

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**  
**N° : 2017 /STN08/97/482**



**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE**  
**FILIERE : GÉNIE ÉLECTRIQUE**  
**OPTION : SYSTEMES DE TELECOMMUNICATION NUMERIQUES**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par: Bouguerra Yaaqoub et Delloum Sarra**

**Intitulé**

**Optimisation paramétrique pour estimation des pertes**  
**dans un réseau GSM utilisant l'algorithme PSO**

**Soutenu devant le jury composé de:**

|                      |                      |            |
|----------------------|----------------------|------------|
| Dr. LAADJAL Mohammed | Université de M'sila | Président  |
| Dr. DJOUANE Lotfi    | Université de M'sila | Rapporteur |
| Dr. BOURASE Mounir   | Université de M'sila | Examineur  |

**Année universitaire : 2016 /2017**



## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir procuré patience et volonté durant toutes les années de nos études.*

*On tient à exprimer nos sincères et vifs remerciements à Mr. **Djouane Lotfi** le directeur de mémoire pour nous avoir fait confiance, d'avoir conseillé tout au long de la réalisation de ce travail, pour son soutien et sa grande générosité, qu'il soit assuré de nos profonds gratitude.*

*On remercie également tous les membres de jurys d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

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



## Dédicace

*Je dédie ce travail :*

*A mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.*

*À mon frère et mes sœurs,*

*À tous mes proches et mes amis,*

*Ainsi qu'à toutes les personnes qui m'a aidé à la réalisation de ce travail.*

*Yaaqoub bouguerra*

*Je dédie ce travail :*

*\*\*A mon très cher père, je lui dédie avec fierté cette mémoire qui reflète le fruit de l'éducation et de l'attention qu'il m'a tant réservée, je lui suis très reconnaissant et j'aurai tant aimé partager la joie de ma réussite avec lui.*

*\*\*A ma mère, pour tous les sacrifices et son soutien moral, avec toute mon affection et ma reconnaissance; merci maman.*

*A mes frères : pour leurs soutiens et leurs amours.*

*A ma petite sœur : pour son soutien moral et pour son amour et soins.*

*A tous mes amis et collègues.*

*DELLOUM SARA*

**Table des matières**

|   |    |
|---|----|
| Introduction générale.....                                    | 1  |
| <b>Chapitre I : Le réseau GSM</b>                             |    |
| I.1 Introduction.....   | 4  |
| I.3 L'architecture du réseau GSM.....                         | 4  |
| I.3.1 Sous-système radio.....                                 | 5  |
| I.3.1.1 Mobile.....   | 6  |
| I.3.1.2 Station de base (BTS).....                            | 6  |
| I.3.1.3 Contrôleur de station de base (BSC).....              | 6  |
| I.3.2 Sous-système réseau.....                                | 7  |
| I.3.2.1 Centre de commutation mobile (MSC).....               | 7  |
| I.3.2.2 Enregistreur de localisation nominale (HLR).....      | 7  |
| I.3.2.3 Centre d'authentification (AuC).....                  | 7  |
| I.3.2.4 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)..... | 8  |
| I.3.2.5 Enregistreur des identités des équipements (EIR)..... | 8  |
| I.3.3 Centre d'exploitation et de maintenance.....            | 8  |
| I.4 Concept cellulaire.....                                   | 8  |
| I.4.1 Division cellulaire.....                                | 10 |
| I.4.2 Intérêt de la division cellulaire.....                  | 11 |
| I.4.2 Réutilisation des ressources.....                       | 13 |
| I.4.3 Densification.....                                      | 14 |
| I.4.4 Itinérance (Roaming).....                               | 14 |
| I.4.5 Handover.....   | 15 |
| I.5 Planification du réseau cellulaire.....                   | 16 |
| I.6 Critères de performances d'un réseau GSM.....             | 17 |
| I.6.1 Critères de coût.....                                   | 18 |
| I.6.2 Coûts de fonctionnement.....                            | 18 |
| I.7 Problèmes de transmission.....                            | 19 |
| I.7.1 Fading.....   | 19 |
| I.7.2 Alignement de temps.....                                | 19 |
| I.7.3 Dispersion de temps.....                                | 20 |
| I.8 Conclusion.....   | 20 |

**Chapitre II : Les modèles de propagation**

II.1 Introduction ..... 21

II.2 Domaine d’application d’un modèle ..... 22

II.3 Définition du modèle de propagation ..... 23

II.4 Catégories des modèles de propagation..... 23

    II.4.1 Modèle Macro-cellule ..... 24

    II.4.2 Modèle Micro-cellule..... 24

II.5 Les Différents Types De Modèles ..... 24

    II.5.1 Les modèles empiriques..... 25

    II.5.2 Les modèles semi-empiriques ..... 26

    II.5.3 Les modèles déterministes ..... 26

II.6 Les Modèles De Propagation..... 27

    II.6.1 Les modèles pour les grandes cellules (Macro-Cells) ..... 27

        II.6.1.1 Modèle de Hata ..... 28

        II.6.1.2 Modèle Okumura-Hata..... 28

        II.6.1 .3 Modèle de COST231Hata ..... 29

        II.6.1 .4 Modèle d’Egli..... 30

        II.6.1 .5 Modèle de Walfisch-Ikegami ..... 30

    II.6.2 Les modèles pour les petites cellules (micro-cells) ..... 32

        II.6.2.1 Le modèle de LEE..... 32

        II.6.2.2 Le modèle COST-CNET ..... 33

II.7 Conclusion ..... 35

**Chapitre III : Algorithme PSO**

III.1 Introduction ..... 36

III.2 Origines ..... 37

III.3 Présentation de PSO ..... 37

    III.3.1 Définition sur optimisation par essaims de particule..... 38

    III.3.2 Principales caractéristiques..... 38

    III.3.3 Trois règles locales ..... 39

    III.3.4 Algorithme de principe ..... 40

    III. 3.5 Les paramètre ..... 43

        III.3.5.1 La dimension de problème ..... 43

|  |    |
|--|----|
| III.3.5.2 Nombre de particules .....     | 43 |
| III.3.5.3 Coefficients de confiance..... | 43 |
| III.3.5.4 La vitesse maximale.....       | 43 |
| III.3.5.5 L'inertie.....                 | 43 |
| III.3.5.6 Notation du voisinage .....    | 44 |
| III.3.5.7 Le critère d'arrêt.....        | 44 |
| III.4 Conclusion.....                    | 44 |

**Chapitre IV : Résultats et discussion**

|   |    |
|---|----|
| IV.1 Introduction.....                                      | 45 |
| IV.2 Les Données Et L'analyse De L'affaiblissement .....    | 46 |
| IV.3 Logiciel De Simulation .....                           | 50 |
| IV.4 Résultats de simulation et discussion.....             | 50 |
| IV.4.1 Stratégie d'Optimisation.....                        | 52 |
| IV.4.1.1 Critère d'arrêt.....                               | 53 |
| IV.5 Résultats d'optimisation par PSO .....                 | 53 |
| IV.5 .1 Résultats Pour BTS 1 .....                          | 53 |
| IV.5.2 Résultats Pour BTS2 .....                            | 55 |
| IV.6 Comparaison avec un autre algorithme (PSO vs AG) ..... | 57 |
| IV.7 Conclusion .....                                       | 58 |

\* \*

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Conclusion générale ..... | 59 |
| Références                |    |

Liste des figures

**Chapitre I : Le réseau GSM**

Figure I.1: Architecture du réseau GSM [12]. ..... 5

Figure I.2: représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite). ..... 9

Figure I.3: concept cellulaire. .... 9

Figure I.4: représente différents handovers. .... 15

Figure I.5: Emission par une antenne-relais - Porteuse émettant le canal de contrôle et 7 canaux de trafic ..... 16

Figure I.6: Phénomène de Fading [12]. ..... 19

Figure I.7: Alignement de Temps [33]. ..... 19

Figure I.8 : Dispersion de Temps [35]. ..... 20

**Chapitre II : Les modèles de propagation**

Figure II-1 : les types des cellules. .... 23

Figure II.2: Détermination des différentes hauteurs équivalentes de l'antenne d'émission. ... 33

Figure II.3: Profil E-R considéré par le modèle COST-CENT ..... 34

**Chapitre III: algorithme PSO**

Figure III.1 : Schéma de principe du déplacement d'une particule [53]. ..... 38

Figure III.2 : Séparation. .... 39

Figure III.3 : Alignement. .... 39

Figure III.4 : Cohésion. .... 39

Figure III.5 : Organigramme de l'algorithme d'optimisation par essaim de particules [7]. .... 40

Figure III.6 : différents types de topologie pour un essaim de particule [55]. ..... 44

**Chapitre IV: Résultats et discussion**

Figure IV.1: Image satellitaire des stations de base à étudiées. .... 47

Figure IV.2: Image satellitaire des stations de base 1 «la Igalamamene»..... 48

Figure IV.3: Image satellitaire des stations de base 2 « El Madher ». .... 49

Figure IV.4: Comparaison Graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS1-Rural). ..... 50

Figure IV.5: Comparaison Graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS2-suburbain). ..... 51

Figure IV.6: Organigramme du processus d'optimisation. .... 52

Figure IV.7: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1). ..... 54

Figure IV.8: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1) zoomé . ..... 54

Figure IV.9: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2) ..... 55

Figure IV.10: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2) zoomé . ..... 56

Figure IV.11: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt4 (BTS1) ..... 57

**Liste des tableaux**

**Chapitre II : Les modèles de propagation**

Tableau II-1: Paramètres du modèle de Lee..... 32

**Chapitre IV : Résultats et discussion**

Tableau IV-1: Spécifications des sites BTS..... 46

Tableau IV-2: RMSE des modèles empiriques pour BTS1 et BTS2.. 46

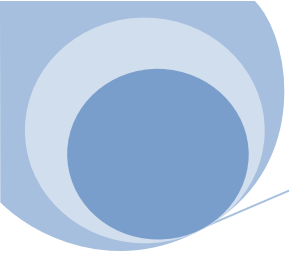
Tableau IV-3: les test COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1) ..... 53

Tableau IV-4: les test COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2) ..... 55

Tableau IV-5: comparaison PSO vs AG(BTS1) ..... 57

A decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and two thin blue lines. One large circle is at the top center, a smaller one is below it, and another large circle is at the bottom left. Two thin lines cross the page diagonally, one from the top right to the bottom left, and another from the top left to the bottom right.

# **Introduction générale**



## **Introduction générale**

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21<sup>ème</sup> siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique [1].

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur la notion de cellules, les réseaux cellulaires reposent sur l'utilisation d'un émetteur-récepteur central au niveau de chaque cellule, appelée « station de base » (en anglais Base Transceiver Station, notée BTS).

L'histoire de la téléphonie mobile débute réellement en 1982 (GSM). En effet, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) [2].

En 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage de télécommunications mobiles. Mais, il faudra plutôt attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu [3].

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 [4].

Ces modèles sont utilisés pour planifier la couverture d'un réseau radio, mobile (GSM, UMTS,..), broadcast (radio, TV), peuvent être classés en trois catégories : on distingue les modèles : empiriques, semi-empiriques et déterministes. [4-5]



Pour calculer l'affaiblissement dans une interface UM (user mobile) il y a plusieurs méthodes, comme, les modèles de prédiction (machine à vecteur support, les réseaux de neurones) et l'optimisation des modèles existants (optimisation par essaim de particules PSO, les algorithmes génétiques AG). La méthode PSO est retenue pour optimiser un modèle empirique qui sera choisi après comparaison entre plusieurs modèles existants avec des données réels. Cette technique est une méta-heuristique populaire basée sur l'intelligence par essaim, elle a été proposée en 1995 par Kennedy et Eberhart.

L'optimisation par essaim de particules s'inspire du comportement social des oiseaux évoluant en groupe et des bancs de poissons. L'algorithme d'optimisation par essaim de particule lance la recherche avec une population de solutions, où chacune est appelée « particule ». Cette dernière est caractérisée par une vitesse de déplacement et une position dans l'espace de recherche [6].

L'objectif de notre mémoire, consiste à décrire un programme qui utilise l'algorithme PSO pour optimiser un modèle empirique et le rendre plus approprié à la zone de couverture désirée. Pour résoudre un tel problème d'optimisation, on va calculer le minimum global d'une fonction coût suivant un sens de minimiser l'erreur quadratique moyenne entre les données de prédiction établies par ce modèle à optimiser, ainsi les mesurés réels établis sur le terrain. Ces mesures sont prélevées de la région de Batna ; BTS1 couvre la zone rurale et BTS2 couvre la zone suburbaine.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres et une conclusion générale.

- Le premier chapitre des préambules importants sur le GSM.
- Le deuxième chapitre porte sur l'analyse des différents modèles de propagation.
- Le troisième chapitre propose une approche évolutionnaire, « l'optimisation par essaim de particules » comme un outil d'optimisation.
- Dans le dernier chapitre, les résultats de simulation vont être présentés d'une manière simple à comprendre indiquant la performance de modèle optimisé.

Une conclusion synthétise les résultats obtenus et donne un aperçu de perspectives qui peuvent être développées.

A decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and two thin blue lines. One large circle is at the top, a smaller one is in the middle, and another large one is at the bottom left. Two thin lines cross the page diagonally, one from the top right to the bottom left, and another from the top left to the bottom right.

# Chapitre I

## **Le réseau GSM**

## **I.1 Introduction**

Le GSM est un système cellulaire et numérique de télécommunication mobile. Il a été rapidement accepté et a vite gagné des parts de marché. L'utilisation du numérique pour transmettre les données permet des services et des possibilités élaborées par rapport à tout ce qui a existé. On peut citer, par exemple, la possibilité de téléphoner de puis n'importe quel réseau GSM dans le monde. Les services avancés et l'architecture du GSM ont fait de lui un modèle pour la troisième génération des systèmes cellulaires, le réseau UMTS.

Le but des spécifications GSM est de décrire la fonctionnalité et l'interface pour chaque composant du système, et de fournir le guide sur l'objectif du système. Les spécifications vont normaliser le système dans le but de garantir une bonne interconnexion entre les différents éléments du système GSM [7].

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

## **I.2 Caractéristiques techniques du GSM**

Le GSM se caractérise non seulement par sa technologie radio, mais aussi par la répartition des fréquences, la largeur des canaux, l'architecture du réseau, les interfaces, les protocoles et autres spécifications techniques très précisément décrites et normalisées dès le départ. Cette standardisation à tous les niveaux, en laissant en principe peu de place aux initiatives génératrices d'incompatibilité entre réseaux et terminaux, fut en partie à l'origine de l'essor de la norme.

Toutefois, d'une région à l'autre, d'un continent à l'autre, l'allocation des ressources spectrales diffère, et le GSM n'emploie pas forcément partout les mêmes bandes de fréquences : ainsi parle-t-on de GSM 900 MHz, GSM 1 800 MHz et GSM 1 900 MHz [8].

## **I.3 L'architecture du réseau GSM**

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs [9].

L'architecture d'un système GSM se décompose en trois sous-systèmes :

- Le sous-système radio (BSS) : Il gère la partie radio des communications et se compose d'émetteurs-récepteurs radio (BTS) contrôlés par une BSC.
- Le sous-système réseau (NSS) : Il gère le traitement des appels, la mobilité et l'acheminement de/vers les réseaux filaires. Il se compose de commutateurs radio (MSC) et d'un certain nombre de bases de données HLR et VLR.
- Le sous-système exploitation : Il contrôle les droits d'accès au réseau, les droits des usagers et assure l'interface homme-machine d'exploitation. Il gère aussi le maintien en conditions opérationnelles du réseau et la remontée des alarmes [10].

Le schéma de la page suivante présente l'architecture générale d'un réseau GSM :

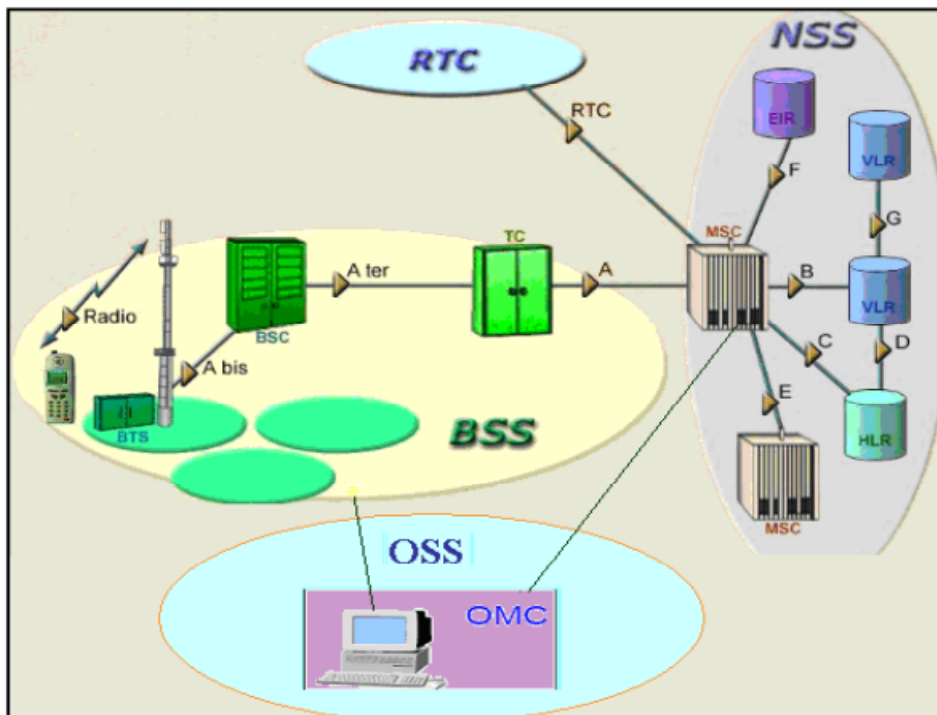


Figure I.1: Architecture du réseau GSM [11].

### I.3.1 Sous-système radio

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

### I.3.1.1 Mobile

La Mobile Station (MS) est composée du Mobile Equipment (le terminal GSM) et du **Subscriber Identity Module (SIM)**, une petite carte douée de mémoire et de microprocesseur, qui sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal employé; il est donc possible de continuer à recevoir et à émettre des appels et d'utiliser tous ces services simplement grâce à l'insertion de la carte SIM dans un terminal quelconque [12].

### I.3.1.2 Station de base (BTS)

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

- Contrôle de la couche physique (couche 1 de l'interface radio) : transmission de la parole et des données, transmission discontinue, ordres de contrôle de puissance et de **handover**...
- Mesures des interférences sur les canaux non alloués à des communications (**idlechannels**).
- Mesures sur la liaison montante (**uplink**), servant à l'algorithme de décision du **handover**.
- Calcul du **Timing Advance** (avance de temps) pour la synchronisation temporelle, selon la distance qui sépare la BTS du mobile.
- Détection des demandes d'accès des mobiles reçus sur le canal de contrôle commun (RACH).
- Détection des messages de **handover access** [13].

### I.3.1.3 Contrôleur de station de base (BSC)

Un BSC gère un ou plusieurs BTS et n'est relié qu'à un seul MSC. Pour le trafic abonné venant des BTS, le BSC joue le rôle de concentrateur. Pour le trafic venant du commutateur, il joue le rôle d'aiguilleur vers la BTS dont dépend le destinataire.

Un BSC utilise les mesures radio des BTS pour gérer la signalisation des "**Handover**" entre les cellules dont il a la responsabilité [14].

### **I.3.2 Sous-système réseau**

Le sous-système réseau, appelé Network Support Sub-systeme (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**. Le NSS est constitué de :

- Mobile Switching Center (MSC)
- Home Location Register (HLR) / Authentication Center (AuC)
- Visitor Location Register (VLR)
- Equipment Identity Register (EIR) [15] .

#### **I.3.2.1 Centre de commutation mobile (MSC)**

MSC ou centre de commutation est relié au sous-système radio via l'interface A et son rôle est de faire commuter les abonnés du réseau mobile au réseau RTC (Réseau Téléphonique Commuté) ou autre équivalent. Il gère aussi certains services comme la messagerie, les mises à jour des HLR et VLR [16].

#### **I.3.2.2 Enregistreur de localisation nominale (HLR)**

C'est la base de données qui gère les abonnés d'un PLMN donné. Elle contient toutes les informations relatives à l'abonnement et aux droits d'accès. D'autre part, le HLR est une base de données de localisation. Il mémorise pour chaque abonné le VLR où il est enregistré [17].

#### **I.3.2.3 Centre d'authentification (AuC)**

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

### I.3.2.4 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Le VLR (**Visitor Location Register**) est une base de données qui mémorise les informations aux abonnés présents dans la zone géographique du MSC ou la zone de localisation (LA).

Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR, mais concernant seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée, le VLR a une information de localisation plus précisée que le HLR [18].

### I.3.2.5 Enregistreur des identités des équipements (EIR)

Comme nous l'avons vu précédemment, 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 [19].

## I.3.3 Centre d'exploitation et de maintenance

Les centres d'exploitation et de maintenance OMC sont des entités fonctionnelles permettant à l'opérateur du réseau de contrôler son système et d'y apporter des modifications. Les fonctions réalisées aux niveaux des différents OMC peuvent se résumer comme suit :

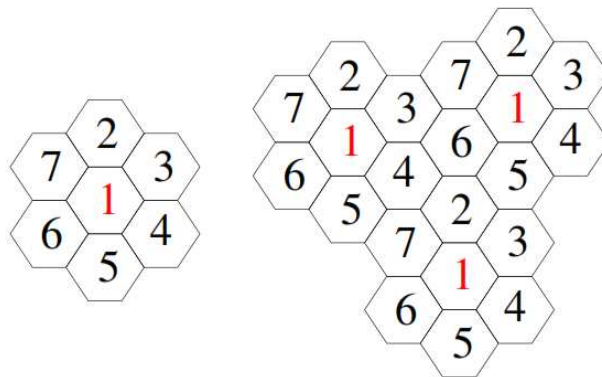
- Fonctions liées à la gestion commerciale ou administrative du réseau,
- Gestion de la sécurité,
- Gestion des performances,
- Gestion de la configuration,
- Maintenance, gestion des alarmes [15].

## I.4 Concept cellulaire

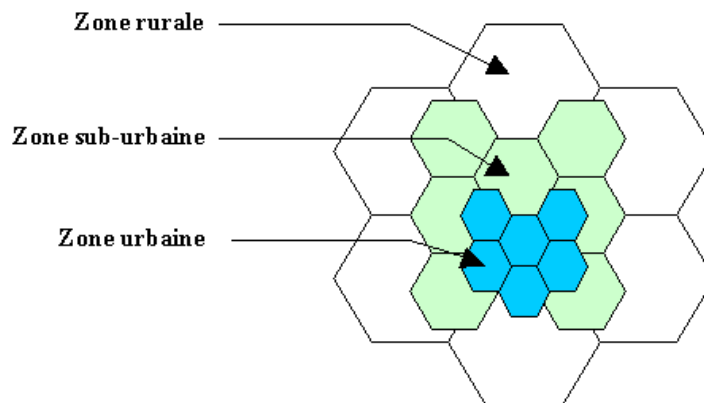
Un système de radiotéléphonie mobile autrefois analogique et maintenant numérique assurant la totalité des services proposés par le réseau fixe, plus celui de la mobilité : possibilité de maintenir une communication en cours de déplacement (**handover**) et la possibilité d'appeler et d'être appelé lorsque l'on se trouve à l'étranger [20].

La première amélioration consiste à allouer un canal à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin, étant entendu que tout le monde ne téléphone pas en même temps. Mais ce système nécessitait toujours des stations mobiles de puissance d'émission importante. Afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences.

C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept de cellule. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite, sommairement nommés fréquences. Comme précédemment, ces fréquences ne peuvent pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences. Ainsi, on déni des motifs, aussi appelés clusters, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. La figure 1. montre un tel motif [21].



**Figure I.2:** représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite).



**Figure I.3 :** concept cellulaire [22].

Graphiquement, on représente une cellule par un hexagone car cette forme approche celle d'un cercle fonction de la nature du terrain et des constructions, les cellules n'ont pas une forme circulaire. De plus, afin de permettre à un utilisateur passant d'une cellule à une autre de garder sa communication, il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%, ce qui renforce la contrainte de ne pas avoir une même bande de fréquences dans deux cellules voisines.

Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur [21].

#### **I.4.1 Division cellulaire**

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

Les cellules sont disposées de façon adjacente les unes contre les autres et peuvent couvrir un rayon variant de 5 à 20 Km, c'est-à-dire qu'elles peuvent desservir les abonnés situés dans un cercle de 10 à 40 Km de diamètre. La cellule joue le rôle d'interface entre le mobile et le central cellulaire, elle assure donc les fonctions suivantes :

- Affectation des canaux de communication aux mobiles,
- Emission permanente de la signalisation,
- Supervision de la communication [20].

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

- La topographie (bâtiments, collines, montagnes, etc.).
- La densité de la population (ou de communications) pour établir la dimension de cellule.

- Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même bande de fréquence afin d'éviter les interférences. La distance entre deux cellules ayant la même bande doit être de 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule.

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

- Du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.
- De la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles).
- De la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton,...) et de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions [9].

Chaque cellule est caractérisée par:

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

#### I.4.2 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[24 ].

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, . . .) et.
- De la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions [23].

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 :

Le service **Out door** 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 :

**A.** le **.Soft Indoor**. Lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment

**B.** le **.Deep Indoor**. Lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

Typiquement, on considère que, lors de l'établissement du bilan de puissance, c'est-à-dire de l'analyse du rapport de la puissance émise à la puissance reçue au droit du récepteur, il faut tenir compte de 10 [dB] d'atténuation supplémentaire pour le Soft Indoor et de 20 [dB] pour Deep Indoor à 900 [MHz]. Quand on sait que 10 [dB] représente un facteur de 10 en puissance, on comprend qu'il est crucial pour un opérateur de dimensionner au mieux son réseau, quitte à effectuer des mesures sur le terrain [24].

#### **I.4.2 Réutilisation des ressources**

L'opérateur dispose d'une zone à couvrir et d'une bande de fréquences. Dans les systèmes tels que GSM, cette bande est partagée en deux sous-bandes dont l'une est utilisée pour les liaisons mobiles vers infrastructure (liaison montante) et l'autre pour le sens infrastructure vers mobiles (liaison descendante). Chaque sous-bande est en suite partagée en un certain nombre de porteuses. Une porteuse peut écouler une ou plusieurs communications simultanément.

D'autre part, la zone à couvrir est découpée en « cellules ». Une cellule est une portion de territoire couverte par une station de base. On affecte à chaque cellule (à chaque station de base), un certain nombre de porteuses de la bande en fonction du trafic estimé dans cette cellule. Il est possible de réutiliser une même porteuse dans des cellules différentes si celles-ci sont suffisamment éloignées. La réutilisation de fréquences permet donc à un opérateur de couvrir une zone géographique d'étendue illimitée en ayant recours à une bande de fréquences de largeur limitée.

Ainsi, grâce au concept de réutilisation de fréquence, l'architecture cellulaire permet d'atteindre potentiellement une capacité illimitée (en nombre d'utilisateurs par unité de surface). Cependant, la réutilisation de la même fréquence radio à l'intérieur d'une zone géographique limitée (telle une ville) pose un ensemble de problèmes complexes. Un mobile va recevoir non seulement un signal utile provenant de la station de base à laquelle il est rattaché mais aussi des signaux interférant provenant des stations de base utilisant la même fréquence dans des zones voisines[25].

### I.4.3 Densification

La densification désigne le mécanisme par lequel, la capacité du réseau est accrue en multipliant le nombre de sites ou de stations déployés sur une zone. Cette adaptabilité est réalisée grâce à l'un des trois procédés suivants :

➤ Eclatement de cellules (sectorisation) :

Quand le volume de trafic sur une cellule donnée dépasse la capacité de la station, la cellule est alors subdivisée en cellules plus petites. Pour ce faire on remplace l'antenne omnidirectionnelle par plusieurs antennes sectorielles. Ce qui induit une révision locale du plan de fréquences ainsi qu'un réaménagement des paramètres des antennes sur le site.

➤ Ajout de nouveaux sites :

Quand le nombre maximal de stations pouvant être installé sur un site est atteint, il est alors inévitable de recourir à l'installation de nouveaux sites, ce qui conduit à la réduction des tailles des cellules [26].

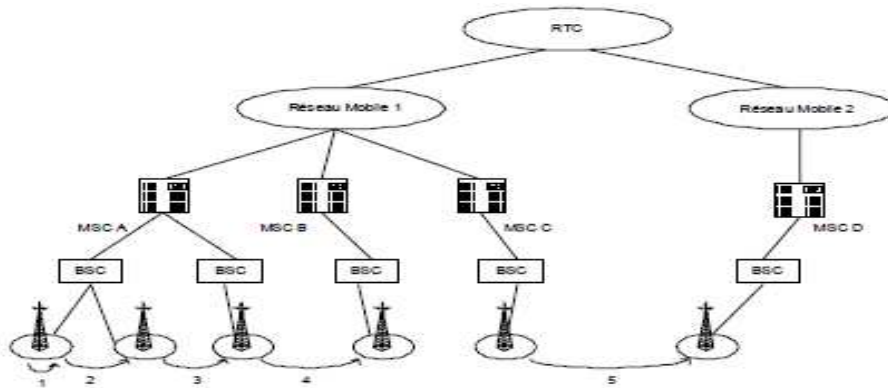
➤ Couverture multicouche :

Dans ce cas, les frontières de la cellule originale sont préservées. L'idée est d'insérer de petites cellules (microcellules) dans la cellule initiale afin d'alléger sa charge. Les appels ne pouvant pas être gérés par la micro cellule sont redirigés vers la macro cellule [26].

### I.4.4 Itinérance (Roaming)

Le **roaming** signifie itinérance en français. Ce service proposé par les opérateurs de télécommunications permet aux usagers de téléphones mobiles de pouvoir appeler et être appelés dans un pays étranger. Tous les opérateurs de téléphonie mobile passent des accords d'un pays à l'autre pour permettre à leurs clients d'être en continuité de service où qu'ils se trouvent. L'accord est souvent bilatéral pour permettre aux abonnés de chaque opérateur d'utiliser le réseau de l'autre opérateur [27].

### I.4.5 Handover

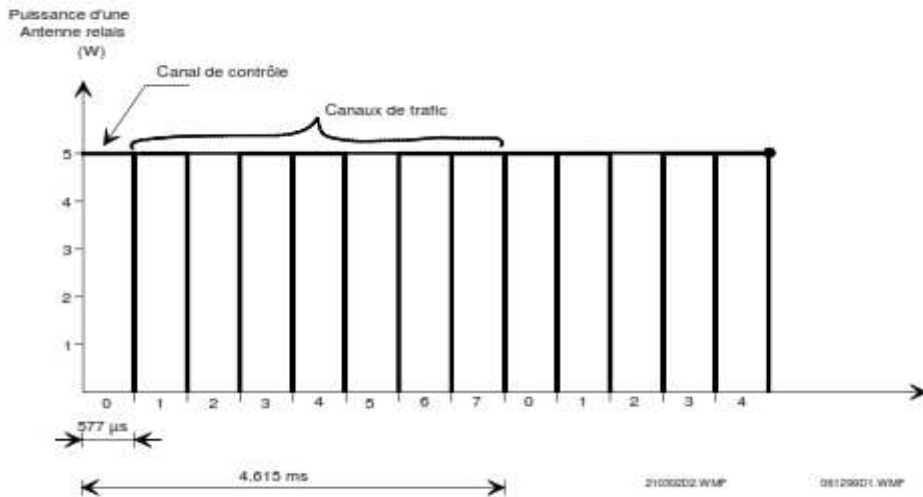


1 :HO Intra cellulaire    2 :HO Intra BSC    3 :HO Intra MSC    4 :HO Inter MSC    5 :HO  
Inter réseau

**Figure I.4:** représente différents handovers.

En core plus fort : le mobile change de cellule pendant une communication. Il est exclu de faire une resélection de cellule qui viendrait à interrompre la communication en cours. Il est tout aussi exclu de ne rien faire, car la communication serait inmanquablement coupée. Le mobile va alors exécuter un changement de cellule de manière transparente pour l'utilisateur et sans risque de coupure de la communication. C'est ce qu'on appelle le **handover**. Le protocole radio ménage au mobile en communication des instants où il peut effectuer des mesures sur son canal radio et détecter un affaiblissement du signal ou la dégradation de la qualité de la communication. Il recherche alors une autre solution qui peut être un **handover** intercellulaire ou un **handover** intracellulaire [28].

Le nombre de canaux actifs dans une cellule, à un moment donné, dépend du nombre de communications en cours ; lorsqu'il n'y en a aucune, seul le canal de contrôle est réellement utile, c'est-à-dire un huitième de porteuse. Toutefois, pour des raisons techniques, les 7 canaux inutilisés de la porteuse qui transmet le canal de contrôle sont « artificiellement » occupés par ce qui est appelé des « **dummybursts** ». La figure 11 représente l'affectation des « time slots » de la porteuse qui transmet le canal de contrôle.



**Figure I.5:** Emission par une antenne-relais - Porteuse émettant le canal de contrôle et 7 canaux de trafic

Par contre, dans le cas des porteuses qui ne sont utilisées que pour transmettre des canaux de trafic, seuls les canaux utiles sont effectivement transmis [29].

### I.5 Planification du réseau cellulaire

La planification d'un réseau cellulaire est une tâche difficile et continue dont le résultat conditionne la réussite de l'opérateur. Celui-ci doit répondre aux besoins des usagers en garantissant une qualité de service acceptable tout en minimisant les coûts d'investissement. En plus, l'opérateur doit être toujours à l'écoute des différents changements et événements qui se déroulent sur son réseau afin de s'adapter aux besoins de ces clients.

Pour maîtriser le problème de planification, l'opérateur doit évaluer en premier lieu les caractéristiques de l'environnement à couvrir, à savoir les caractéristiques radios de l'environnement de propagation, puis les caractéristiques des abonnés à des servir qui se résument dans leur densité, mobilité, et leurs besoins en trafic. Ainsi, en possédant main des modèles de propagation appropriés et des prévisions en trafic sur le court et le long terme, en réalisant des mesures sur le réseau existant, l'opérateur doit aboutir à un ensemble de décisions en établissant :

- Un plan de stations de bases qui va déterminer leurs emplacements, leurs capacités et les puissances mises en jeu.
- Un plan de fréquences affectant à chaque station de base les fréquences de travail.
- Un plan des équipements du réseau fixe.
- Un réseau de connexion entre les différentes entités du réseau [30].

Le processus de planification se déroule suivant les étapes suivantes :

- Dimensionnement des équipements du réseau en déterminant le volume des équipements et logiciels à acquérir et à déployer pour la fourniture des services de télécommunication mobiles.
- Planification du sous-système radio qui doit mener à la détermination des positions et capacités des stations de base et aussi à spécifier un plan de fréquences.
- Planification du sous-système réseau en spécifiant les emplacements et capacités des équipements du réseau fixe et les interconnexions entre eux.

### **I.6 Critères de performances d'un réseau GSM**

Les critères qui rentrent dans l'estimation de la qualité d'un réseau sont nombreux. Néanmoins, ces critères peuvent globalement être classés en deux grandes catégories selon le point de vue adopté : opérateur ou utilisateur [31].

La première classe fait référence au coût consenti par l'opérateur pour déployer le réseau, pour assurer son évolution et finalement pour maintenir son fonctionnement. Deuxièmement, les critères de qualité de service qui mesurent la performance du réseau telle qu'elle est perçue par les utilisateurs (disponibilité, qualité vocale...). Le design d'un réseau radiomobile revient alors à gérer le compromis posé par ces deux tendances [26].

### I.6.1 Critères de coût

Il s'agit des coûts nécessaires au déploiement, au fonctionnement ou à l'évolution du réseau.

- Coût de déploiement : Ce coût représente les frais d'installation initiale du réseau. Il fait, principalement, intervenir les droits d'utilisation des sites retenus pour la construction du réseau plus le coût d'installation des équipements. L'opérateur est amené à engager des négociations avec les propriétaires des terrains pour s'enquérir des droits d'exploitation.
- Coût d'évolution : l'objectif initial d'un opérateur est de couvrir une certaine zone géographique avec une certaine estimation du nombre d'abonnés. Au fur et à mesure de l'évolution du trafic, l'opérateur aspire à étendre sa zone de couverture et à améliorer les capacités de son système. Pour répondre à ces besoins, l'opérateur est amené à accroître son patrimoine de sites, à installer de nouvelles antennes, à changer le paramétrage des équipements...etc [26].

### I.6.2 Coûts de fonctionnement

Ceux sont des coûts induits par les techniques et algorithmes adoptés par le système tels que les procédures de localisation et de **handover**. Ces algorithmes engendrent un trafic de signalisation supplémentaire non facturé.

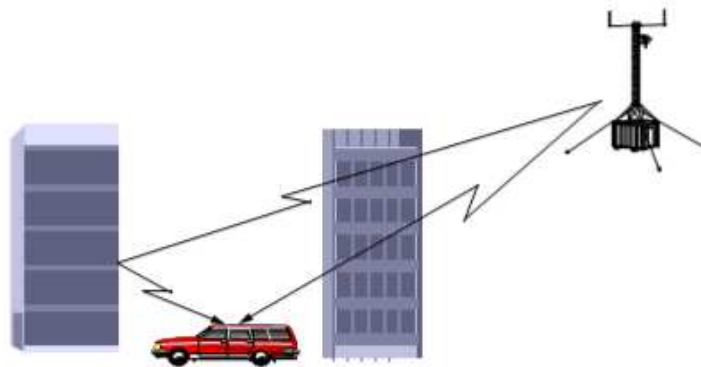
- Critères de qualité de service : Ces critères sont directement à mettre en rapport avec les attentes des abonnés. Ces attentes sont liées à la :
  - ✓ Disponibilité du réseau (probabilité d'obtention d'un nouvel appel).
  - ✓ Maintien des communications (la probabilité de coupure d'une communication).
  - ✓ Qualité auditive de la communication (puissance du signal, brouillage...).

Ces aspects sont étroitement dépendants des mécanismes de fonctionnement du réseau tels que : la couverture, la capacité du réseau face à la demande, les interférences, les taux d'erreurs, le design des cellules, la fréquence des **handover**...etc [26].

## I.7 Problèmes de transmission

### I.7.1 Fading

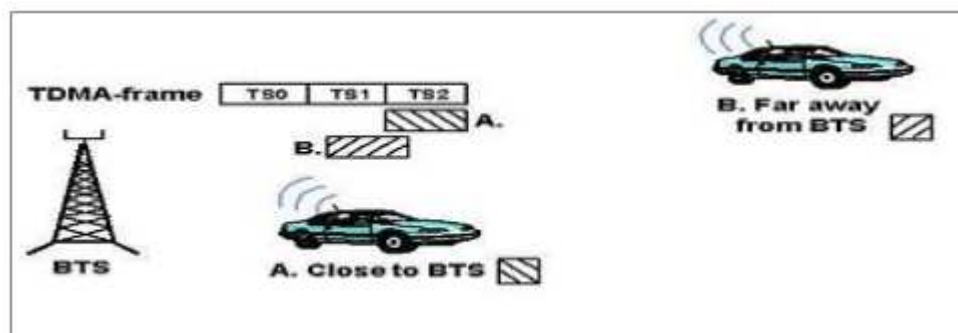
Le terme actuellement recommandé est « évanouissement ». Phénomène de disparition du signal reçu, le fading peut être dû soit à une dérive de l'oscillateur local (petites ondes et ondes courtes), soit à une interférence destructrice entre l'onde directe et l'onde réfléchiée par l'ionosphère (grandes ondes). Ce phénomène est aléatoire et varie rapidement dans le temps [32].



**Figure I.6:** Phénomène de Fading [11].

### I.7.2 Alignement de temps

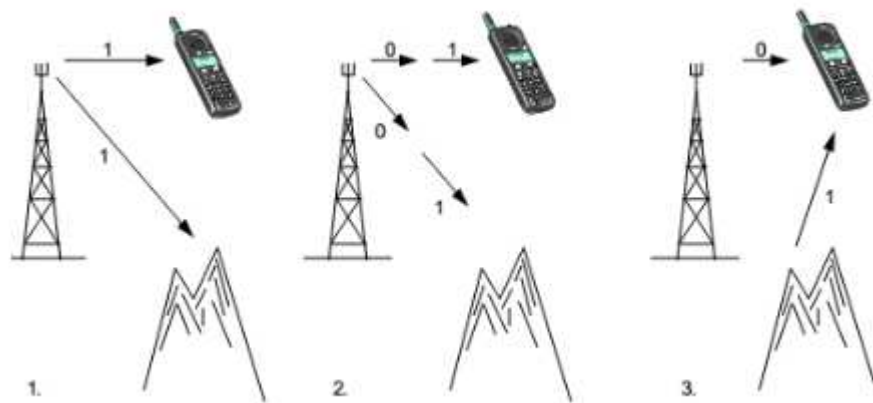
A chaque appel du MS on alloue un time slot dans une trame de TDMA, qui est une durée de temps par laquelle le MS transmet les informations à la BTS, ces informations doivent aussi arriver à la BTS durant le time slot réservé, si elles arrivent en retard donc dans un autre time slot il va y avoir une 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 [31].



**Figure I.7:** Alignement de Temps [31].

### I.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 [32]. La dispersion de temps cause des interférences entre les bits, ce qui rend difficile au MS la détermination du bit exact.



**Figure I.8 :** Dispersion de Temps [32].

### I.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a expliquée en détaille le principe de GSM, le concept cellulaire, principe de **handover** et ainsi la Synthèse des principales caractéristiques et problèmes de transmission dans un réseau GSM.

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.

A decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and two thin blue lines. One large circle is at the top, a smaller one is in the middle, and another large one is at the bottom left. Two lines cross the page diagonally, one from the top right to the bottom left, and another from the top left to the bottom right, intersecting near the center.

# Chapitre II

## **Les modèles de propagation**

## II.1 Introduction

La propagation des ondes électromagnétiques est régie par les équations de Maxwell . Celles-ci permettent de formaliser l'évolution d'une onde électromagnétique se propageant dans n'importe quel environnement . Donc on va voir les modèles de propagation qui représente le canal (environnement) entre MS et BTS [5].

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil déployés à l'intérieur du bâtiment. Les liaisons radioélectriques de réseau GSM ou à très haut débit à courte portée sont situées à l'intérieur de la troposphère, siège de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques (présence de gradients d'indice de réfraction, hydrométéores : pluie, neige, brouillard, etc.) [33]. L'amplitude du champ reçu pour une position de réception donnée dépend entre autres de trajets multiples résultant de l'interaction du signal émis avec les nombreux obstacles présents dans l'environnement, mur, fenêtre, sol, plafond, mobilier, etc.

Après tous L'effet à la zone de couverture peuvent être obtenu, soit par mesure, soit par calcul à partir les modèles de propagation servent alors à la prédiction mathématique de la propagation des ondes radioélectriques entre la source et la zone de service cible, ils donnent ainsi une idée proche de la réalité pour permettre à un récepteur de systèmes d'établir à l'avance si le système de radiocommunications [34].

On peut distinguer donc trois grandes catégories de modèles des prédictions de propagation des ondes radioélectriques :

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

## II.2 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 [10].

### II.3 Définition du modèle de propagation

Le modèle de propagation est un procédé essentiel au début du déploiement du réseau car il permet des prédictions précises sur la couverture [35].

Le modèle de propagation des ondes radio est un modèle mathématique, ce modèle donné par un certain nombre de paramètres (caractéristiques techniques, type d'environnement géographique) qui permet de simuler les pertes entre un émetteur et un récepteur [10].

### II.4 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. On distingue généralement quatre types de cellules (figure II-1). 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 [36].

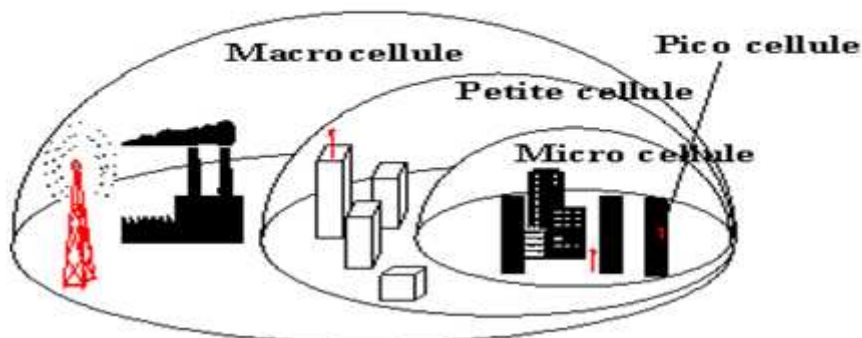


Figure II-1 : les types des cellules.

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

- Modèle Macro-cellule
- Modèle Micro-cellule

### II.4.1 Modèle Macro-cellule

Le milieu environnant est en général rural ou montagneux et l'antenne de station de base est positionnée sur un point très élevé [35]. La distance entre la station de base et le mobile peut être supérieure à une dizaine de kilomètres. Cette zone géographique, peu urbanisée, entraîne pour un certain nombre de trajets de délais élevé (jusqu'à 30 m s) [36].

- ❖ les modèles ruraux : le modèle rural prend uniquement en compte la coupe de terrain vertical 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 des montagnes.

### II.4.2 Modèle Micro-cellule

Une petite cellule est contrairement aux Macro-cellules qui prédisent une couverture radio moyenne et pas très précise essentiellement en milieu ouvert [36].

Les modèles Micro-cellules essaient de prédire une zone de couverture moins étendue mais plus précise, ce modèle qui permet une utilisation efficace du spectre de fréquences limitée et elle fournit une infrastructure moins chère, Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement urbain ou semi-urbain [35].

Les antennes de station de base (de 3 m à 10 m) et puissances d'émission faibles (de 10 mW à 1 W) [36].

## II.5 Les Différents Types De Modèles

Dans le domaine des communications radio mobiles, il existe deux méthodes fondamentales de prédiction de comportement d'un canal de transmission. La première méthode la plus souvent grâce aux modèles statistiques le canal de façons statistiques. La deuxième méthode consiste à simuler les trajets du signal dans le milieu de propagation, et utiliser une résolution analytique directe des équations de propagation. Il ya une autre méthode elles reposent sur des calculs d'optique géométrique (réflexion, diffraction, etc.) Est appelée méthode de rayon (déterministes) [35,36].

Pour choisir le type de modèle a dépendu du niveau d'estimation souhaitée : estimation approximative ou précise. 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.

### **II.5.2 Les modèles empiriques:**

Les deux principaux types de modèles résultant de ces approches sont les modèles 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 [36].

Ces types des modèles empiriques sont basés sur l'analyse d'un grand nombre de mesures expérimentales c.-à-d'une analyse statistique de données en fonction de différents paramètres (la fréquence, la distance, la hauteur des antennes, l'affaiblissement, et milieu géographique différent, etc), il représentera correctement les données qui ont servi à l'établir. Par ce qu'en général, il est relativement simple et facile à mettre en œuvre (en terme de développement mathématiques et de programmation informatique). Ils sont robustes, rapides et ne nécessitent pas de bases de données géographiques. Ils sont adaptés aux dimensions d'affaiblissement dimensionnement des systèmes mais peu précis plus particulièrement à courtes distances [36,4].

En particulier deux erreurs doivent être évitées : l'erreur de paramètre et la fausse dépendance entre les variables. L'erreur de paramètre consiste à prendre une grandeur liée à une variable d'entrée comme variable indépendante ou à faire intervenir des variables d'entrée liées. La fausse dépendance est plus difficile à détecter car elle provient de l'existence d'une variable cachée qui, furtivement, lie deux variables qui n'ont en fait aucun lien direct de cause à effet [4].

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 [36].

### II.5.2 Les modèles semi-empiriques:

Les modèles semi-empiriques combinent une formulation analytique des phénomènes physiques (réflexion, transmission, diffraction, diffusion) et un ajustement statistique à l'aide de mesures expérimentales. Ils sont rapides, précis et robustes. Ils nécessitent par contre la prise en compte de l'environnement (troposphère, bases de données géographiques (topographie, occupation du sol, morphologie, contours des bâtiments, axe de rue, etc.))[37].

L'idée principale de ce modèle est de combiner les avantages de chacun des deux modèles précédents. Ils allient à la fois des aspects théoriques et des mesures. Ils prennent en compte la topologie de la zone à couvrir. Ces types de modèles se révèlent généralement plus légers en terme de calcul que les modèles théoriques et plus performants en terme d'estimation de l'atténuation de puissance induit par un site de propagation. Leur usage pour la validation d'une solution sans fil pour un site de propagation tel qu'en indoor, reste relativement peu fréquent en raison de son degré de complexité [5].

### II.5.3 Les modèles déterministes :

Ces modèles s'appuient sur les lois fondamentales de la physique du signal radioélectrique ainsi que sur des modèles de l'atmosphère et des modèles de terrain.

Les problèmes électromagnétiques, dans le contexte d'un environnement géographique donné, conduisent rarement à des solutions analytiques). Même en faisant des simplifications rigoureuses. C'est la raison pour laquelle ce type de modélisation est assez rare en propagation radioélectrique. Cependant, ce type de modèle ne se résume pas forcément à l'établissement de formules mathématiques. Ce type de modélisation n'existe en fait que sur le papier puisqu'il est très ambitieux de prétendre modéliser l'ensemble des phénomènes qui influent sur la propagation du signal radio.

De plus, il est très complexe de vouloir tenir compte également des variations temporelles (variations saisonnières, mobilité des obstacles...). Cependant, des modèles théoriques ont été développés, pour avoir une modélisation la plus proche de la réalité avec notamment des algorithmes déterministes pour le calcul de la diffraction [38].

Les modèles déterministes sont très complexes, leur utilisation implique une connaissance très approfondie du sujet. Ils sont donc dédiés préférentiellement à des travaux de recherche, ce qui les rend incompatibles avec l'ingénierie des réseaux radio-mobiles où l'on a besoin d'outils rapidement opérationnels. De plus, les performances de ces modèles ne sont pas toujours à la hauteur de ce que l'on pourrait espérer d'une telle approche [37]. Ce dernier donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'informations sur la zone où ils vont être appliqués. De plus ils demandent beaucoup de temps de calcul. Ils sont généralement réservés à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent être utilisés [36].

## II.6 Les Modèles De Propagation

Les modèle de propagation des ondes radioélectriques existant ceci va nous a permettre de mettre en évidence les points ou nous pouvons apporter des améliorations en tant que géographe. Afin d'optimiser la modélisation radioélectriques par une meilleure prise en compte de l'information spatiale dans la modélisation radio par l'utilisateur.

Le modèle est à la base de tous les calculs qui peuvent être fait par un logiciel d'ingénierie radio (niveau de champ radio reçu, calcul des interférences, analyse du **Handover**, etc.). Ce logiciel apporte une aide précieuse pour le dimensionnement du réseau. Il doit aussi permettre de minimiser le temps de calcul des couvertures de champs. Il faut donc être très attentif aux différents paramètres d'entrée du modèle.

### II.6.1 Les modèles pour les grandes cellules (Macro-Cells)

Les modèles macro cellulaires sont des modèles **empiriques** généralement fondés sur l'analyse du profil vertical émetteur-récepteur et 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 (estimation de l'occupation du sol sur une maille de 100 m) et de la simplicité des algorithmes de calcul [36].

Ce type de modèle atteint ses limites en milieu urbain dense où l'on doit avoir des données géographiques plus précises pour modéliser correctement tous les phénomènes. Cela est également vrai en milieu montagneux où les réflexions sur les montagnes sont très importantes et il faut donc en tenir compte au niveau de la prédiction.

### II.6.1.1 Modèle de Hata

Le modèle de Hata s'applique aux fréquences comprises entre 150 et 1500 MHz. En milieu urbain, l'affaiblissement en dB appelé ici  $L_{50}$  est donné par [39].

$$L_{50} = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) \quad (\text{II.1})$$

Le paramètre  $a(h_r)$  est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne de la station mobile et de l'environnement dont la valeur est :

- 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) :  $a(h_{re}) = 8.29 (\log 1.54 \cdot h_{re})^2 - 1.1$  en dB
- Grande ville ( $f_c > 300$  MHz) :  $a(h_{re}) = 3.2 (\log 11.75 \cdot h_{re})^2 - 4.97$  en dB

En milieu suburbain nous devons apporter une correction à la formule ci-dessus :

$$L_{50}(\text{suburban}) = L_{50}(\text{urbain}) - 2 \left( \log \left( \frac{f_c}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad (\text{II.2})$$

En milieu rural :

- Environnement dégagé :

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbain}) - 4.78 (\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 40.94 \quad (\text{II.3})$$

- Environnement semi-dégagé:

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbain}) - 4.78 (\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 35.94 \quad (\text{II.4})$$

### II.6.1.2 Modèle Okumura-Hata

Le Modèle Okumura-Hata[40].C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, basé sur les mesures d'Okumura prises dans la région de Tokyo. Ce modèle prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous urbain, rural). L'affaiblissement selon ce modèle est donné par :

Urbain :

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(d) \quad (\text{II.5})$$

Avec  $a(h_m) = [1.1 \log_{10}(f) - 0.7] * h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$

Rural :

$$L_r = L_u - 4.7[\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - \alpha \quad (\text{II.6})$$

.  $\alpha = 35.94$  si la zone est rurale quasi-ouverte

.  $\alpha = 40.94$  si la zone est rurale ouverte

Où :

- $L_U$  et  $L_r$  = affaiblissement total, en dB.
- $f$  = fréquence, en MHz.
- $d$  = la distance entre la station mobile et BTS, in Km.
- $h_b, h_m$  = la hauteur de BTS et la station mobile, en m.

Avec  $f$  désigne la fréquence en MHZ  $150 < f < 1000$

### II.6.1.3 Modèle de COST231Hata

Les membres du projet européen COST 231 ont proposé d'étendre le modèle de Hata à des fréquences supérieures [41], notamment à cause du déploiement des réseaux GSM 1800 (Europe) et GSM 1900 (USA) au milieu urbain et suburbain . La formule suivante a été proposée :

$$L_{50} = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) + C_M \quad (\text{II.7})$$

Avec  $C_M = 0$  dB pour des villes de taille moyenne et  $C_M = 3$  dB pour les grands centres métropolitains.  $A(h_{re})$  Est identique à celui du modèle de Hata. Le domaine de validité de ce modèle est :

$$1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}, 30 \text{ m} < h_{te} < 200 \text{ m}, 1 \text{ m} < h_{re} < 10 \text{ m}, \\ 1 \text{ km} < d < 20 \text{ km}.$$

### II.6.1.4 Modèle d'Egli

L'un des modèles statistiques les plus connus pour prédire l'affaiblissement de propagation dans le milieu urbain ou milieu rural est dû à Egli [42]. Comme dans le cas d'Okumura-Hata, il n'inclut pas les pertes de diffraction provoquée par propagation sur un terrain irrégulier ; Toutefois, Okumura prend implicitement en compte l'effet des bâtiments, ce qui n'est pas le cas pour Egli.

Selon Egli, les pertes de propagation sont exprimés en tant que:

$$PL = 20 \log(f_c) + 40 \log(d) - 20 \log(h_{te}) + \begin{cases} 76.3 - 10 \log(h_{re}), & h_{re} \leq 10\text{m} \\ 85.9 - 20 \log(h_{re}), & h_{re} \geq 10\text{m} \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

Où :

- PL = affaiblissement total, en dB.
- $f_c$  = fréquence, en MHz.
- d = la distance entre la station mobile et BTS, in Km.
- $h_{te}, h_{re}$  = la hauteur de BTS et la station mobile, en m.

### II.6.1.5 Modèle de Walfisch-Ikegami

Walfisch-Ikegami [44] .Les formules d'okumura-Hata s'appliquent pour des distances supérieures à 1 km. Le modèle de Walfish-Ikegami repris par le COST 231 est valide, pour des distances supérieures à 20 m, lorsque l'antenne de station de base est située au-dessus du toit mais à côté de bâtiments plus élevés. Il permet d'estimer l'affaiblissement de parcours en fonction de multiples paramètres : largeur des rues, hauteur et longueur des immeubles entre deux rues, angle de la rue par rapport au trajet direct, etc. Les paramètres intervenant dans l'expression du modèle sont les suivants :

- f : Fréquence porteuse (MHz) :  $800 \leq f \leq 2000$ .
- $h_{TX}$  : Hauteur d'antenne (m) de la station de base par rapport au sol:  $4 \leq h_{TX} \leq 50$ .
- $h_{RX}$  : Hauteur d'antenne (m) de la station mobile par rapport au sol :  $1 \leq h_{RX} \leq 3$ .
- $h_{Roof}$  : Hauteur moyenne (m) des bâtiments:  $h_{Roof} \geq h_{RX}$ .
- W : Largeur de la route (m) où le mobile est situé (elle est égale à s'il n'y a pas d'indication).
- b : Distance (Km) entre les centres de bâtiments (elle est comprise entre 20 et 50 s'il n'y a pas d'indication).

- $d$  : Distance (Km) entre le BS et le mobile :  $0.02 \leq d \leq 5$ .
- $\alpha$ : Angle (en degrés) qui fait le trajet avec l'axe de la route (elle est égale à 90 s'il n'y a pas d'indication).

$\Delta h_{TX} = h_{TX} - h_{Roof}$ : Hauteur de BS au-dessus des toits.

$\Delta h_{RX} = h_{Roof} - h_{RX}$ : Hauteur de MS au-dessous des toits.

Cas de visibilité directe LOS (Line Of Sight) :

$$L_p = 42.64 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.9})$$

L'atténuation en espace libre est donnée par :

$$L_{fs} = 42.64 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.10})$$

L'atténuation en cas de visibilité s'écrit alors :

$$L_p = L_{fs} + 10.19 + 6 \log(d) = L_{fs} + 6 \log(50d) \quad (\text{II.11})$$

Cas de non visibilité directe NLOS (Non Line Of Sight):

$$L_p \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{msd} L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{fs} L_s + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

Avec :

$L_{rst}$  : L'atténuation due à la diffraction sur les toits des bâtiments.

$L_{msd}$  : L'atténuation due aux diffractions multiples.

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_{RX}) + L_{ori} \quad (\text{II.13})$$

$L_{ori}$  Est un terme qui dépend de l'orientation de la route par rapport à l'émetteur

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \alpha & 0 < \alpha < 35 \\ 2.5 + 0.075(\alpha - 35) & 35 < \alpha < 55 \\ 4.0 + 0.114(\alpha - 55) & 55 < \alpha < 90 \end{cases} \quad (\text{II.14})$$

La perte de l'orientation est un terme empirique de correction obtenu après calibrage.

L'inconvénient de ce modèle est qu'il nécessite la connaissance de nombreux paramètres de la zone à étudier malgré qu'il puisse être utilisé pour des valeurs par défauts.

De même, il néglige les effets de guide d'onde par trajets multiples.

## II.6.2 Les modèles pour les petites cellules (micro-cells)

Une micro cellule est une zone relativement petite de plein air comme une rue à l'antenne de station de base ci-dessous les toits des bâtiments environnants. La zone de couverture est plus petite par rapport aux macros cellules, et elle est formée par des immeubles environnants [43].

Une micro cellule permet une utilisation efficace du spectre de fréquences limitée et elle fournit une infrastructure moins chère. Les principales hypothèses sont les chemins relativement courts de radio (de 200 m à 1000 m), les antennes de station de base basse (3 m à 10 m) et puissances d'émission faibles (10 mW à 1 W) [5].

### II.6.2.1 Le modèle de LEE

Le modèle de Lee (LEE, 1982) [44] 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 :

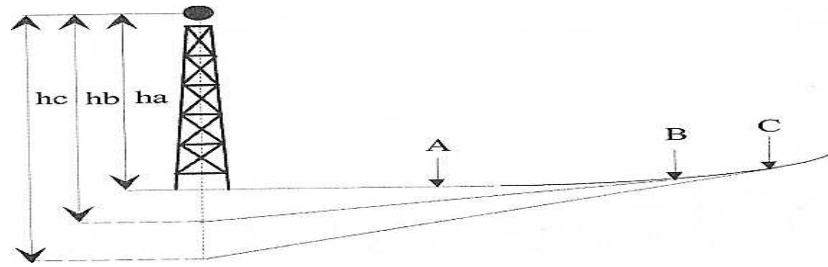
$$PL = 10n\log(d) - 20 \log h_{te}(\text{eff}) - P_0 - 10 \log(h_{re}) + 29 \quad (\text{II.9})$$

Avec :

- PL : affaiblissement total
- d: longueur de la liaison (en kilomètres),
- 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 du mobile,
- $h_{te}(\text{eff})$ : hauteur effective (figure II.2) de l'antenne d'émission.

**Tableau II-1:** Paramètres du modèle de Lee

| 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   |



**Figure II.2:** Détermination des différentes hauteurs équivalentes de l'antenne d'émission.

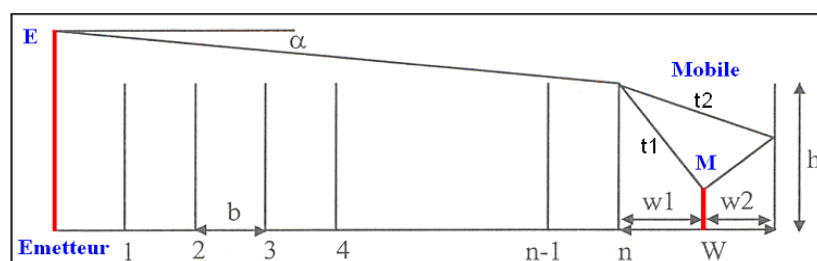
La hauteur effective de l'antenne d'émission est déterminée en projetant la pente du terrain au voisinage du mobile sur l'emplacement où est localisée la station de base supportant l'émetteur. La figure II.2 schématise la variation de la hauteur effective de l'antenne d'émission ( $h_a$ ,  $h_b$ ,  $h_c$ ) 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).

### II.6.2.2 Le modèle COST-CNET

A [44]. 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.

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 radiomobile. 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 II.3:** Profil E-R considéré par le modèle COST-CENT

Avec :

$h$ : Hauteur des bâtiments,

$b$  : Distance entre les bâtiments,

$W$ : Largeur de la rue dans laquelle est localisé le mobile,

$w_1$ : Distance entre le mobile et le bâtiment sur lequel l'onde radio est diffractée,

$w_2$ : Distance entre le mobile et le bâtiment sur lequel l'onde radio est réfléchie,

$n$ : Arêtes des bâtiments (façades, coins de bâtiment),

$t_1$ : Trajet de l'onde diffractée par la dernière arête au niveau du toit,

$t_2$  : Trajet de l'onde réfléchie sur la façade de l'immeuble opposé,

$\alpha$ : 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 :

$$l_{\text{total}} = l_0 + l_{\text{msd}} + l_{\text{rst}} + l_{\text{deg}} \quad (\text{II.10})$$

Avec:

$l_{\text{total}}$ : Affaiblissement total,

$l_0$  : Affaiblissement d'espace libre,

$l_{\text{msd}}$  : Affaiblissement de diffraction multiple sur les  $n-1$  arêtes,

$l_{\text{rst}}$  : Affaiblissement dans la rue du mobile (superposition du trajet 1 et du trajet 2),

$l_{\text{deg}}$  : Affaiblissement lié à la diffraction sur l'arête principal

## II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux différents modèles de propagation déterministes, empiriques et semi empiriques. Ces modèles de propagation sont des formules mathématiques obtenues à partir des très grand nombre de mesures .Les modèles seront implantés dans des outils d'ingénierie pour prédire différentes quantités utiles pour le déploiement de systèmes de télécommunication radio ainsi que pour l'étude de la couverture radio (choix des sites, allocation de fréquences, définition des puissances).

The image features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and two thin blue lines. One large circle is at the top, a smaller one is in the middle, and another large one is at the bottom left. Two thin blue lines intersect at the top right and extend downwards, crossing through the circles.

# **Chapitre III**

## **Algorithme PSO**

### III.1 Introduction

Les ingénieurs sont confrontés quotidiennement à des problèmes de complexité grandissante, qui surgissent dans des secteurs techniques très divers, comme dans la conception de systèmes mécaniques, le traitement des images, l'électronique ou la recherche opérationnelle. Le problème à résoudre peut souvent s'exprimer comme un *problème d'optimisation* : on définit une fonction objectif, ou fonction de coût, que l'on cherche à minimiser ou à maximiser par rapport à tous les paramètres concernés [45].

Même si ces méthodes sont sujettes à de nombreuses controverses de part leur non-exactitude, ils permettent de trouver facilement et rapidement la solution la plus approchée de l'optimale si ce dernier existe, et reste un moyen très efficace pour traitement de problèmes complexes pouvant prendre des années de calculs sans résultats [46].

Dans ce chapitre, nous allons faire la connaissance avec la méthode PSO « optimisation par essais de particule » dont l'idée directrice est la simulation du comportement collectif des oiseaux à l'intérieur d'une nuée.

L'optimisation par Essaim de particule (OEP) ou bien (PSO **Particle Swarm Optimization**), a été inventée par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio-psychologue) en 1995. Au départ J. Kennedy et R. Eberhart cherchaient à simuler la capacité des oiseaux à voler de façon synchrone et leur aptitude à changer brusquement de direction tout en restant en une formation optimale. Le modèle qu'ils ont proposé à ensuite été étendu en un algorithme simple et efficace d'optimisation [46].

### III.2 Origines :

L'optimisation par essaim particulaire (OEP) est une méthode née en 1995 aux États-Unis sous le nom de **Particle Swarm Optimization** (PSO).

Initialement, ses deux concepteurs, Russel Eberhart et James Kennedy, cherchaient à modéliser des interactions sociales entre des « agents » devant atteindre un objectif donné dans un espace de recherche commun, chaque agent ayant une certaine capacité de mémorisation et de traitement de l'information. La règle de base était qu'il ne devait y avoir aucun chef d'orchestre, ni même aucune connaissance par les agents de l'ensemble des informations, seulement des connaissances locales. Un modèle simple fut alors élaboré.

Dès les premières simulations, le comportement collectif de ces agents évoquait celui d'un essaim d'êtres vivants convergeant parfois en plusieurs sous-essaims vers des sites intéressants. Ce comportement se retrouve dans bien d'autres modèles, explicitement inspirés des systèmes naturels. Ici, la métaphore la plus pertinente est probablement celle de l'essaim d'abeilles, particulièrement du fait qu'une abeille ayant trouvé un site prometteur sait en informer certaines de ses consœurs et que celles-ci vont tenir compte de cette information pour leur prochain déplacement. Finalement, le modèle s'est révélé être trop simple pour vraiment simuler un comportement social, mais par contre très efficace en tant qu'outil d'optimisation [46].

Comme nous allons le voir, le fonctionnement de l'OEP fait qu'elle peut être rangée dans les méthodes itératives (on approche peu à peu de la solution) et stochastiques (on fait appel au hasard). Sous ce terme un peu technique, on retrouve un comportement qui est aussi vieux que la vie elle-même : améliorer sa situation en se déplaçant partiellement au hasard et partiellement selon des règles prédéfinies [47].

### III.3 Présentation de PSO

L'optimisation est le mécanisme par lequel on trouve la valeur maximale ou minimale d'une fonction. Ce mécanisme est utilisé dans plusieurs domaines tels que: la physique, chimie, l'économie, et l'informatique...etc. où le but est de maximiser l'efficacité, la productivité et d'autre mesures.

### III.3.1 Définition sur optimisation par essais de particule :

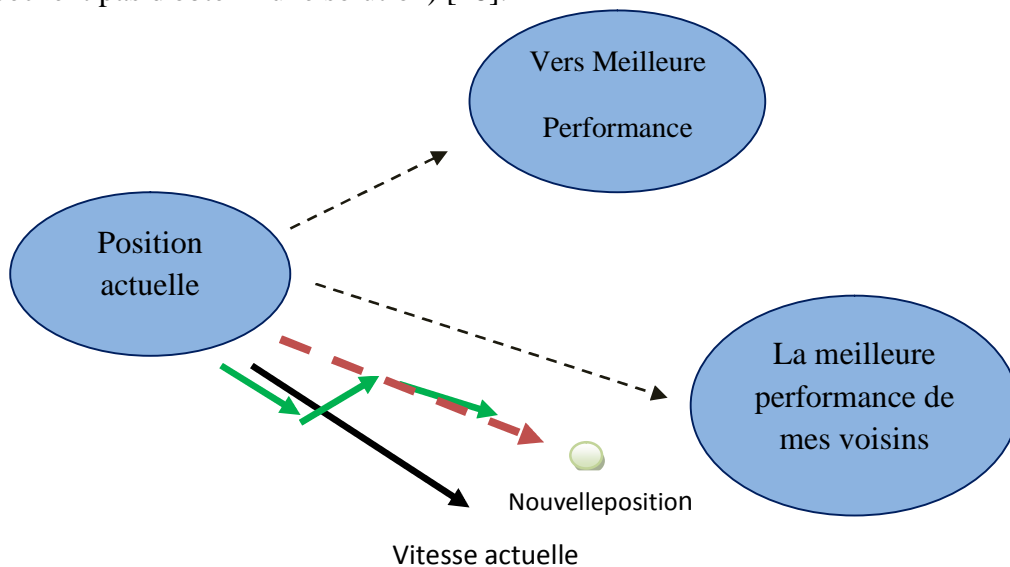
La PSO est un algorithme de recherche basé sur la population basé sur la simulation du comportement social des oiseaux, des abeilles ou d'une école des poissons. Cet algorithme prévoit à l'origine pour simuler graphiquement la chorégraphie gracieuse et imprévisible des gens d'oiseau. Chaque individu dans l'essaim est représenté par un vecteur dans l'espace de recherche multidimensionnel. Ce vecteur a également un vecteur assigné qui détermine le prochain mouvement de la particule et s'appelle le vecteur de vitesse.

Sur notre monographie présenté par suite on va s'intéresser a définir l'optimisation par les essais particulaires et bien comprendre comment fonctionne cette méthode en s'inspirent pour cela des animaux et leurs comportement [46].

### III.3.2 Principales caractéristiques :

Ce modèle présente quelques propriétés intéressantes, qui en font un bon outil pour de nombreux problèmes d'optimisation, particulièrement les problèmes fortement non linéaires, continus ou mixtes (certaines variables étant réelles et d'autres entières) :

- il est facile à programmer, quelques lignes de code suffisent dans n'importe quel langage évolué.
- il est robuste (de mauvais choix de paramètres dégradent les performances, mais n'empêchent pas d'obtenir une solution) [48].



**Figure III.1** : Schéma de principe du déplacement d'une particule [48].

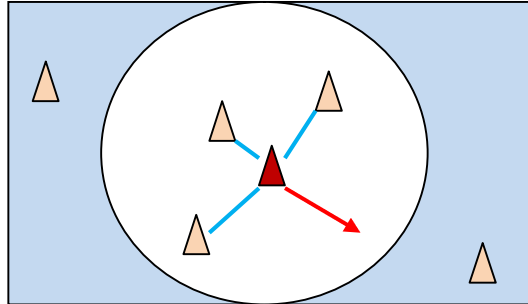
Pour réaliser son prochain mouvement, chaque particule combine trois tendances :

- suivre sa vitesse propre,
- revenir vers sa meilleure performance,
- aller vers la meilleure performance de ses informatrices.

### III.3.3 Trois règles locales

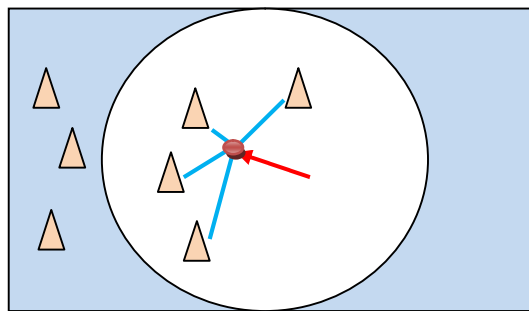
Comprendre ces phénomènes et la coordination des mouvements de ces populations Chaque « boid » se déplace selon sa propre perception de l'environnement avec des règles simples :

- Séparation : ne pas heurter ses voisins en s'éloignant des proches



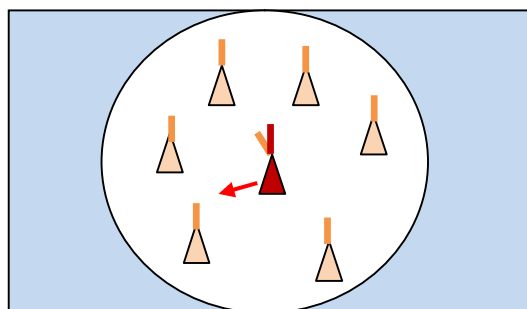
**Figure III.2 : Séparation.**

- Alignement : se déplacer dans la même direction que l'ensemble en moyennant les vitesses et les directions



**Figure III.3 : Alignement.**

- Cohésion : se maintenir dans le groupe en se déplaçant vers le centre perçu de la formation

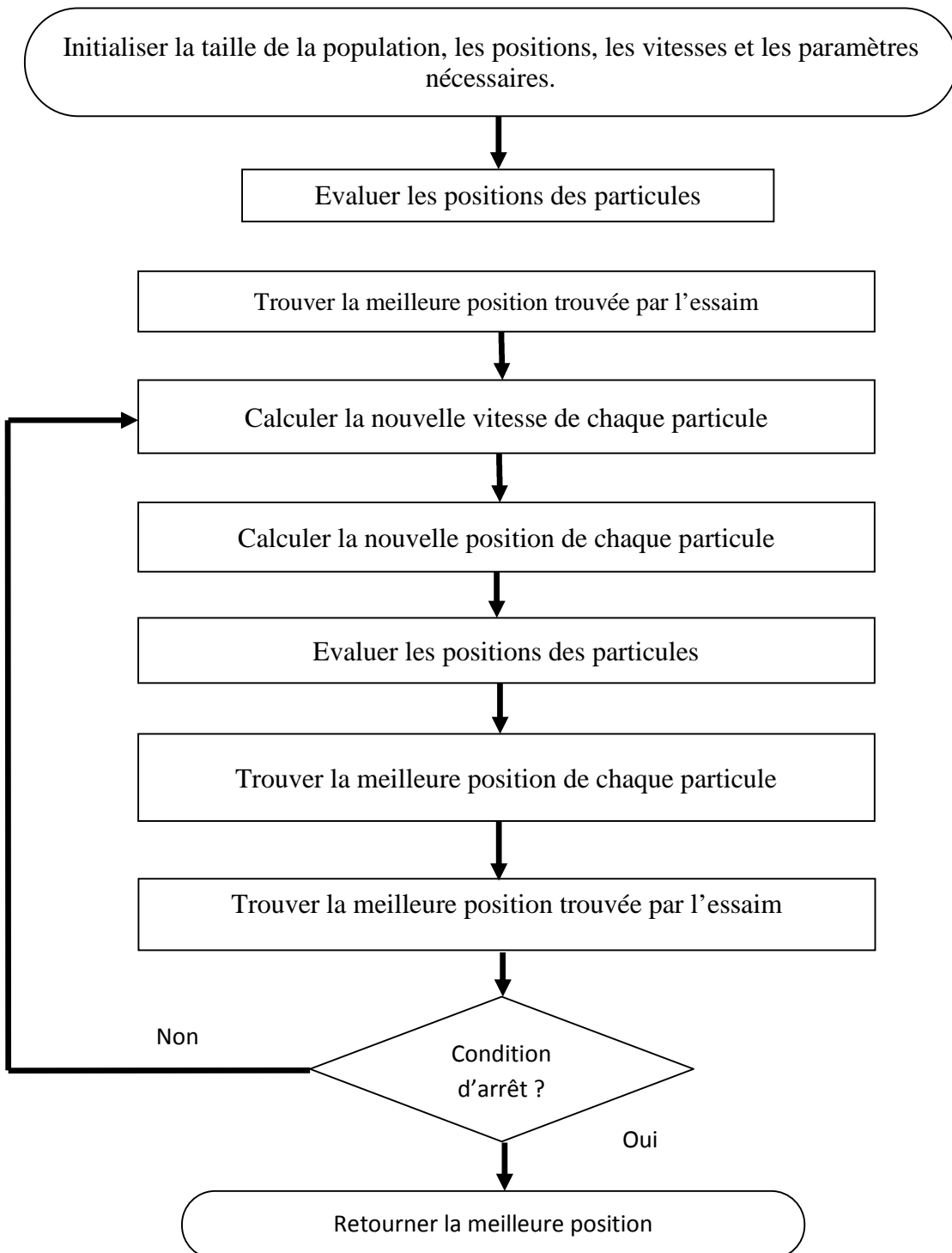


**Figure III.4 : Cohésion.**

Ces trois règles de bases, permettent l'attraction et la répulsion de chacun des individus et permet la stabilité de l'ensemble [49].

### III.3.4 Algorithme de principe

L'algorithme de base est très simple :



**Figure III.5 :** Organigramme de l'algorithme d'optimisation par essaim de particules [6].

Dans [50]. Chaque particule représente une solution potentielle dans l'espace de recherche. La nouvelle position d'une particule est déterminée en fonction de sa propre valeur et celle de ses voisines. Soit  $\vec{x}_i(t)$  la position de la particule  $P_i$  au temps  $t$ , sa position est modifiée en ajoutant une vitesse  $\vec{v}_i(t)$  à sa position courante :

$$\vec{x}_i(t) = \vec{x}_i(t-1) + \vec{v}_i(t)$$

La vitesse de chaque particule est mise à jour suivant l'équation suivante:

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + c_1 r_1 [x_{pi}(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [g(t) - x_i(t)]$$

$v_i(t)$  est la vitesse de particule  $i$  à l'instant  $t$  et  $x_i(t)$  est la position de particule  $i$  à l'instant  $t$ , les paramètres  $w$ ,  $c_1$ , et  $c_2$  ( $0 \leq w \leq 1.2$ ,  $0 \leq c_1 \leq 2$ , et  $0 \leq c_2 \leq 2$ ) sont des coefficients constants fixés par l'utilisateur,  $r_1$  et  $r_2$  sont des nombres aléatoires tirés à chaque itération,  $g(t)$  est la meilleure solution trouvée jusqu'à l'instant  $t$  et  $x_{pi}(t)$  est la meilleure solution trouvée par la particule  $i$ .

C'est le vecteur vitesse qui dirige le processus de recherche et reflète la "sociabilité" des particules.

Les variables et paramètres de l'algorithme :

$N$  nombre de particules

$\vec{x}_i(t)$  Position de la particule  $P_i$

$\vec{v}_i$  vitesse de la particule  $P_i$

$pbest_i$  Meilleure fitness obtenue pour la particule  $P_i$

$\vec{x}_{pbest_i}$  Position de la particule  $P_i$  pour la meilleure fitness

$\vec{x}_{gbest_t}$  Position de la particule ayant la meilleure fitness de toutes

$\rho_1, \rho_2$  Valeurs aléatoires positives

Initialisations :

Initialiser aléatoirement la population.

Traitement :

**Répéter**

**Pour i de 1 à N faire**

**Si**  $(F(\vec{x}_i) > pbest_i)$  **Alors**

$$pbest_i \leftarrow F(\vec{x}_i)$$

$$\vec{x}_{pbest_i} \leftarrow \vec{x}_i$$

**Fin Si**

**Si**  $(F(\vec{x}_i) > gbest_i)$  **Alors**

$$gbest_i \leftarrow F(\vec{x}_i)$$

$$\vec{x}_{gbest_i} \leftarrow \vec{x}_i$$

**Fin Si**

**Fin Pour**

**Pour i de 1 à N faire**

$$\vec{v}_i \leftarrow \vec{v}_i + \rho_1(\vec{x}_{pbest_i} - \vec{x}_i) + \rho_2(\vec{x}_{gbest_i} - \vec{x}_i)$$

$$\vec{x}_i \leftarrow \vec{x}_i + \vec{v}_i$$

**Fin Pour**

**Jusqu'à ce que** (le processus converge)

On remarque qu'il y a 7 paramètres qui rentrent en ligne de compte :

1. La dimension du problème.
2. Le nombre de particules.
3. Les valeurs des coefficients
4. La taille du voisinage.
5. La vitesse maximale.
6. L'inertie.
7. Le critère d'arrêt.

### III. 3.1 Les paramètre

#### III.3.1.1 La dimension de problème

C.-à-d. le nombre de paramètre qui va optimiser par cet algorithme.

#### III.3.1.2 Nombre de particules

La quantité de particules allouées à la résolution du problème dépend essentiellement de deux paramètres :

La taille de l'espace de recherche et le rapport entre les capacités de calcul de la machine et le temps maximum de recherche.

Il n'y a pas de règle pour déterminer ce paramètre, faire de nombreux essais permet de se doter de l'expérience nécessaire à l'appréhension de ce paramètre [51].

#### III.3.1.3 Coefficients de confiance

Les variables de confiance pondèrent les tendances de la particule à vouloir suivre son instinct conservation ou son panurgisme. Les variables aléatoires  $p_1$  et  $p_2$  peuvent être définis de la façon suivante :

$$\begin{cases} p_1 = r_1 + c_1 \\ p_2 = r_2 + c_2 \end{cases}$$

Où  $r_1$  et  $r_2$  suivent une loi uniforme sur  $[0..1]$  et  $c_1$  et  $c_2$  sont des constantes positives déterminées de façon empirique et suivant la relation  $c_1 + c_2 \leq 4$  [53].

#### III.3.1.4 La vitesse maximale

La vitesse peut être limitée par une vitesse maximale  $V_{max}$  et une vitesse minimale  $V_{min}$  pour éviter que les particules se déplacent trop rapidement ou trop lentement d'une région à une autre dans l'espace de recherche.

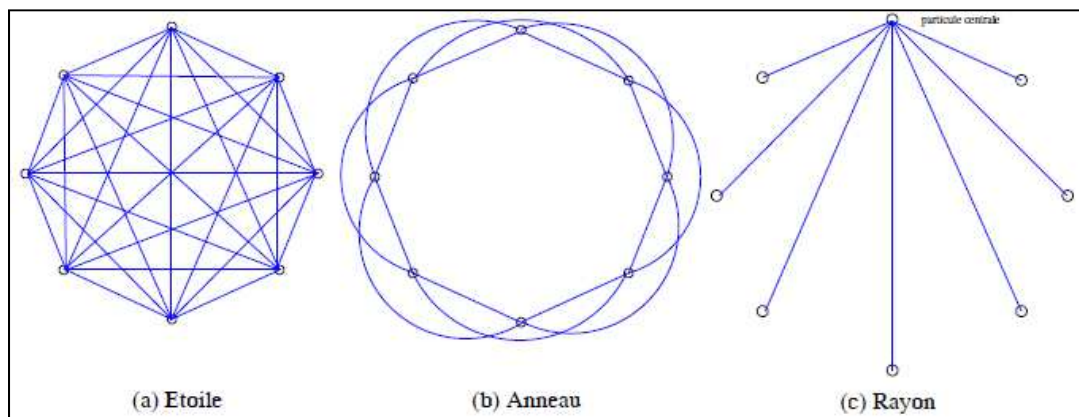
#### III.3.1.5 L'inertie

Un facteur d'inertie  $\Phi$  peut être appliqué à la vitesse Pour contrôler l'influence de celle-ci.

### III.3.1.6 Notation du voisinage

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Les particules à l'intérieur d'un voisinage communiquent entre-elles. En général, pour une nuée d'oiseaux, le voisinage suit trois types de topologies :

- Topologie en étoile (Figure III.6 (a)) : le réseau social est complet, donc une communication complète et une attirance vers la meilleure particule.
- Topologie en anneau (Figure III.6 (b)) : chaque particule communique avec  $n$  voisines immédiates. Chaque particule tend à se déplacer vers la meilleure dans son voisinage local.
- Topologie en rayon (Figure III.6 (c)) : une particule "centrale" est connectée à toutes les autres. Seule cette particule centrale ajuste sa position vers la meilleure, si cela provoque une amélioration l'information est propagée aux autres.



**Figure III.6** : différents types de topologie pour un essaim de particule [50].

### III.3.1.7 Le critère d'arrêt

Le critère d'arrêt diffère suivant le problème d'optimisation posé et les contraintes de l'utilisateur, il est fortement conseillé de doter l'algorithme d'une porte de sortie puisque la convergence vers la solution optimale globale n'est pas garantie dans tous les cas de figure même si les expériences dénotent la grande performance de la méthode [51].

## III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, l'algorithme d'optimisation PSO basé sur la simulation du comportement social des oiseaux présente un fort potentiel d'application pratique, mais le choix de paramètres reste l'un des problèmes de l'optimisation par particules d'essaim, c'est très difficile de trouver des bons paramètres adaptés à la structure du problème.



# Chapitre IV

## Résultats et discussion

## 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 c. -a-d. Une analyse statistique de données en fonction de différents paramètres (la fréquence, la distance, la hauteur des antennes, est affaiblissement). Ils sont robustes et rapides.

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

Il existe plusieurs algorithmes pour optimiser les pertes d'un réseau GSM pour ce travail on optimisera avec l'algorithme PSO par le logiciel Matlab.

## IV.2 Les Données Et L'analyse De L'affaiblissement

Les donnée réel pour ce travail sont present dans la région de Batna. BTS1 couvrant une zone rurale en traversant la route de « *la Igalamamene, Bouzina* » et BTS2 couvrant la zone de « *El Madher*» avec un rayon de 2.5 km suburbain, les spécifications des sites d'émission de ces bases sont présentées dans le tableau IV-1.

**Tableau IV-1:** Spécifications des sites BTS.

| Paramètres                             |                                     | BTS1  | BTS2      |
|--|-------------------------------------|-------|-----------|
| Type de région                         |                                     | Rural | Suburbain |
| Hauteur d'antenne d'émission (m)       |                                     | 25    | 35        |
| Hauteur d'antenne de station mobile(m) |                                     | 1.5   | 1.5       |
| Fréquences<br>opérationnelles<br>(MHz) | Fréquence montante<br>(Uplink)      | 908   | 912,4     |
|  | Fréquence Descendante<br>(Downlink) | 953   | 957,4     |

Les mesures ont été collectées avec drive-test. Il se compose d'un Téléphone Mobile Spécial (Huawei U6100) , une antenne de réception, et un ordinateur portable avec une clé et un logiciel de Drive-Test (Huawei GENEX Probe). Le véhicule a été à l'intérieur de la zone de couverture BTS, tout en enregistrant en continu la puissance du signal reçu. À tous les instants des mesures collectées.

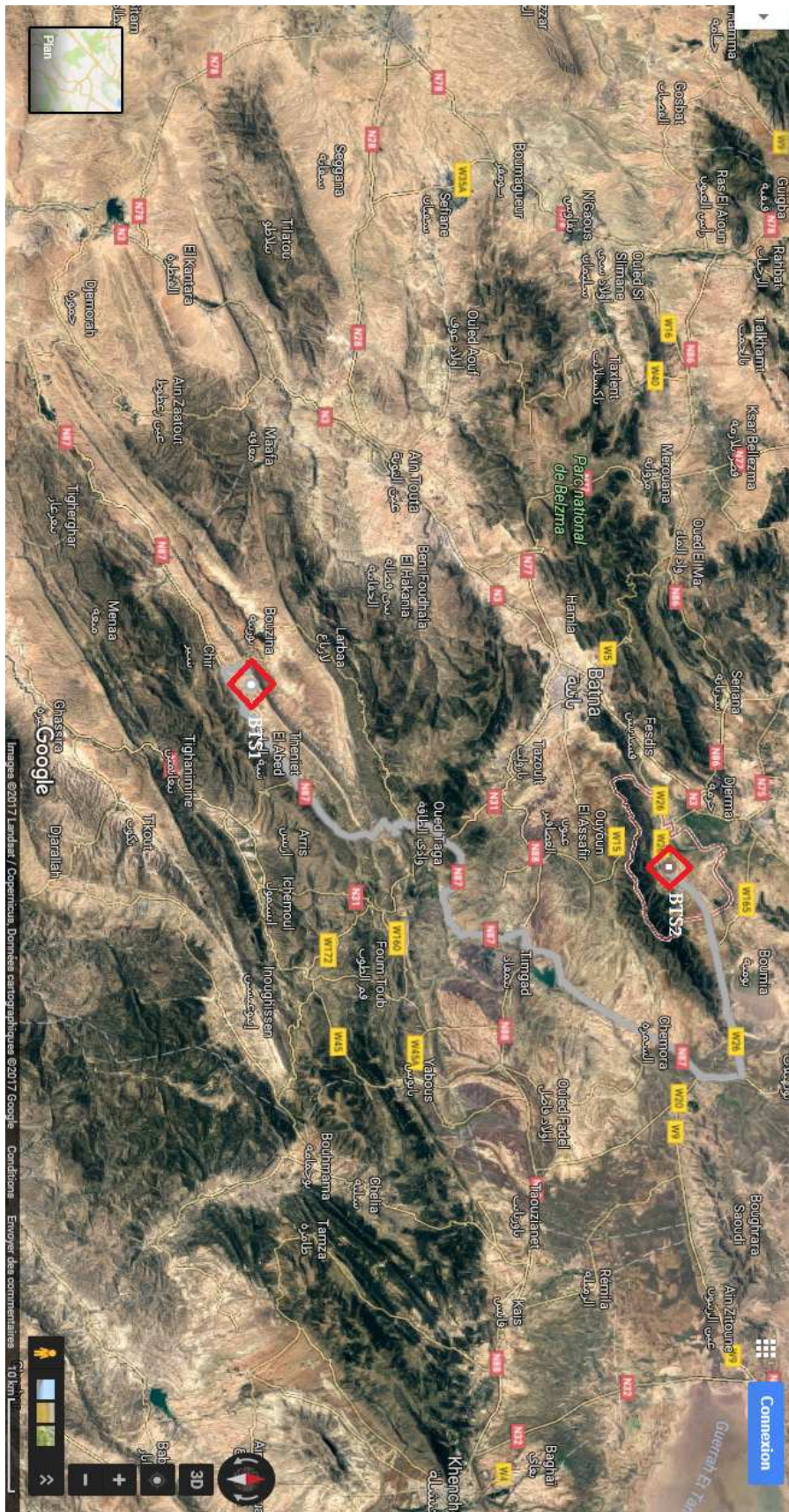


Figure IV.1: Image satellitaire des stations de base à étudiées.

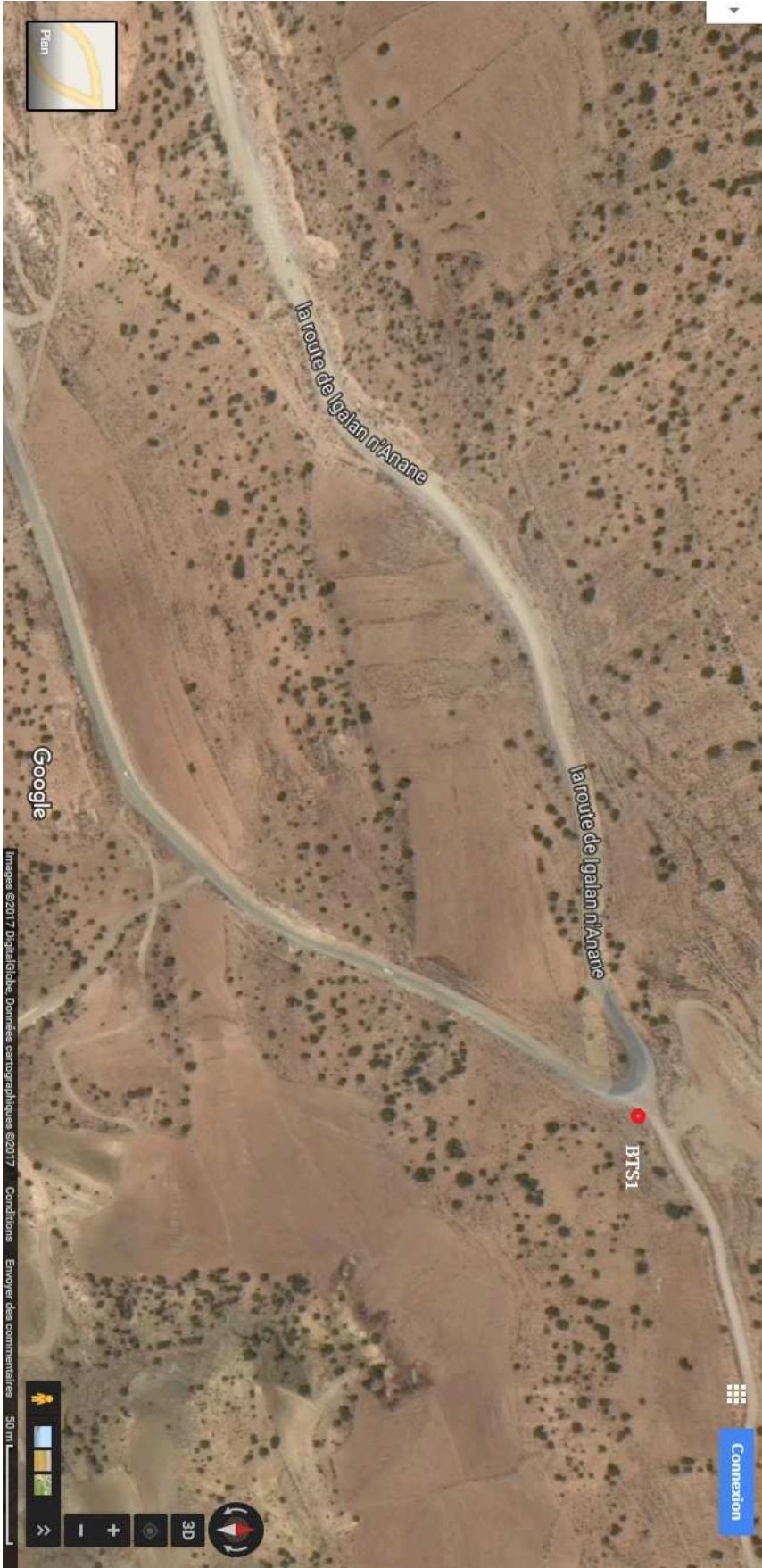


Figure IV.2: Image satellitaire des stations de base 1 «la Igalamamene».



Figure IV.3: Image satellitaire des stations de base 2 « El Madher ».

### IV.3 Logiciel De Simulation

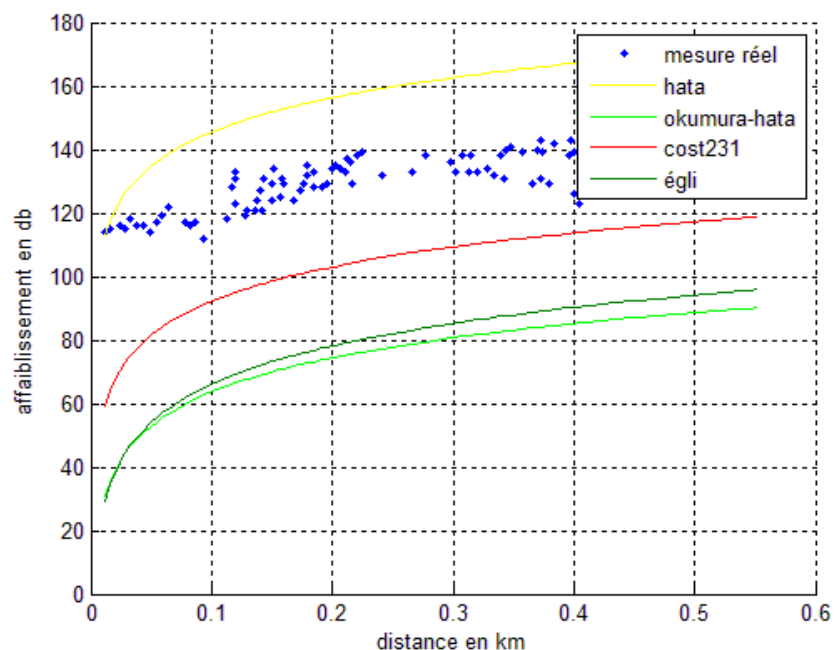
Le logiciel qui utilise pour ce travail le MATLAB, et un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

La mutation contrainte dépend. Les caractéristiques du système exploité sont :

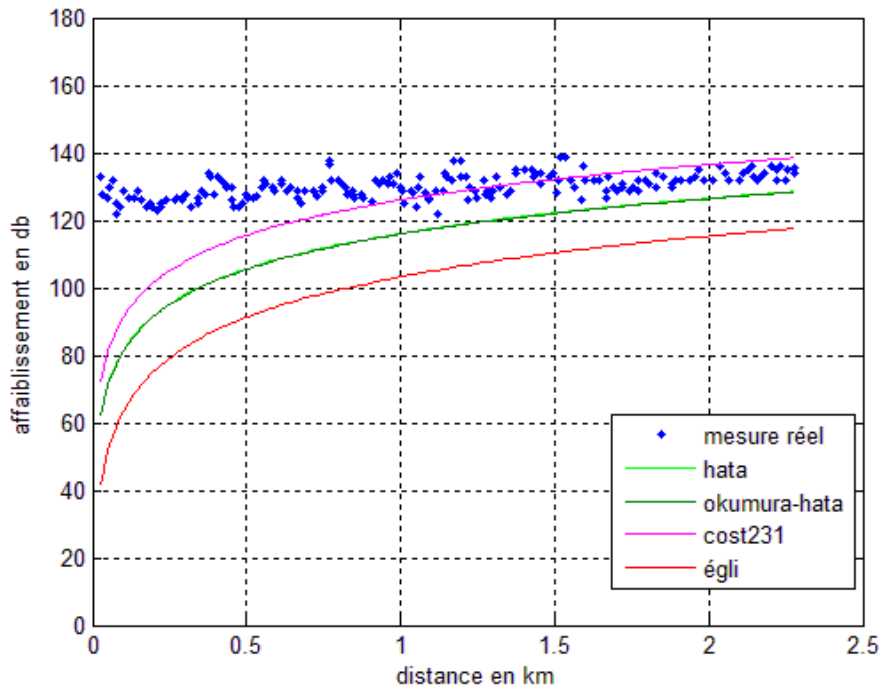
|     |  |
|-----|--|
| CPU | Processeur Intel(R) Core (TM) I3 2310 M. |
| RAM | 4 GO.                                    |
| OS  | Windows 7 Professionnel (32 bit).        |

### IV.4 Résultats de simulation et discussion

On trace le graphe des quatre modèles empiriques Okumura, Hata, Cost 231 et Egli pour la comparaison graphique de ce modèle avec les mesures réelles (BTS1-Rural). et (BTS2-suburbain).



**Figure IV.4:** Comparaison Graphique des modèles empiriques avec les mesures réelles (BTS1-Rural).



**Figure IV.5:** Comparaison Graphique des modèles empiriques avec les mesures réels (BTS2-suburbain).

Le tableau suivant montre le RMSE calculé de chaque modèle utilisé.

**Tableau IV-2:** RMSE des modèles empiriques pour BTS1 et BTS2 .

| les modèles | Hata    | okumura-hata | cost231hata | Egli     |
|-------------|---------|--------------|-------------|----------|
| RMSE (BTS1) | 27.8814 | 55.2993      | 27.1937     | 51.3455  |
| RMSE (BTS2) | 20.9795 | 33.4455      | 14.2348     | 21.13676 |

D’après la Figure et le tableau IV-2 le modèle Cost 231 a le RMSE le plus petit donc en remarque bien que le modèle COST 231 est le plus performant par rapport aux autres modèles pour les deux régions (Rural et Suburbain).

Donc on applique l’algorithme PSO pour adapter et améliorer le modèle COST231.

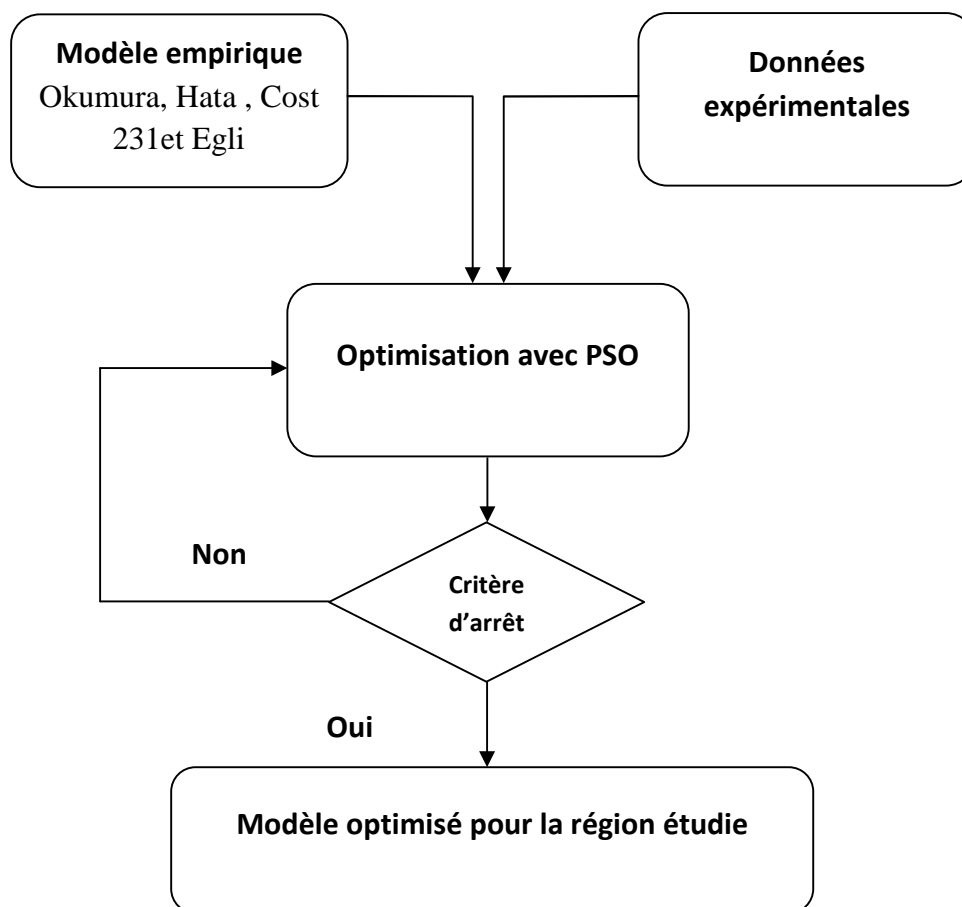
### IV.4.1 Stratégie d'Optimisation

Le modèle COST 231 est choisi pour cette étude, Formulant le problème à résoudre comme une seule équation mathématique a cinq variables ( $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ ) doivent être défini d'une manière à rendre ce modèle adapté avec des mesures réelles sur le terrain :

$$PL = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) + 44.9 \log(d) - 6.55 \log(h_{te}) \log(d) - a(h_{re}) \quad (IV.1)$$

- $K_1 = 46.3$
- $K_2 = 44.9$
- $K_3 = -13.82$
- $K_4 = -6.55$
- $K_5 = 33.9$

Donc on va adapter le PSO pour notre problème comme suit :



**Figure IV.6:** Organigramme du processus d'optimisation.

#### IV.4.1.1 Critère d'arrêt

Critère d'arrêt et L'erreur quadratique moyenne (RMSE) aussi appelé écart quadratique moyen, RMSD ce dernier calcule entre la mesure réelle et le modèle empirique optimisée.

L'erreur quadratique moyenne de prédiction du modèle par rapport à la variable estimée " $X_{esti}$ " est défini comme la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_{obs,i} - X_{esti,i}|^2}{n}} \quad (IV.2)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_{obs,i} - X_{esti,i}| \quad (IV.3)$$

- $X_{obs}$  est la valeur observée.
- $X_{esti}$  est la valeur estimée par le model au moment/lieu  $i$ .
- $N$  indique le nombre d'échantillons de données.

Les valeurs de RMSE peuvent être utilisées pour distinguer les performances du modèle avant et après une période de calibration du modèle, ainsi que pour comparer la performance du modèle individuel à celle d'autres modèles prédictifs [52].

#### IV.5 Résultats d'optimisation par PSO

Les résultats de simulation utilisant les paramètres par défaut d'PSO sont présentés dans les tableaux et figures suivantes.

##### IV.5 .1 Résultats Pour BTS 1

**Tableau IV-3:** les test COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1) .

| COST231-Opt             |    | Test1    | Test2    | Test3    | Test4    | Test5    |
|-------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| nombre de particules    |    | n = 170; | n = 180; | n = 190; | n = 192; | n = 200; |
| Paramètres              | k1 | 10.3460  | 6.2810   | -3.3481  | 2.0767   | 26.1856  |
|                         | k2 | 30.5037  | 42.3947  | 47.8656  | 39.7994  | 36.8625  |
|                         | k3 | -29.8169 | -9.6206  | -3.6642  | -17.7315 | -6.7008  |
|                         | k4 | 1.5123   | 8.7592   | 1.4018   | 19.1584  | 0.4020   |
|                         | k5 | -12.4725 | -9.0744  | -13.5683 | -1.3451  | -13.4783 |
| RMSE                    |    | 4.1444   | 4.1431   | 4.1422   | 4.1420   | 4.1420   |
| le temps d'exécution(s) |    | 0.170350 | 0.218796 | 0.178899 | 0.16625  | 0.177552 |

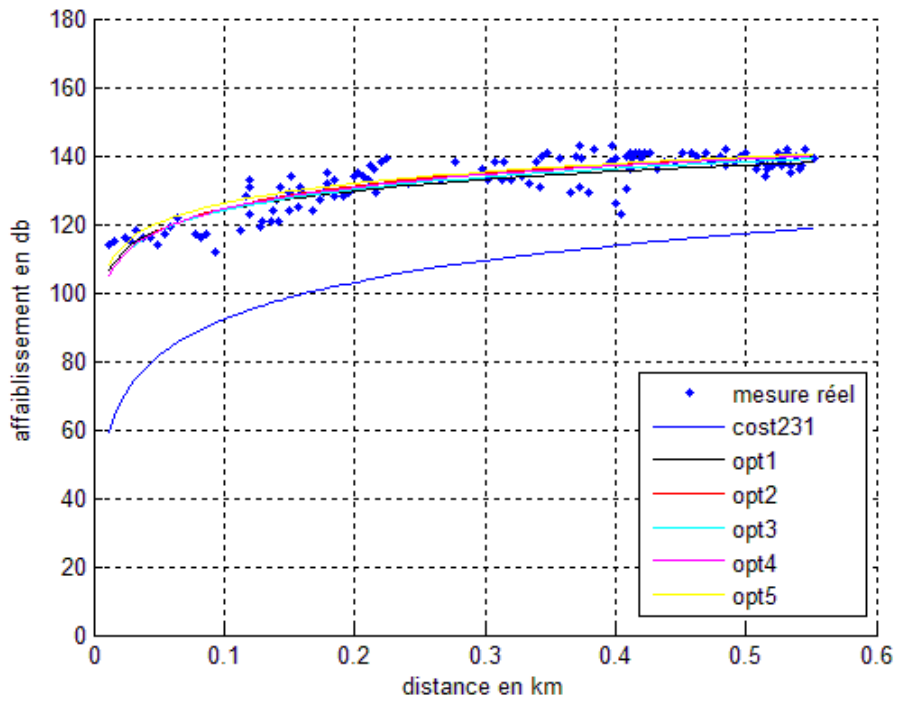


Figure IV.7: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1).

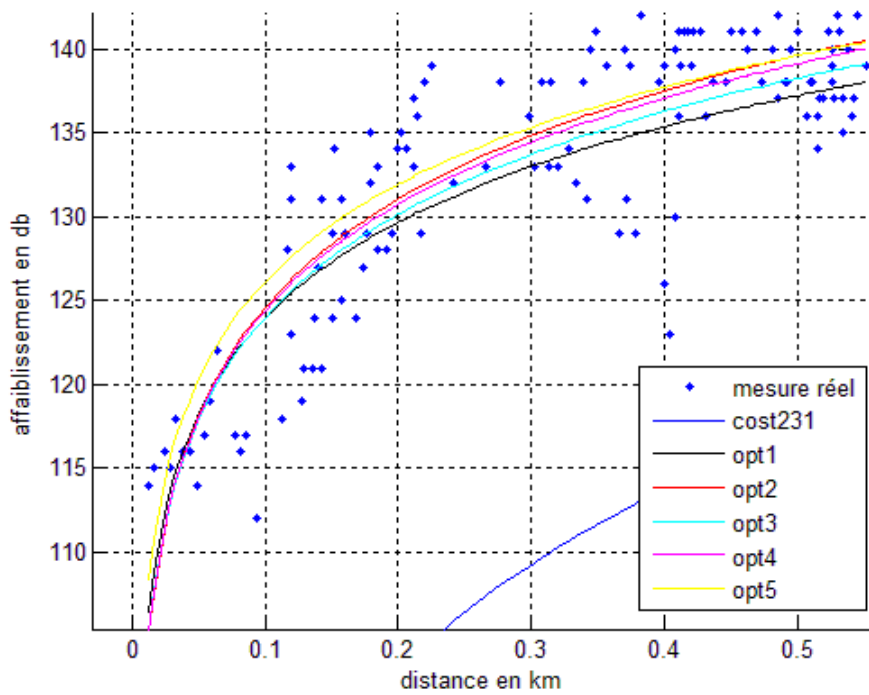


Figure IV.8: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS1) zoomé.

## IV.5.2 Résultats Pour BTS2

Tableau IV-4: les test COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2) .

| COST231-Opt             |    | Test1    | Test2    | Test3    | Test4    | Test5    |
|-------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| nombre de particules    |    | n=170    | n=180    | n=190    | n=192    | n=200    |
| Paramètres              | k1 | 24.9539  | 24.8727  | 15.3465  | 11.6794  | 5.0044   |
|                         | k2 | 31.8354  | 24.8614  | 37.1110  | 29.7082  | 39.7570  |
|                         | k3 | -7.5273  | -20.5267 | -2.6442  | -19.4659 | -4.8382  |
|                         | k4 | 7.4988   | 6.1964   | 0.8461   | -1.8699  | -3.1324  |
|                         | k5 | 1.9068   | 1.2428   | -2.5766  | -3.9387  | -5.1150  |
| RMSE                    |    | 3.0392   | 3.0383   | 3.0382   | 3.0381   | 3.0381   |
| le temps d'exécution(s) |    | 0.175723 | 0.166261 | 0.183690 | 0.178824 | 0.200288 |

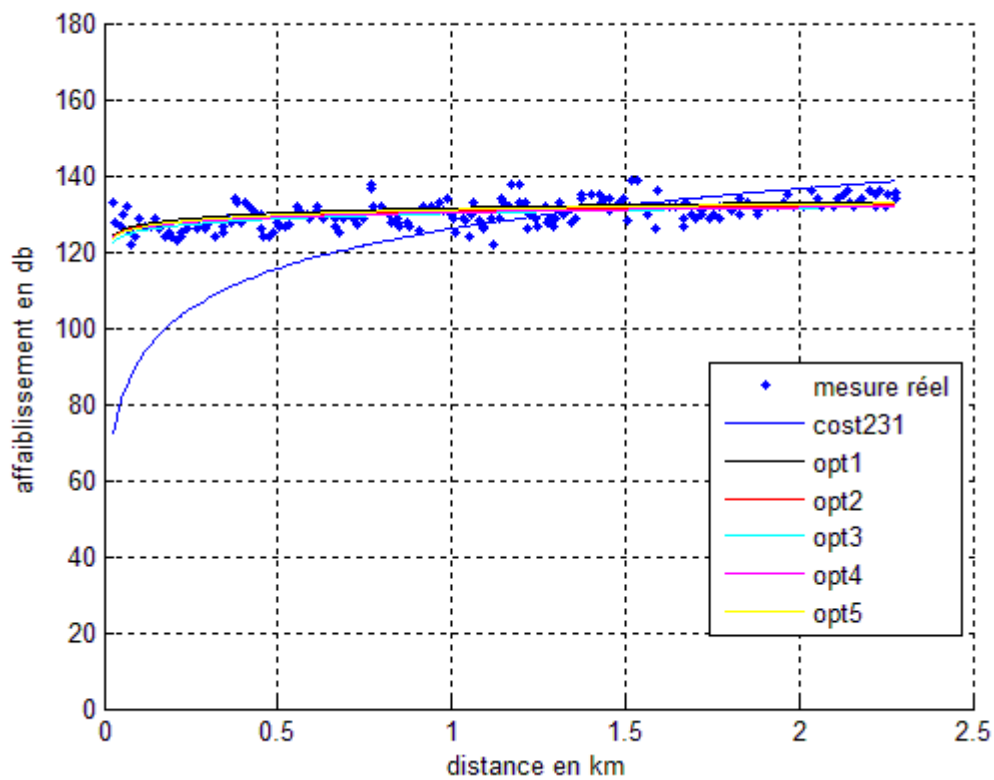
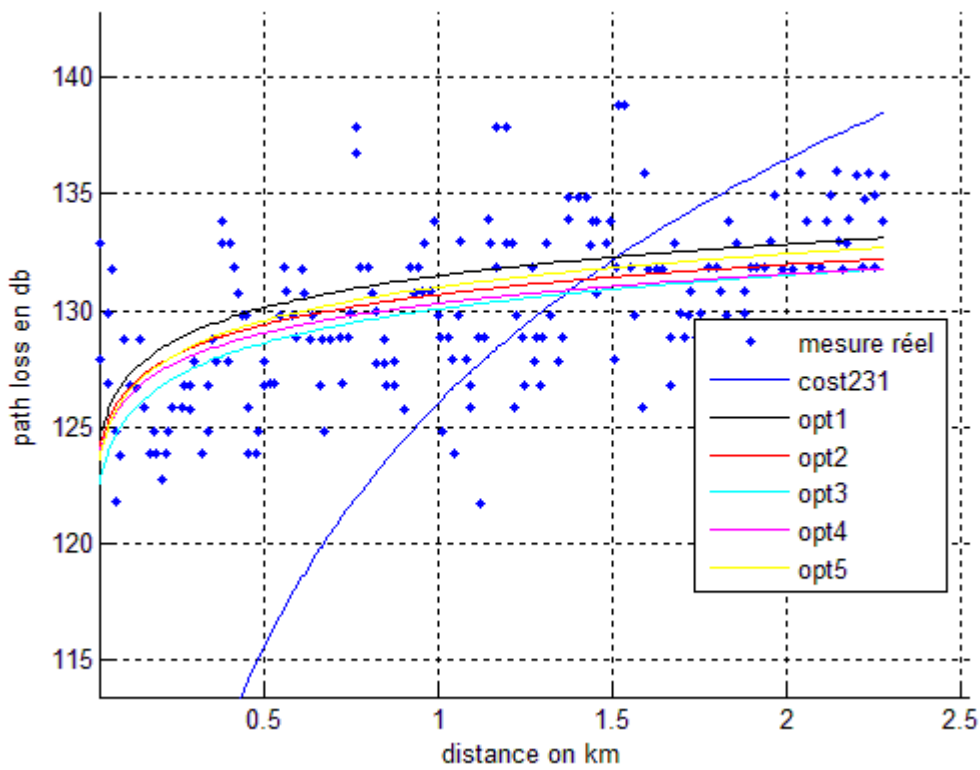


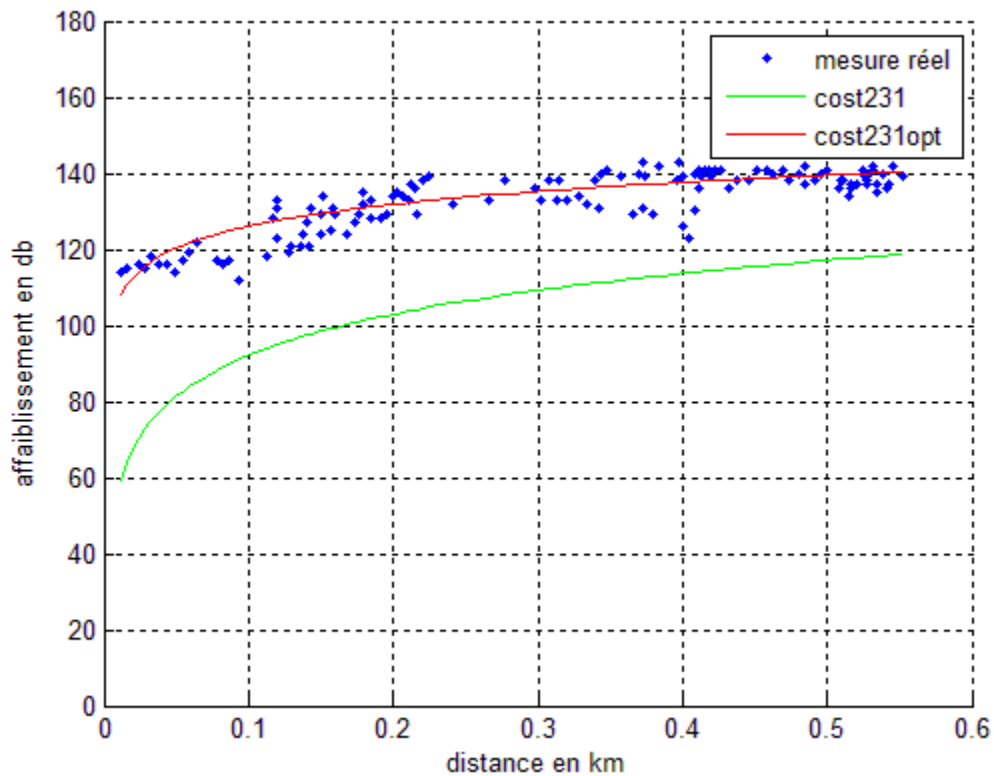
Figure IV.9: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2) .



**Figure IV.10:** Comparaison entre COST231 et COST231-Opt 1,2,3,4,5 (BTS2) zoomé .

Après les résultats on remarque que :

- BTS1 (rural) le modèle COST231-Opt (test n°4) donne des résultats meilleurs que les autres tests du modèle optimisé.
- BTS2 (suburbain) le modèle COST231-Opt (test n°4) donne des résultats meilleurs que l'autre test du modèle optimisé.



**Figure IV.11:** Comparaison entre COST231 et COST231-Opt4 (BTS1) .

#### IV.6 Comparaison avec un autre algorithme (PSO vs AG)

Dans le tableau suivant une comparaison entre nos résultats et celles de [56], montre que notre méthode appliquée (PSO) est plus performante en ce qui concerne le temps de calcul que celle utilisé par [53] (GA). Le RMSE minimal pour les deux algorithmes est le même.

**Tableau IV-5:** comparaison PSO vs AG(BTS1)

| Algorithme             | PSO      | GA       |
|------------------------|----------|----------|
| N                      | 192      | 100      |
| RMSE                   | 4.1420   | 4.1420   |
| temps de excitions (s) | 0.166255 | 8.592212 |

### IV.7 Conclusion

Nous avons appliqué l'algorithme d'optimisation PSO sur un modèle empirique de prédiction d'affaiblissement « COST231 » pour les deux régions rural et suburbain.

Le modèle COST 231 optimisé avec des nouveaux paramètres  $K_1, K_2 \dots K_5$ , donne des meilleurs résultats par rapport au modèle COST 231 non optimisé.

Notre méthode est plus performante que celle utilisée dans les travaux de [53].

A decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and two thin blue lines. One large circle is at the top center, a smaller one is below it, and another large one is at the bottom left. Two thin lines cross the page diagonally, one from the top right to the bottom left, and another from the top left to the bottom right.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressées au problème d'affaiblissement dans une interface UM (user mobile) dans le réseau cellulaire de deuxième génération.

A travers 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, okumara-hata et égli ) dans les deux milieux rural et suburbain. Nous avons trouvé que nos résultats de simulation sont meilleurs que celles obtenus en utilisant les algorithmes génétiques [58] en terme de temps de calcul.

Comme perspectives, on peut utiliser d'autres modèles hybrides. en Combinant les méthodes de prédictions et d'optimisations comme ANFIS.

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

## Références

- [1] H.Sadika, «Simulation et Optimisation D'un Réseau GSM en utilisant la Technologie OFDM», mémoire de magister, université de Ferhat Abbas – Sétif, Alger, 2010.
- [2] L.Joshi, « *Télécommunication appliquée à l'opérateur Vodacom Congo* », mémoire de master, Université libre des pays des grands lacs RDC, congo, 2013.
- [3] H. Bamby, « *Etude de la qualité de service dans les réseaux mobiles GSM* », mémoire de fin d'étude, Institut supérieur d'informatique, 2012.
- [4] H. Sizun , « *Propagation des ondes radioélectriques des réseaux terrestres* » , techniques de l'ingénieur, n ° de volume 107 -111 , mai 2008 ,pp 1-5
- [5] H. Mokhtari, " *Modèles de propagation pour l'ingénierie radio cellulaire* " , conférences-journée (Draft), 5 mais 2010, France.
- [6] A. Gherboudj, « *méthode de résolution de problèmes difficiles académiques* » , Thèse de docteur ,université de Constantine 2, Algérie,2013/2014.
- [7] M. Ngouabi , « *Rôle de la stratégie dans les entreprise de téléphonie mobile au Congo Brazzaville* », Mémoire de master,2007.
- [8] M. Benjamin, « *la téléphonie mobile, technologies, Acteurs et Usage* » , mémoire de mestre , faculté de droit et de science politique, Marseille, 2006.
- [9] S. Talab et I. Boudina, « *développement d'un outil d'optimisation pour l'allocation des fréquences dans le réseau GSM* », mémoire de mestre, université de Tlemcen, Alger, 2013.
- [10] N. Melouki, « *Etude et estimation des pertes dans réseau GSM* », mémoire de mestre, université de M'sila, 2014.
- [11] A. Hatem, « *Réseaux GSM* », IUT, France, 2010, pp. 34-40.
- [12] K. El-Khazen, « *Mobile Communications* », SFR, France, 2016, pp.4-10.
- [13] P. Brisson, P. Kropf, « *GSM : Global System for Mobile Communications* », IFT-6275, Canada, 2008, pp 4-13.

- [14] N. Yimbere, « *Implémentations des nouvelles méthodes dans le système radio GSM : cas du réseau GLO MOBILE BENIN* », mémoire de mestre, université Africaine, Afrique, 2009.
- [15] D. Cédric, V. Marc, « *Principe de base du fonctionnement du réseau GSM* », Belgique, 2004.
- [16] C. Déchaux, R. Scheller, « *What are GSM and DCS* », Electrical Communication, 2nd Quarter, 1993.
- [17] E. Mayemba, E. Kinshasa, « *Etude portant sur la transmission des signaux multimédia dans un réseau de téléphonie mobile de la 3ème génération Â« cas de routage de données et de la voix dans le réseau UMTS* », mémoire fin d'étude, école supérieure des métiers d'informatique et de commerce, Congo, 2011
- [18] H.OmarEl-hak, « *UMTS* », Mémoire de fin d'étude, université Sidi bel abbés, Alger, 2006.
- [19] B. Kalamba, « *Interconnexion entre deux réseaux cellulaires des normes GSM par faisceau hertziens cas de CCT et Vodacom* », mémoire fin d'étude, institut supérieur de techniques appliquées, Congo, 2011.
- [20] P. Chambreuil, « *Evaluation multicritère des réseaux cellulaires radio-mobiles* », Rapport Interne, FTR&D, novembre 2000.
- [21] C. Turck, C. Weber, D.Thôme, « *Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radiomobiles : L'apport de l'Analyse Spatiale et des Systèmes d'Information Géographique. Application en Milieu Urbain* », In Actes de la Conférence « Les quatrièmes journées d'études sur la Propagation électromagnétique dans l'atmosphère du décimétrique à l'angström », Rennes, France, 13-15 mars 2002, pp.159-166.
- [22] P. Chambreuil, « *Evaluation multicritère des réseaux cellulaires radio-mobiles* », Rapport Interne, FTR&D, novembre 2000.

- [23] A. K. Noum, «*Installation et maintenance d'une BTS* », mémoire fin d'étude, université Sénégal, 2008.
- [24] X. Hagrang, P. Godlewski, S. Tabbane, « *Réseau et télécommunication* », 5<sup>e</sup> édition revue et augmenté, pp23 – 36.
- [25] M. Hakim, « *Modèles et techniques d'optimisation dynamique pour les réseaux radiomobiles* », Thèse de doctorat, N° d'ordre 590 Année 2003.
- [26] S. R. Saunders, «*Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*». John Wiley & Sons Ltd, 1999.
- [27] M. Germain, « *les réseaux de téléphonie mobile* », Un livre blanc de Forum ATENA, France, 2014, pp.14-21.
- [28] W. Pirard, « *principe de fonctionnement des réseaux de téléphonie mobile GSM* », ISSeP, France, octobre 2003, pp.14-18.
- [29] M. Omri, « *Développement d'un outil d'aide à la planification du réseau cœur GSM* », rapport de projet de fin d'étude, université virtuelle de Tunis, Tunis, 2011.
- [30] B. Fateh, « *Contribution à l'optimisation des télécommunications dans les réseaux mobiles* », Mémoire de Magister, Faculté de Technologie, Université de Batna, Avril 2011.
- [31] Mendiburu, « *fading ou évanouissement, radiocommunication* », Encyclopædia Universalis France , C.N.R.S, consulté le 29 mai 2017.
- [32] M. Chaker, « *Recherche sur la Résolution des Problèmes Complexes d'Affectation de Fréquences Basses Bandes pour les Opérateurs de la Téléphonie Mobile* », Thèse doctorat, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Mentouri de Constantine, Mai 2011.
- [33] L. Castanet, P. Lassudrie, «*Propagation des ondes radioélectriques à travers l'atmosphère* », techniques de l'ingénieur , n ° de volume 69 -71 , 10 mai 2008, pp 1-3
- [34] B. Démoulin, « *Quelques aspects de la propagation des ondes radioélectriques* », Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement [En ligne], 12 | 2012, n° de volume 30-45 , consulté le 27 janvier 2017. URL : <http://tem.revues.org/1447>

- [35] 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
- [36] D. Imen, « *Planification radio d'une solution de couverture indoor* », Rapport de projet de fin d'étude, Tunis, 2004/2005.
- [37] D. Imen, « *Planification radio d'une solution de couverture indoor* », Rapport de projet de fin d'étude, Tunis, 2004/2005.
- [38] L.Vogler, « *An attenuationfunction for multiple knife-edge diffraction*», Radio-science, Vol. 17, n°6, 1982, pp. 1541-1546.
- [39] 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.
- [40] H. Besbes , S. DALY, « *Outil de planification et de dimensionnement dans l'E-UTRAN LTE-Advanced* », de projet de fin d'étude, Tunis, 2011/2012 .
- [41] COST 231,«*Evolution of land mobile radio (includingpersonal) communications*», Final report Information, Technologies and Sciences, European Commission.1999
- [42] J. J. Egli, «*Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain*», Proc. IRE, 45, No. 10, 1957, pp. 1383–1391.
- [43] J. Bach Andersen, «*Issues and challenges of propagation studies for mobile networks*», in Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio ConferencePIMRC'94, The Hague, the Netherlands, September 1994,pp.1285-1291.
- [44] Ch.Turck ,«*Prédictionde 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
- [45] M. Clerc, P.Siarry , «*une nouvelle métaheuristique pour l'optimisation difficile : la méthode des essais particuliers* », ,université de paris, ° de volume 3 -7 , 17 /09/2004.
- [46] B.Yassine , « *algorithme d'optimisation par essaim de particules(oep) : application à l'amélioration des moteursel-azazga, algérie* »,université de m'sila ,Algérie, 2011/2012.

- [47] M.Clerc, J.Kennedy, « *The Particle Swarm. Explosion, stability, and convergence in a multi dimensional complexspace* », IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, p. 5873, 2002.
- [48] A.Toumi, Ab.Taleb-Ahmed, Kh.Benmahammed, N.Rechid , « *Optimisation par essaim de particules : Application à la restauration supervisée d'image* », LIRIS-CNRS ,2005 ,pp1-8.
- [49] B. Allal El Moubarek, « *Optimisation par la méthode des essais particuliers D'une fonction trigonométrique* » Ecole Normale Supérieurs d'Enseignement Technique - ORAN , mémoire magister 1ere , 2008-2009.
- [50] G. Calas, « *Optimisation par essaim particulaire* », revue, EPITA, 2009, pp1-3.
- [51] M. Bombrun, A. Sene, « *L'optimisation par essaim particulaire pour des problèmes d'ordonnement* », Institut Supérieur d'Informatique de Modélisation et de leurs Applications ,France, Rapport d'ingénieur, 2011/2012.
- [52] V. Erceg, L. J. Greenstein, et al., «*An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments* », IEEE Journal on Selected Areas of Communications, vol. 17, July 1999, pp. 1205–1211.
- [53] M.Garah, L.Djouane, H.Oudira, N.Hamdiken , « *PathLossModelsOptimization for Mobile Communication in Différent Areas* », Indonésien Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Volume . 3, July 2016,pp 126-135 .

## Résumé

Les modèles de prédiction d'affaiblissement sont nécessaires dans les systèmes de radio mobiles pour une bonne planification, affectation des fréquences, estimation des interférences et les paramètres de cellules qui sont à la base pour le processus de planification du réseau. Les modèles empiriques sont les modèles les plus ajustables qui peuvent être adaptés à différents types d'environnements. Dans ce mémoire, le modèle «COST231» a été réglé en l'optimisation par essaim de particules pour l'ajuster avec des données mesurées dans un système GSM 900. Par conséquent, les paramètres de modèle Cost231 sont obtenus pour les zones ciblées.

La performance du modèle « Cost231 ajusté» est ensuite comparée aux trois modèles de perte de trajet empiriques les plus largement utilisés: « Hata », « okumora » et « Egli ». Les critères de performance sélectionnés pour la comparaison des différents modèles empiriques de perte de trajet sont : *l'erreur quadratique moyenne (RMSE)* . L'erreur quadratique moyenne et les autres critères de test entre les données réelles et prédites sont calculés pour les différents modèles. Il s'est avéré que le modèle « COST 231 ajusté » surpasse les autres modèles empiriques étudiés dans ce mémoire.