata sur la base des données mesurées. Il est évident que le modèle COST-231 Hata ajusté montre l'accord le plus proche du résultat de la mesure. Par conséquent, le modèle COST-231 Hata avec la modification proposée est recommandé pour les zones rurales et suburbaines de Batna.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail réalisé dans ce mémoire présente une nouvelle méthode utilisée pour estimer la perte du signal dans le réseau cellulaire de deuxième génération (GSM). L'étape de la simulation était effectuée à l'aide du Matlab.

Ce projet de fin d'études, nous avons développé un outil d'optimisation permettant de minimiser l'erreur entre les pertes prédites et mesurées dans le réseau GSM basé sur l'optimisation par essaim de particule. Pour évaluer les performances de notre algorithme, nous avons considéré le réseau cellulaire de l'opérateur MOBILIS pour la ville de BATNA.

En effet, nous avons ajusté les paramètres d'un modèle empirique en fonction de mesures réelles dans un environnement ciblé. Cela a rendu le modèle plus précis pour la prédiction d'affaiblissement.

Dans l'étape de simulation, on a remarqué que le modèle COST231 donne des meilleurs résultats par rapport aux autres modèles empiriques (Hata, SUI et Egli) dans les deux milieux rural et suburbain. Nous avons donc amélioré ce modèle avec l'algorithme génétique pour obtenir des résultats proches de la réalité.

Comme perspective, on peut utiliser d'autre modèle d'apprentissage. Combines avec des méthodes d'optimisation avoir des résultats meilleurs. Enfin ce travail nous a permis de toucher de près une partie très importante dans la planification des réseaux GSM.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [01] Andrea Goldsmith « WIRELESS COMMUNICATIONS », Stanford University
 - [02] Christine Turck. Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radio mobiles : L'apport des Systèmes d'Information Géographique. Application en milieu urbain. Géographie. Université Louis Pasteur - Strasbourg I, 2005. Français. <tel-00012014v2>
 - [03] H. Terdayet ,M. Boujnah , «Calibration de modèles de propagation pour les réseaux GSM, WCDMA et LTE » , mémoire de master , Sciences et technologies de l'Information et de la Communication - Option RST ,Tunisie, 2012-2013
 - [04] W. C. Y. Lee, «*Mobile Communications Design Fundamentals*», John Wiley, 1993.
 - [05] D. Imen, « *Planification radio d'une solution de couverture indoor* », Rapport de projet de fin d'étude, Tunis, 2004/2005.
 - [06] Famille menot, « La propagation des ondes radioélectriques à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments »
 - [07].Ayadi Mohamed, « Vers Un Outil D'évaluation De La Qualité De Couverture Du Réseau GSM Tunisien », PFE, ENIT, LS Telecom, juillet 1999.
 - [08] Hatem Mokhtari, « Modèles de propagation pour l'ingénierie radio cellulaire », 5 mai 2010, URL (<http://fr.scribd.com/doc/31684964/Modeles-de-Propagation-en-GSM>)
 - [09] Mohamed, Mint « *Estimation du perte dans un réseau GSM avec la méthode SVM* », Rapport de projet de fin d'étude, M'SILA, Juin 2016.
 - [10] ITU-R, « Okumara-Hata propagation model, in Prediction Methods for the Terrestrial Land Mobile Services in the VHP and UHF bands », ITU-R Recommendation P.529-2, ITU, Geneva, 1995.
 - [11] Rappaport, T. S. Wireless Communications, Second Edition, Pearson Publication, India, 2002, Pp. 57-176.
-

Références Bibliographiques

- [12] Miah, M., Rahman, M., Barman, P., Singh, B., Islam, A.: Evaluation and Performance Analysis of Propagation Models for WiMax. International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNCW), Vol. 1, No. 1, pp. 51-60, December (2011).
 - [13] M. Hata, «*Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services*», IEEE Trans. Veh. Technol., vol. vt-29, no. 3, August 1980, pp. 317-325.
 - [14] Dr Chih-Peng Li.: Wits Lab, Institute of Communications Engineering. Mobile Radio Propagation Channel Models.
 - [15] Egli, J. J., «Radio propagation above 40 MC over irregular terrain," *Proceedings of the IRE*, Vol. 45, No. 10, 1383-1391, 1957.
 - [16] Badri, H., Ghnimi, S., Gharsallah, A.: Electromagnetic Propagation Environment Effects on The WiMax Communication System. 11th Mediterranean Microwave Symposium, pp. 210-213, Tunis, September, (2011).
 - [17] Ch.Turck ,« *Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radiomobiles : L'apport des Systèmes d'Information Géographique. Application en milieu urbain* », Thèse de docteur, Strasbourg ,09 novembre 2005
 - [18] N. Melouki, « *Etude et estimation des pertes dans réseau GSM* », mémoire de mestre, université de M'sila, 2014.
 - [19] M.S.laurenceau, M.armel brumo « Global system for mobile communication »rapport d'expression technique, département génie électrique et informatique industrielle, institut universitaire de tours
 - [20] Sylvain Collonge.« Caractérisation et modélisation de la propagation des ondes électromagnétiques à 60 GHz à l'intérieur des bâtiments. domain_stic.inge. Migration - université en cours d'affectation », 2003. Français. <tel-00009272v1>
 - [21] C. DEMOULIN, M. VAN DROOGENBROECK. Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. Revue de l'AIM, pages 3.18, N04, 2004.
 - [22] A.Boulakakez, Z.Oggad « Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile », 2015/2016
 - [23] k.AL Agha,G.pujolle,G.vivier « réseaux de mobiles et réseaux sans fils »
-

Références Bibliographiques

eyrolles,2001

- [24] M. Hakim, « *Modèles et techniques d'optimisation dynamique pour les réseaux radio mobiles* », Thèse de doctorat, N° d'ordre 590 Année 2003.
 - [25] Jean-Philippe Muller, « Physique appliquée. Le réseau GSM »,2016.
 - [26] D. Cédric, V. Marc, « Principe de base du fonctionnement du réseau GSM », Belgique, 2004.
 - [27] P. Chambreuil, « *Evaluation multicritère des réseaux cellulaires radio-mobiles* », Rapport Interne, FTR&D, novembre 2000.
 - [28] Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM / Dpt.R&T. - Chatellerault- I.U.T. de Poitiers : Année Universitaire 2010-2011.
 - [29] M.Chaker, « Recherche sur la résolution des problèmes complexes d'affectation de fréquences Basses bandes pour les opérateurs de la téléphone mobile », thèse doctorat, faculté des sciences de l'ingénieur, Université Mentouri de Constantine, Mai 2011
 - [30] M.Meddah, A.Hadjadj « Optimisation de la Qualité de Service (QoS) dans un réseau GSM en utilisant l'algorithme d'optimisation par essais de particules (PSO) », Rapport de projet de fin d'étude,2018.
 - [31] Mohamed Ismail ABIED, « Le réseau GSM-R », Publié le 17/09/2015.
 - [32] Ms.Tel.Betouaf+Boumechra « Développement d'un Outil de Dimensionnement et de Planification d'un Réseau 4G-LTE », MEMOIRE MASTER 2014/2015
 - [33] P.BRISSON, P.KROPF, “ Global System for Mobile Communication (GSM)”, Université de Montréal.
 - [34] K. MESGHOUNI, “Applications des algorithmes évolutionnistes dans les problèmes d'optimisation en ordonnancement de la production”, thèse de doctorat soutenue à Lille et préparé sous la direction du professeur Pierre Borne, 5 janvier 1999.
 - [35] K.R. Carver, ‘Practical analytical techniques for the microstrip antenna’, Proc. Workshop on printed Circuit antenna technology, New Mexico State University, Las Cruces, 7, pp.1-7,20, Oct 1979.
 - [36] Mounir.A , « Amélioration des performances des antennes imprimées basée sur des méthodes de modélisation et d'optimisation sophistiquées », Diplôme De Doctorat , Université de Batna.
-

Références Bibliographiques

- [37] Souquet Amédée et Radet Francois-Gérard “ALGORITHMES GENETIQUES” TE de fin d’année, « Tutorat de Mr Philippe Audebaud »
 - [38] H.S. Chu. Couplages algorithmes génétiques et TLM pour la conception des antennes imprimées miniatures. Autre. Université Nice Sophia Antipolis, 2004. Français.
 - [39] Thomas Vallée et Murat Yıldızoglu “Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie ”, Article · February 2004.
 - [40] Thomas Vallée et Murat Yıldızoglu “Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie ”, 7 septembre 2001.
 - [41] Goldberg D. E. “Genetic Algorithms in Search, Optimization and MachineLearning”. Reading MA Addison Wesley, 1989.
 - [42] Johnson J. M., Rahmat-Samii Y. “An Introduction to Genetic Algorithms”, in Electromagnetics Optimization by Genetic Algorithmes”, Y. Rahmat-Samii and E.Michielsen, Eds. New York: Wiley, pp. 181-210, 1999.
 - [43] Boudina Ikram et Taleb Soumia “Développement d'un outil d'optimisation pour l'allocation des fréquences dans le réseau GSM”, Projet de Fin d’Etudes 2012-2013
 - [44] Said Bourazza. “ Variantes d’algorithmes génétiques appliquées aux problèmes d’ordonnancement. Mathématiques [math]”. Université du Havre, 2006. Français.
 - [45] Terki.A “Analyse des performances des algorithmes génétiques utilisant différentes techniques d’évolution de la population ”, Mémoire magister
-

Résumé

Dans les systèmes de radiocommunications mobiles, les modèles de perte dans un canal sont nécessaires pour une planification appropriée, des estimations d'interférences, des assignations de fréquences et des paramètres de cellule qui sont essentiels au processus de planification de réseau. Les modèles empiriques sont les modèles les plus ajustables pouvant être adaptés à différents types d'environnements.

Les pertes dans un canal mesurée est comparée à la perte de trajectoire théorique estimée par les modèles les plus largement empiriques «Cost231», «Hata», «SUI» et «Egli». Le meilleur modèle pour estimer Les pertes dans un canal mesurée est optimisé à l'aide d'un algorithme génétique permettant de prédire la perte de liaison dans les zones suburbaines et rurales. Le RMSE et les autres critères de test entre les données réelles et prévues sont calculés pour différents modèles d'affaiblissement sur le trajet. Le modèle "COST 231" ajusté est considéré comme le meilleur parmi les autres modèles étudiés. Les résultats de l'étude peuvent aider les ingénieurs en télécommunications à améliorer la planification et la conception de leur système micro-cellulaire.

Mots-clés : GSM, perte de canal, modèles empiriques, algorithme génétique.

Abstract

In mobile radio systems, path loss models are necessary for proper planning, interference estimations, frequencies assignments and cell parameters which are basic for network planning process. Empirical models are the most adjustable models that can be suited to different types of environments.

The measured path loss is compared with theoretical path loss estimated by the most widely empirical models «Cost231», «Hata», «SUI» and «Egli». The best model to estimate the measured path loss is optimized using genetic algorithm to predict path loss for suburban and rural area. The RMSE and the other test criteria between measured and estimated data are calculated for various path loss models. It turned out that the adjusted " COST 231" model outperforms the other studied models. The investigated results can help telecommunication engineers improve their planning and design of microcellular system.

Keywords : GSM, path loss, empirical models, genetic algorithm.

ملخص

تعتبر نماذج فقدان المسار لدى الأنظمة الخلوية عنصرا ضروريا لأجل التخطيط السليم، وذلك من أجل تقدير التداخلات ومن أجل تعيين الترددات ومختلف اعدادات الخلية والتي تعتبر ضرورية لعملية تخطيط الشبكات. كما تعد النماذج التجريبية النماذج الأكثر قابلية للتعديل حيث يمكنها ان تكون مناسبة للعديد من البيئات.

في اطار هذا العمل تمت مقارنة قيم فقدان المسار المقاسة والمقدرة حسب النماذج التجريبية التالية «Cost231» , «Egli» «SUI» «Hata» ، كما تم اختيار وتحسين النموذج ذو الافضل نتائج باستعمال الخوارزمية الجينية . وكل هذا يتم حسب معيار تقييم الخطأ RMSE وخواص اخرى مطبقة على كل من المعطيات الحقيقة المقاسة والقيم المقدرة حسب النموذج. يعتبر النموذج "COST 231" المعدل الافضل من بين النماذج المدروسة المتبقية. إن النتائج المحصل عليها من هذه الدراسة تساعد مهندسي الاتصالات على تحسين عمليتي تخطيط وتصميم أنظمتهم الميكرو خلوية.

الكلمات المفتاحية: GSM، فقدان المسار، النماذج التجريبية، الخوارزمية الجينية.