

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

FACULE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : TELECOMMUNICATION

OPTION : SYSTEMES DES TELECOMMUNICATIONS

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

Par: TOUATIT Badreddine et BENZAOUI Ismail

Intitulé

**Etude comparative pour l'optimisation d'un modèle de
propagation approprié pour la communication mobile**

Soutenu devant le jury composé de :

| | | |
|----------|----------------------|-----------|
| | Université de M'sila | Président |
| M. Garah | Université de M'sila | Encadreur |
| | Université de M'sila | Examineur |

Année universitaire : 2019 /2020

Remerciement

D'abord nous remercions Allah Tout-Puissant qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

*Deuxièmement, nous remercions particulièrement nos parents nous remercions aussi à mon encadreur **Mr GARAH MESSAOUD** Pour nous présenter ce sujet et dirigé notre travail.*

Nous exprimons notre gratitude et nous remercions aux membres de jury pour bien vouloir accepter de présider et examiner ce travail.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour Leurs soutiens moraux ou matériels, dans la réalisation de ce projet.

Merci à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère ;

A mon très cher père ;

A mes frères ;

A mes sœurs ;

A tous mes amis ;

ISMAIL

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À ma mère.

À mon père.

À tous mes frères.

À tous ceux qui m'ont aidé à terminer ce projet.

*A tous mes enseignants et tous mes amis qui n'ont pas cessé de
m'encourager afin de réaliser parfaitement ce projet.*

A toute personne qui m'a aidée à franchir un horizon dans ma vie...

Badreddine

Abstract

Propagation models are essential tools for planning and optimizing radio in mobile networks. This paper presents a comparative study of three different optimization methods for the empirical model chosen to select the method that offers good performance. The evaluation of the root mean square error (RMSE) between the values predicted by the optimized model and the values actually observed in the environment for which it is designed.

Keywords: Propagation model, the root mean square error, particle swarm optimization algorithms

Résumé

Les modèles de propagation sont des outils essentiels pour la planification et l'optimisation radio dans les réseaux mobiles. Ce mémoire présente une étude comparative de trois méthodes d'optimisation différentes pour le modèle empirique choisi dans le but de choisir la méthode qui offre une bonne performance. L'évaluation de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) entre les valeurs prédites par le modèle optimisé et les valeurs réellement observées dans l'environnement qui est en cours de modélisation a été considérée.

Mots-clés: Modèle de propagation, racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, algorithmes d'optimisation par essaim de particules.

ملخص

تعد نماذج الانتشار أدوات أساسية لتخطيط الراديو و تحسينه في شبكات المحمول. تقدم هذه الرسالة دراسة مقارنة لثلاث طرق مختلفة لتحسين النموذج التجريبي الذي تم اختياره من اجل اختيار الطريقة التي تقدم أداء جيداً. تقييم جذر متوسط الخطأ التربيعي **RMSE** بين القيم التي تنبأ بها النموذج الأمثل و القيم التي لوحظت بالفعل في البيئة التي صمم من أجلها. **الكلمات الرئيسية:** نموذج الانتشار، الجذر التربيعي للجذر يعني الخطأ التربيعي، خوارزميات تحسين سرب الجسيمات.

Table des matières

| | |
|----------------------------|----|
| Remerciement..... | a |
| Dédicace..... | b |
| Dédicace..... | c |
| Abstract..... | d |
| Résumé..... | d |
| Liste des figures..... | iv |
| Liste des tableaux..... | v |
| Introduction générale..... | 2 |

CHAPITRE I : Généralités Sur Le réseau GSM

| | |
|---|----|
| I.1. Introduction..... | 5 |
| I.2. La technologie GSM..... | 6 |
| I.3. Architecture d'un réseau GSM..... | 8 |
| I.3.1. Le sous-système radio : BSS..... | 9 |
| I.3.2. Le sous-système réseau : NSS..... | 9 |
| I.3.3. Le sous-système d'exploitation OSS..... | 9 |
| I.3.4. La station mobile (MS)..... | 10 |
| I.4. Le concept cellulaire..... | 10 |
| I.4.1. Les différents types de signaux échangés en GSM..... | 12 |
| I.4.2. Réutilisation Des Fréquences..... | 14 |
| I.4.3. Hand-over..... | 15 |
| I.4.4. La modulation utilise dans le GSM..... | 16 |
| I.5. Conclusion..... | 17 |

CHAPITRE II : Les modèles de propagation dans un réseau GSM

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction..... | 19 |
| II.2. La définition des modèles de propagation..... | 20 |
| II.2.1. Notion de Réseau Cellulaire..... | 20 |
| II.2.2. Les Types de modèles de propagation..... | 21 |
| II.2.2.1. Les modèles théoriques, déterministes..... | 22 |
| II.2.2.2. Les modèles empiriques ou statistiques..... | 23 |
| II.2.2.3. Les modèles semi-empiriques..... | 24 |
| II.3. Les modèles micro cellules..... | 25 |
| II.4. Les modèles pour les grandes cellules (Macro-Cellules)..... | 25 |
| II.4.1. Modèle de Hata..... | 26 |
| II.4.2. Modèle d'Okumara-Hata..... | 26 |
| II.4.3. Modèle de COST231-Hata..... | 28 |
| II.4.4. Modèle d'Elgi..... | 28 |
| II.4.5. Modèle de Stanford University Interim (SUI)..... | 29 |
| II.5. Conclusion | 31 |

CHAPITRE III : Les méthodes d'optimisation proposées

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction..... | 33 |
| III.2. Algorithme d'optimisation..... | 34 |
| III.2.1. Algorithme de colonie d'abeilles artificielles..... | 34 |
| III.2.2. Algorithme d'optimisation des essaims de particules..... | 36 |
| III.2.3. Algorithme d'optimisation des mauvaises herbes envahissante..... | 38 |
| III.3. Affaiblissement..... | 40 |
| III.4. Conclusion..... | 41 |

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| IV.1. Introduction..... | 43 |
| IV.2. Procédure de mesure et méthode d'analyse..... | 43 |
| IV.3. Résultats et discussion..... | 45 |
| IV.3.1. Comparaison avec les modèles de prédiction..... | 45 |
| IV.4. Processus d'optimisation..... | 47 |
| IV.4.1. Résultats d'optimisation par PSO..... | 48 |
| IV.4.2. Résultats d'optimisation par ABC..... | 50 |
| IV.4.3. Résultats d'optimisation par IWO..... | 52 |
| IV.5. Conclusion..... | 55 |
| Conclusion Générale..... | 57 |

CHAPITRE I : Généralités Sur Le réseau GSM

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : Architecture d'un réseau GSM..... | 8 |
| Figure I.2 : Forme hexagonale d'une cellule..... | 11 |
| Figure I.3 : Concepts cellulaires : (a) pavage régulier, (b) couverture réel..... | 11 |
| Figure I.4 : Cellules radio et principes de réutilisation des fréquences..... | 14 |
| Figure I.5 : Zone de hand-over entre deux cellules..... | 15 |
| Figure I.6 : Schéma bloc de modulateur GMSK..... | 16 |

CHAPITRE II : Les modèles de propagation dans un réseau GSM

| | |
|---|----|
| Figure II.1 : Le Multi échelle : les cellules du réseau en nid d'abeille..... | 20 |
| Figure II.2 : Les différentes échelles du réseau radio-mobile..... | 21 |
| Figure II.3 : Plan de travail des modèles empiriques..... | 23 |

CHAPITRE III : Les méthodes d'optimisation dans un réseau GSM

| | |
|---|----|
| Figure III.1: Organigramme du modèle de base de l'algorithme ABC..... | 35 |
| Figure III.2: Organigramme du modèle de base de l'algorithme PSO..... | 37 |
| Figure III.3: Organigramme du modèle de base de l'algorithme IWO..... | 39 |

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| Figure IV.1: Comparaison entre l'affaiblissement prévue et mesurée pour BTS1..... | 45 |
| Figure IV.1: Comparaison entre l'affaiblissement prévue et mesurée pour BTS2..... | 46 |
| Figure IV.3: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec PSO (suburbain)..... | 48 |
| Figure IV.4: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec PSO (rural)..... | 48 |
| Figure IV.5: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec ABC (suburbain)..... | 50 |
| Figure IV.6: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec ABC (rural)..... | 50 |
| Figure IV.7: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec IWO (suburbain)..... | 52 |
| Figure IV.8: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec IWO (rural)..... | 52 |
| Figure IV.9: Comparaison entre COST-231 et modèles optimisés (BTS1)..... | 54 |
| Figure IV.10: Comparaison entre COST-231 et modèles optimisés (BTS2)..... | 54 |

CHAPITRE I : Généralités Sur Le réseau GSM

Tableau I.1 : Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800.....7

Tableau I.2 : Les différentes classes de signaux échangés.....12

CHAPITRE II : Les modèles de propagation dans un réseau GSM

Tableau II.1 : Les conditions de validité de modèle d'Okumara-Hata.....27

Tableau II.2 : Les paramètres du modèle SUI dans différents terrains.....29

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

Tableau IV.1. Spécifications des sites BTS.....44

Tableau IV.2. Comparaison des performances entre les modèles utilisés selon les critères d'essai (BTS1).....51

Tableau IV.3. Comparaison des performances entre les modèles utilisés selon les critères d'essai (BTS2).....52

Tableau IV.4. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (suburbain)..54

Tableau IV.5. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (rural).....54

Tableau IV.6. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (suburbain)..56

Tableau IV.7. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (rural).....56

Tableau IV.8. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (suburbain)..58

Tableau IV.9. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (rural).....58

Tableau IV.10. Comparaison des performances entre les modèles mesurés et ajustés selon les critères d'essai (RMSE).....60

Introduction Générale

Introduction générale

Le domaine de la télécommunication a connu ces 20 dernières années des évolutions considérables dans le monde en générale et dans les pays en voie de développement en particulier. Il est indéniable que cette évolution, passe par les systèmes de communication sans fils (basés essentiellement sur la transmission radio) qui, se démarquent de plus en plus des autres systèmes de communication à travers les diverses recherches et investissements menés par les différents laboratoires et organismes spécialisés dans le domaine, qui poussent de plus en plus leurs recherches afin de développer des technologies encore plus innovantes dans ce secteur depuis la fin des années 1980. Avec la multiplication des dispositifs mobiles (téléphones portables, tablettes, PDA, Smartphones, et bien d'autres) à travers le monde, les réseaux mobiles ont vu leur nombre d'abonnés et leurs revenus se multiplier de façon considérable depuis début des années 1990 [1].

Afin d'offrir un service de téléphonie radio-mobile de bonne qualité à leur abonnés, les opérateurs de téléphonie mobile effectuent des études techniques sur ces liaisons prenant en compte les différents affaiblissements (affaiblissement en espace libre, affaiblissement en excès qui regroupe l'ensemble des affaiblissements supplémentaires dus aux différents effets de l'environnement : hydrométéores, bâtiments, végétation, etc.) et les différents renforcements du signal entre l'émetteur et le récepteur (gains d'antennes, focalisation, etc.).

Ainsi que 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 optimiser le système (les relais de base, les antennes, etc.) et le réseau (la couverture du territoire, l'implantation des antennes sur le terrain).

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 une zone géographique donnée.

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 [2].

Face à l'augmentation très importante du trafic radio-mobile, les opérateurs nécessitent d'avoir une modélisation de plus en plus précise du canal de propagation dans des conditions d'environnement toujours plus diverses. Cette modélisation permet de dimensionner au mieux les interfaces radio en termes de qualité, d'optimiser les réseaux lors de leur déploiement (détermination des zones de couverture « choix des sites, allocation des fréquences, définition des puissances, gains d'antenne, etc. » et de déterminer les brouillages éventuels). Historiquement plusieurs types de modèles de prédiction ont été proposés, ces modèles peuvent être classés en trois catégories : on distingue les modèles déterministes, semi-empiriques et empiriques [2].

Dans le cadre de ce projet, nous intéressons aux ces derniers modèles, c'est pour cela on utilise les algorithmes car ce sont des méthodes non- déterministes. Pour cette exploration nous avons soumis à un programme qui utilise des algorithmes pour l'optimisation de ces modèles empiriques et les rendre plus approprié à la zone désirée de couverture (plus précis à la prédire des affaiblissements pour mieux les adapter sur la région à exploitée). avec comme objectif de trouver le minimum global d'une fonction coût a le but de test et d'évaluation de toutes les paramètres entrent en jeu dans le cadre de déterminer l'unes qui nous donnent un prédiction plus précis, adaptative et robuste d'affaiblissements à base des données réels mesurées par un technique de mesure appelé « Deep learning » .

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres suivi d'une conclusion générale. Le premier chapitre se focalise sur un rappel des réseaux de télécommunication GSM.

Le deuxième chapitre porte sur l'analyse des différents modèles actuellement utilisées en ingénierie radio-mobile, pour la prédiction des affaiblissements dans le réseau GSM.

Le troisième chapitre propose les algorithmes PSO, IWO et ABC comme des outils d'optimisation, décrivant tout ce qu'englobe l'utilisation de telles techniques.

Dans le dernier chapitre, les résultats de simulation ont été présentés d'une manière simple à comprendre indiquent la performance de modèle optimisé. Ce dernier est basé sur des paramètres d'ajustement qui seront optimisés par les algorithmes décrit auparavant.

Une conclusion synthétise les résultats obtenus et donne un aperçu de perspectives qui peuvent être développées pour mieux comprendre ce sujet.

Chapitre 01

Généralités Sur Le Réseau GSM

I.1. Introduction :

Les éléments principaux de ce système sont les BSS (sous-système de station de base), (station de base de transmission) et le BSC (contrôleurs de station de base) ; et le NSS (sous-système de commutation de réseau), dans lequel il y a le MSC (centre de commutation mobile) ; VLR (registre d'endroit de visiteur) ; HLR (registre d'endroit maison) etc... (Voir figure I.1). Ce réseau est capable de fournir tous les services de base tels que les services de la parole et de données jusqu'à 9.6 Kbps, fax, ...etc.

Le réseau GSM a également une prolongation aux réseaux de téléphonie fixe [3]. Le prochain avancement dans le système GSM était l'addition de deux plates-formes, appelées respectivement le système de messagerie audio (VMS) et le centre de service messagerie courte (SMSC).

Après viendra le GPRS et le EDGE (2.5 G) pour satisfaire l'augmentation du trafic des données. Dans ce chapitre le concept cellulaire, l'architecture générale et toutes c'est qu'englobe les notions importantes d'un réseau GSM ainsi que les problèmes qui confronte ce dernier au niveau du déploiement et planification des infrastructures assurent un bon rapport coût/qualité ont été explorés.

I.2. La technologie GSM :

La norme GSM prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 MHz :

- la bande de fréquence 890 - 915 MHz pour les communications montantes
(du mobile vers la station de base)
- la bande de fréquence 935 - 960 MHz pour les communications descendantes
(de la station de base vers le mobile)

Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication à une largeur de bande de 200 kHz, cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre les différents opérateurs. Mais, le nombre d'utilisateurs augmentant, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 MHz. On a donc porté la technologie GSM900 MHz vers une bande ouverte à plus haute fréquence. C'est le système DCS-1800 (Digital Communication System) dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service. Les communications montantes se faisant alors entre 1710 et 1785 MHz et les communications descendantes entre 1805 et 1880 MHz.

Connaissant les différents canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel, (appelé Frequency Division Multiple Access ou FDMA), en attribuant un certain nombre de fréquences porteuses par station de base. Un opérateur ne dédie pas pour autant une bande de fréquences par utilisateur, car cela conduirait à un gaspillage de ressources radio étant donné qu'un utilisateur émet par intermittence. De plus, avec un tel système, si une source parasite émet un bruit à une fréquence bien déterminée, le signal qui se trouve dans la bande de fréquence contenant le parasite sera perturbé.

Pour résoudre ces problèmes, on combine le multiplexage en fréquence à un multiplexage temporel (appelé Time Division Multiple Access ou TDMA) consistant à diviser chaque canal de communication en trames de 8 intervalles de temps (dans le cas du GSM).

Pour être complet, signalons qu'il existe encore une autre technique de multiplexage (appelé Code Division Multiple Access ou CDMA), utilisée dans la norme américaine IS-95 ou promue pour l'UMTS [4].

Ainsi, avec le TDMA, il est par exemple possible de faire parler huit utilisateurs l'un après l'autre dans le même canal. On multiplie donc le nombre de canaux disponibles par unité de temps par huit.

Le tableau I-1 montre les caractéristiques des réseaux à technologie GSM et il compare les normes.

Tableau I-1: Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800 [5].

| Paramètre | GSM | DCS-1800 |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Bande de fréquences (↑) | 890, 2 - 915 [MHz] | 1710 - 1785 [MHz] |
| Bande de fréquences (↓) | 935, 2 - 960 [MHz] | 1805 - 1880 [MHz] |
| Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA | 8 | 8 |
| Débit total par canal | 271 [kb/s] | 271 [kb/s] |
| Débit de la parole | 13 [kb/s] | 13 [kb/s] |
| Débit maximal de données | 12 [kb/s] | 12 [kb/s] |
| Technique de multiplexage | Multiplexage fréquentiel et temporel | Multiplexage fréquentiel et temporel |
| Rayon de cellules | 0, 3 à 30 [km] | 0, 1 à 4 [km] |
| Puissance des terminaux | 2 à 8 [W] | 0, 25 et 1[W] |
| Sensibilité des terminaux | -102 [dB] | |
| Senibilité de la station de bas | -104 [dB] | |

Tous les terminaux mobiles fabriqués actuellement sont compatibles avec les 2 normes ; ces terminaux sont appelés bi-bandes ou dual-band. Sur le territoire des États-Unis, aucune des bandes de fréquences précitées n'étaient encore disponibles. C'est pourquoi le réseau à technologie GSM américain utilise des bandes autour des 1900 MHz. Des terminaux capables d'opérer dans les trois bandes sont appelés tri-bandes

I.3. Architecture d'un réseau GSM :

Le réseau GSM est composé de 3 parties essentielles :

- Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-System).
- Le sous-système réseau NSS (Network Sub-System).
- Le sous-système d'exploitation OSS (Operation Support Sub-System).

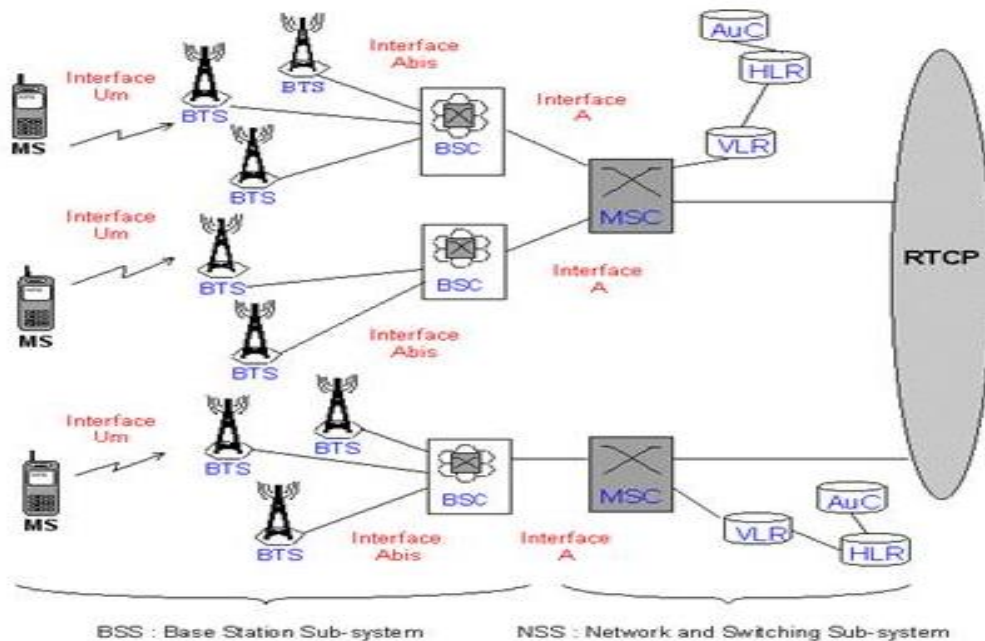


Figure I.1 : Architecture d'un réseau GSM

I.3.1. Le sous-système radio (BSS) :

Ce sous-système est constitué de stations de base BTS (Base Transceiver Station), qui assure le lien radioélectrique avec les abonnés mobiles MS.

Les BTS sont gérées par un contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller), qui assure également la fonction de concentration du trafic. Le BSC est connecté à un sous-multiplexeur transcodeur TCSM (TransCoder Sub-Multiplexer) qui rend compatible le réseau GSM avec les réseaux numériques fixes publics avec une adaptation du débit des circuits de parole.

I.3.2. Le sous-système réseau (NSS) :

C'est une interface entre le réseau GSM et le réseau fixe public, elle regroupe toutes les fonctions de commutation et de routage, localisées dans le MSC (Mobile-services Switching Center).

Les données de référence, propre à chaque abonné sont enregistrées dans une base de données répartie sur des enregistreurs de localisation HLR (Home Location Register) afin de minimiser les accès aux VLR (Visitor Location Register).

Le MSC utilise un enregistreur de localisation temporaire le VLR, contenant les données de travail relatives aux abonnés présents dans la zone gérée par le MSC.

I.3.3. Le sous-système d'exploitation OSS (Operation Support Sub-System) :

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

La supervision du réseau intervient à de nombreux niveaux :

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

I.3.4 La station mobile (MS) :

La station mobile MS (Mobile Station) désigne un équipement terminal muni d'une carte SIM (Subscriber Identity Module) qui permet d'accéder aux services de télécommunications d'un réseau mobile GSM. La carte SIM d'un abonné est généralement du format d'une carte de crédit, parfois même juste du format de la puce (plug-in).

Elle contient toutes les informations nécessaires au bon fonctionnement du mobile: · Ses identités :

- Universelle et unique IMSI (international Mobile Subscriber Identity).
- Temporaire et valable seulement au sein d'un VLR: TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)
- Eventuellement un code PIN (bloquant la carte après trois essais).
- Sa clé de chiffrement.
- Sa clé d'authentification.
- les algorithmes de chiffrement et d'authentification

Le terminal est muni d'une identité particulière, l'IMEI (International Mobile Equipment Identity). Cette identité permet en particulier de déterminer le constructeur de l'équipement.

I.4. Le concept cellulaire

Une cellule représente l'ensemble des points du territoire couvert par une même BTS et où le signal émis par cette BTS est le plus fort. On parle alors de BTS "meilleure serveuse". Le concept cellulaire constitue le fondement de base des réseaux radio-mobiles. Premièrement, l'utilisation du concept cellulaire permet l'ajustement des ressources radio à la demande en trafic.

Cet ajustement est réalisé en densifiant les zones à forte demande en communications. Le principe de densification se traduit par des zones urbaines à forte concentration de BTS couvrant de petites cellules et des zones rurales à faible concentration de BTS couvrant des cellules de grande taille [6]. La réutilisation des ressources radio (fréquences) dans les réseaux GSM constitue le deuxième intérêt du concept cellulaire.

En effet l'opérateur téléphonique est restreint à un nombre limité de fréquences pour couvrir l'ensemble du réseau, ce qui rend nécessaire la réutilisation du spectre radio mainte fois de façon à prévenir les situations d'interférences entre les ondes radio. En conséquence de la réutilisation des fréquences, le réseau est capable d'écouler un nombre de communications beaucoup plus grand que le nombre de fréquences disponibles [7].

La forme hexagonale a été universellement adoptée comme représentation théorique du design cellulaire [8]. En effet l'hexagone désigne la forme géométrique la plus proche du cercle (propagation des ondes radio dans un espace sans obstacles) qui permet un pavage régulier du plan (Figure I.2).en utilisant le moins de cellules. De plus il garantit une uniformité des distances entre les émetteurs, la régularité des schémas d'antennes et de la propagation des ondes radio en espace libre. La réalité, cependant, s'écarte de cette vue théorique.

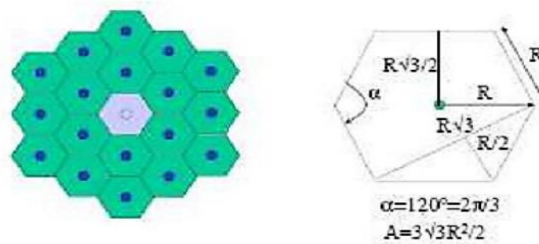


Figure I.2 : Forme hexagonale d'une cellule [8].

La non régularité des reliefs géographiques (montagnes, plateaux...) et architecturaux (bâtiments, maisons...) fait que la propagation des ondes ne s'effectue pas de la même façon dans toutes les directions. De ce fait, des prolongements, des rétractions voir même des discontinuités importantes apparaissent dans la couverture des cellules [7], [6].







Figure I.3 : Concepts cellulaires : (a) pavage régulier, (b) couverture réel [6].

I.4.1. Les différents types des signaux échangés en GSM :

Les signaux de voix et de contrôle échangés entre le mobile et la base transitent tous sur 2 voies radio montantes et descendantes :

Tableau I-2: Les différentes classes de signaux échangés

| | | | | fonction | méthode de multiplexage |
|----------------|---|---|--|--|---|
| Voie balise | BCH Broadcast Channel voie balise (diffusion) |  | FCCH <i>Frequency Correction Channel</i> | Calage sur la porteuse | un burst particulier toutes les 50 ms sur le slot 0 de la voie balise. |
| | | | SCH <i>Synchronization Channel</i> | Synchronisation, identification de la BTS | Un burst sur le slot 0 de la voie balise, une trame après le burst FCCH |
| | | | BCCH <i>Broadcast Control Channel</i> | Informations système | 4 burst "normaux" à chaque multiframe |
| | CCCH Common Control Channel (accès partagé) |  | PCH <i>Paging Cannel</i> | Appel des mobiles | sous-blocs entrelacés sur 4 bursts "normaux". |
| | | | RACH <i>Random Access Channel</i> | Accès aléatoire des mobiles | Burst court envoyé sur des slots particuliers en accès aléatoire |
| | | | AGCH <i>Access Grant Channel</i> | Allocation de ressources | 8 blocs entrelacés sur 4 bursts "normaux" |
| | | | CBCH <i>Cell Broadcast Channel</i> | Messages courts diffusés (météo, trafic routier, etc.) | utilise certains slots de la trame à 51.C (utilisation marginale) |
| Voie de trafic | Canaux de Contrôle dédiés |  | SDCCH <i>Stand-Alone Dedicated Control Channel</i> | Signalisation | 8 SDCH + 8 SACCH sur un canal physique |
| | | | SACCH <i>Slow Associated Control Channel</i> | <ul style="list-style-type: none"> compensation du délai de propagation contrôle de la puissance d'émission du mobile contrôle de la qualité de liaison mesures sur les autres stations. | associé à TCH sur un canal physique ou à 8 SDCH sur un canal physique |
| | | | FACCH <i>Fast Associated Control Channel</i> | Exécution du Handover | vol du TCH lors de l'exécution du handover. |
| | TCH Traffic Channel |  | TCH/FS TCH/HS | voix plein débit/ demi débit | occupe la majeure partie d'un canal physique |
| | | | | données utilisateur 9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s, < 2,4 kbit/s | |

Par la voie balise :

- le mobile récupère les informations de correction de fréquence lui permettant de se caler précisément sur les canaux GSM
- le mobile récupère le signal de synchronisation de la trame TDMA et Synchronise sa trame
- le mobile lit les infos concernant la cellule et le réseau et transmet à la BTS l'identification de l'appelant pour la mise à jour de la localisation
- le MSC le plus proche du mobile fait diffuser dans la zone de localisation un message à l'attention du mobile auquel on veut téléphoner (par le Paging Channel)
- la demande du mobile qui veut téléphoner arrive à la BTS de sa cellule (par le Random Access Channel)

Par la voie de trafic :

- le mobile échange les données correspondant à la voix
- le mobile échange des données de contrôle : paramètre TA, gestion de la puissance d'émission, gestion du hand-over ...

I.4.2. Réutilisation Des Fréquences :

Le principe de réutilisation des fréquences est un concept propre aux schémas d'accès radio FDMA (Frequency Division Multiple Access) et TDMA (Time Division Multiple Access) basés sur la subdivision du spectre radio. Il consiste en l'allocation de canaux physiques de même fréquence à des cellules qui sont suffisamment éloignées pour ne pas générer d'interférences. Grâce à ce principe, le réseau parvient à gérer un nombre de communications simultanées beaucoup plus grand que le nombre de fréquences disponibles [9].

Le principe de réutilisation des fréquences a donné lieu à plusieurs stratégies d'allocation. On distingue principalement deux techniques de gestion des ressources radio. La première nommée allocation fixe de fréquences (Fixed Channel Assignment) consiste à allouer un ensemble de fréquences nominales à chaque station d'une manière permanente. Dans la technique d'allocation dynamique des fréquences (Dynamic Channel Assignment) aucune affectation des fréquences aux stations n'est opérée a priori.

Les fréquences sont attribuées aux communications à leurs arrivées, des techniques intermédiaires ont aussi été proposées telles que : l'allocation hybride des fréquences (Hybrid Channel Assignment) et l'allocation par empreint (Channel Borrowing). Nous reviendrons sur les techniques d'affectation de fréquences dans une section ultérieure [7].

La figure ci-dessous représente un exemple de réutilisation des fréquences.

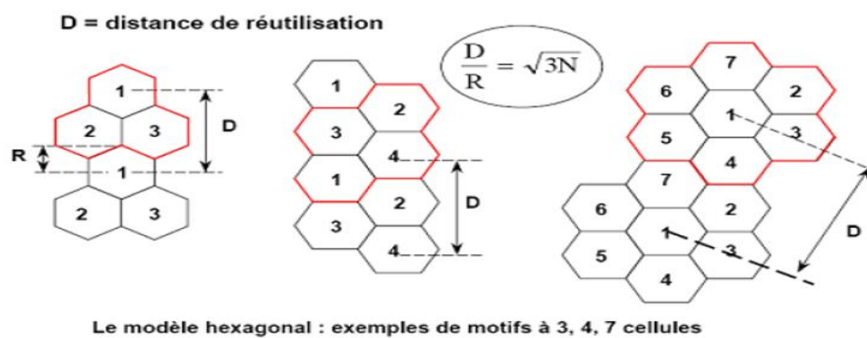


Figure I.4 : Cellules radio et principes de réutilisation des fréquences [9].

I.4.3. Hand-over :

Lors d'une communication, la station mobile peut être en mouvement (Figure I.5). Il est alors important de garantir la continuité de la communication en dehors de la cellule où la conversation a débuté. En effet, lorsque la station à laquelle le mobile est rattaché n'arrive plus à assurer une bonne qualité de services, il devient alors nécessaire de changer de station de base. Ce transfert doit se faire de façon transparente et sans causer d'interruption.

Le principe de hand-over implique donc l'existence de zones de recouvrement, où plusieurs signaux de bonne qualité et provenant de BTS différentes coexistent. Dans les réseaux GSM, la procédure de hand-over nécessite généralement le changement des fréquences porteuses utilisées par le terminal mobile pour l'émission et la réception. On parle alors de hard- hand-over, car le terminal doit momentanément interrompre sa liaison avec la station courante pour basculer vers la nouvelle fréquence qui lui est allouée.

Dans un réseau UMTS, des cellules adjacentes partagent l'utilisation de la même fréquence (la distinction entre les différentes communications se fait par le biais d'un code d'étalement du spectre).

Ceci offre la possibilité à un terminal d'entretenir plusieurs liaisons simultanées avec des stations différentes améliorant du coup la qualité globale de la communication. La possibilité qu'a un terminal de communiquer avec plusieurs nœuds B en parallèle constitue la base du principe de macro diversité.

Le soft- hand-over fait référence à l'utilisation du concept de macro diversité pour effectuer le hand-over.

Dans ce cas, le mobile établit une liaison avec le nœud destination sans rompre la liaison qui le lie au nœud initial. Cette liaison est libérée quand la procédure de hand-over s'achève [7].

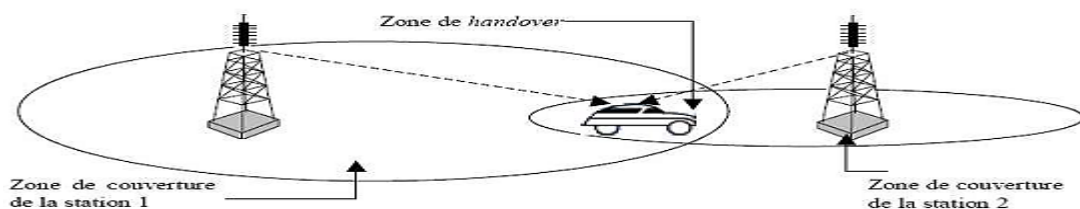


Figure I.5 : Zone de hand-over entre deux cellules [6].

I.4.4. La modulation utilise dans le GSM :

Dans le domaine des télécommunications, on cherche le plus à concentrer le maximum de puissance autour de la porteuse et donc de minimiser l'encombrement spectral. La modulation spécifiée pour la norme GSM est la modulation GMSK (modulation à déplacement minimum gaussien), qui est une modulation de fréquence à enveloppe constante, ce qui est plutôt intéressant lorsqu'on travaille sur un canal qui affecte l'amplitude du message. La modulation GMSK est le résultat du filtrage par un filtre gaussien d'une modulation MSK. Les données binaires (0 ou 1) à transmettre modulent la phase de la fréquence porteuse.

Dans la modulation MSK, un '0' fait varier linéairement et continûment la phase de -90 degrés et un '1' fait varier linéairement et continûment la phase de +90 degrés. La trajectoire de la phase est donc représentée par une courbe en dents de scie. Dans la modulation GMSK les transitions de phases sont plus progressives car les données binaires sont filtrées par un filtre gaussien avant de moduler la porteuse.

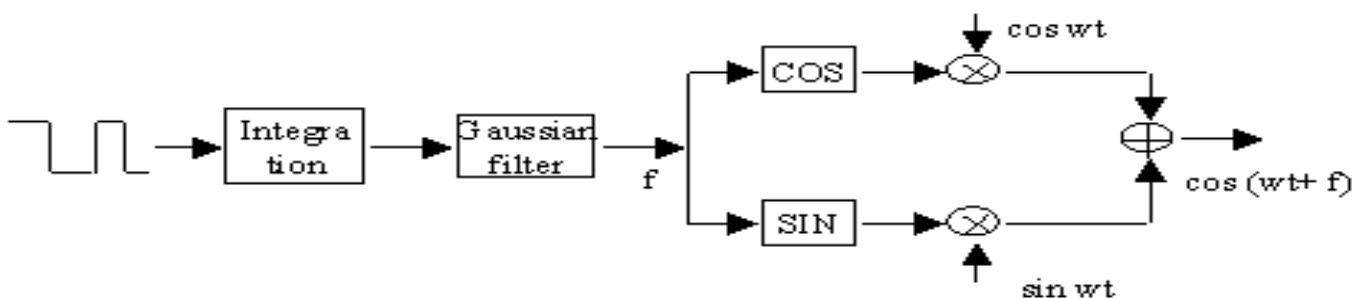


Figure I.6 : Schéma bloc de modulateur GMSK

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, le concept cellulaire a été brièvement présenté, tels que la réutilisation des fréquences, le hand-over. Ainsi que la norme GSM dans sa totalité en commençant par son architecture générale et la description de ses différents sous-systèmes, ses entités, jusqu'à l'arrivée à ses critères de performances. Ce chapitre se termine par une petite mise au point sur les différents problèmes de performance, auxquels sont confrontés les réseaux cellulaires (GSM).

Le chapitre prochaine fera l'objet d'une présentation sur les modèles de propagation communes dans un réseau GSM afin d'en choisir les plus convenables modèles à exploiter dans le cadre de ce mémoire.

Chapitre 02

Les modèles de propagation dans un réseau GSM

II.1. Introduction :

Les modèles de propagation sont utilisés lors de la conception d'une interface radio pour en optimiser les performances et également lors du déploiement des systèmes sur le terrain pour déterminer la couverture radioélectrique.

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) et la définition des brouillages. Les modèles sont très dépendants des bases de données géographiques comportant des éléments relatifs à la topographie et aux types d'occupation du sol. Ceci est dû au fait que la manière dont les ondes radio UHF vont se propager dans un espace donné est intimement liée aux obstacles (bâtiments, troncs d'arbres, flancs de montagnes, etc.) rencontrés le long du canal de propagation. De ce fait, la modélisation des objets géographiques est essentielle dans tout modèle de propagation des ondes UHF [10].

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 projeté desservira bien la zone de service visée.

II.2. La définition des modèles de propagation :

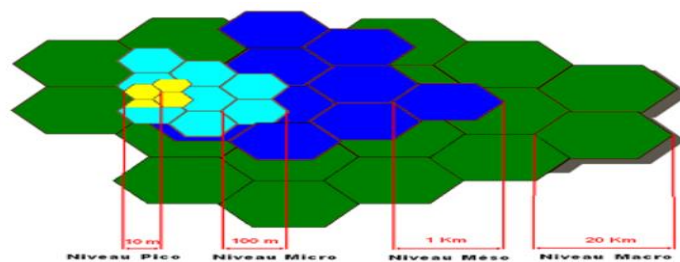
Les modèles de propagation des ondes sont des modèles mathématiques qui permettent de prédire l'impact d'un émetteur sur une certaine zone de réception soit la puissance du signal reçu.

Ces modèles sont utilisés pour planifier la couverture d'un réseau radio, mobile (GSM, UMTS,...), broadcaste (radio, TV).

II.2.1. Notion de Réseau Cellulaire :

Devant l'augmentation sans cesse croissante du nombre d'abonnés au téléphone mobile, les opérateurs ont été amenés à densifier leur réseau de télécommunication : ils augmentent le nombre des stations relais et réduisent la taille des cellules composant le réseau. Une cellule c'est la zone géographique couverte par une station de base. On distingue quatre types de cellules selon la taille de la zone géographique couverte : Macro cellule, Petite ou Méso cellule, Micro cellule et Pico cellule. Pour chaque type de cellule ont été développés plusieurs modèles de propagation d'ondes radio différents.

Ainsi nous pouvons faire une première distinction des modèles de propagation selon la taille des cellules du réseau radio-mobile. Mais ce critère de différenciation selon la taille de la cellule de suffit pas, il est nécessaire d'y adjoindre une typologie selon le type de milieu géographique. Ainsi, il existe des modèles spécifiques aux milieux montagneux, d'autres pour les zones rurales, d'autres encore pour les zones urbaines. La cellule la plus grande est la macro cellule. Le milieu géographique environnant est le plus souvent rural ou montagneux, et l'antenne de la station de base est positionnée sur un point très élevé. La distance entre la station de base et le mobile peut être supérieure à une dizaine de kilomètres.



Sources : C.Turck, Laboratoire Image et Ville, Strasbourg, 2004.

Figure II.1 : Le Multi échelle : les cellules du réseau en nid d'abeille

Face à l'augmentation croissante du nombre d'abonnés au réseau radio-mobile en milieu urbain, Il a fallu diminuer la taille des cellules afin de réduire la distance de réutilisation des fréquences allouées.

La plus courante des cellules implantées en ville est la petite cellule, qui a un rayon inférieur à quelques kilomètres. L'antenne de la station de base est dans ce cas située au-dessous du niveau des toits.

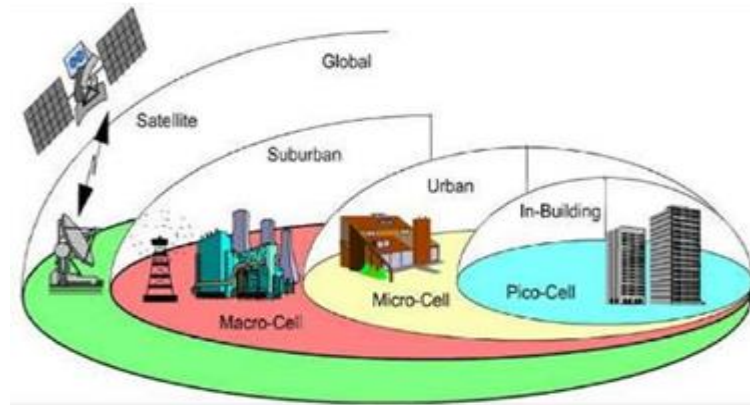


Figure II.2 : Les différentes échelles du réseau radio-mobile.

Enfin, à l'intérieur des bâtiments, on utilise la pico cellule, de quelques dizaines de mètres de rayon. Elle correspond aux communications en indoor, c'est-à-dire à l'intérieur même des bâtiments (ou de tunnels, de stations de métro, etc.) dans lesquels sont placés les antennes des stations de base [10].

II.2.2. Les types des modèles de propagation :

Dans le domaine des communications radio mobiles, il existe deux approches fondamentales de prédiction de comportement d'un canal de transmission. La première approche consiste à modéliser le canal de façon statistique. La seconde méthode consiste à utiliser une résolution analytique directe des équations de propagation ou à simuler les trajets du signal dans le milieu de propagation. Le type de modèle choisi dépendra du niveau d'estimation souhaité : estimation approximative ou précise.

De plus, les données sur le terrain disponibles jouent un rôle important. Après l'estimation de prédiction, des mesures de champ doivent être réalisées de façon à valider le modèle. Cette étape nécessite généralement le réajustement des paramètres. Les deux principaux types de modèles résultants de ces approches sont les modèles théoriques, basés sur des modélisations théoriques, et les modèles empiriques.

Des modèles semi empiriques utilisant les approches précédentes sont également définis. Ils prennent en compte les équations théoriques de propagation et sont paramétrés à l'aide des résultats de mesures réelles. Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'information sur la zone où ils vont être appliqués. De plus, ils nécessitent un temps de calcul long. Ils sont généralement réservés à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent pas être utilisés. Ils reposent sur des calculs d'optique géométrique (réflexion, diffraction, etc.). Cette méthode est appelée méthode de rayons.

II.2.2.1. Les modèles théoriques, déterministes :

Ce type de modèle s'appuie 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 (par exemple la méthode de Vogler) [11]. 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.

II.2.2.2. Les modèles empiriques ou statistiques :

Les méthodes ou modèles empiriques de prédiction de propagation sont, en réalité, des formulations mathématiques exprimant l'atténuation en fonction de plusieurs paramètres tels que la fréquence d'émission, le degré d'urbanisation, la hauteur des terminaux, la distance, etc. [12].

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 [13].

La figure II.3 montre la topologie des modèles empiriques.

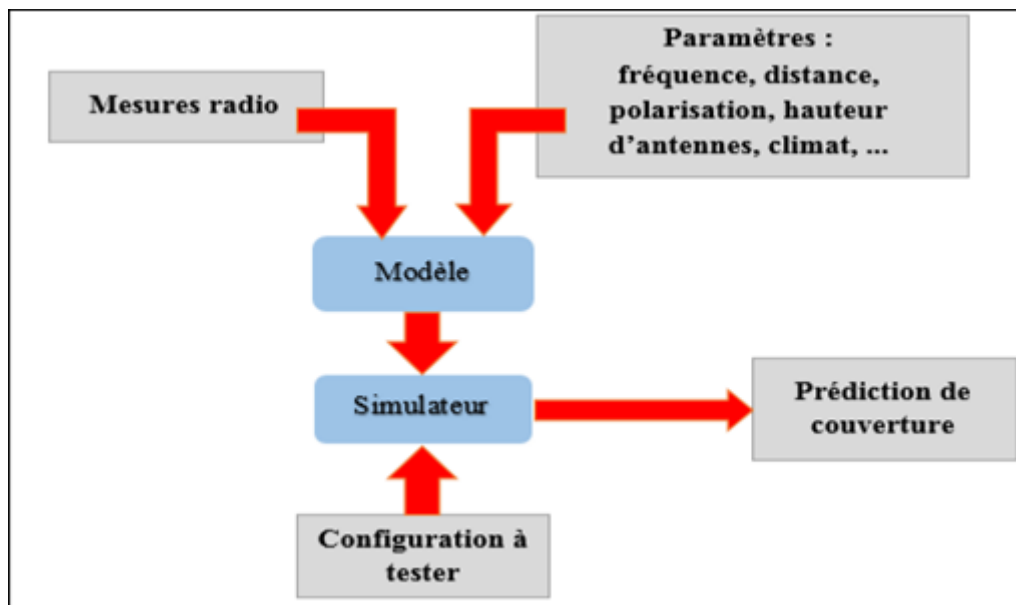


Figure II.3: Plan de travail des modèles empiriques.

Si le modèle empirique est bien construit, avec la rigueur exigée par l'analyse statistique, il représentera correctement les données qui ont servi à l'établir.

Parce qu'en général, il est relativement simple et facile à mettre en œuvre (en termes de développement mathématique et de programmation informatique), le concepteur de système de télécommunication aura tendance à le préférer à tout autre [14].

II.2.2.3. Les modèles semi-empiriques

Ces modèles sont une combinaison des deux approches décrites précédemment. Il s'agit de modèles dont les variables d'entrée et de sortie sont choisies en fonction d'une analyse physique du phénomène. Si cette analyse est poussée suffisamment loin, il se peut qu'on puisse déterminer la forme a priori des relations entre les variables. La partie empirique réside alors dans l'estimation des valeurs numériques des coefficients du modèle à partir des résultats expérimentaux.

Il est clair que cette approche est meilleure que la précédente car on évite ainsi les erreurs de modélisation dues aux variables liées. C'est pourquoi, on attachera toujours plus de confiance aux généralisations de ce type de modèle qu'à celles provenant de modèles purement empiriques. Les modèles semi-empiriques se basent sur une partie théorique assez simplifiée pour tenir compte des phénomènes de propagation influents (calcul de diffraction multiple, réflexion...).

Puis à partir de cela, un certain nombre de corrections statistiques sont effectuées sur l'ensemble des variables calculées par le modèle ce qui permet de l'ajuster par rapport aux situations réelles rencontrées sur le terrain. Pour développer ce type de modèles, il faut donc disposer de données assez précises sur l'environnement en présence (données géographiques numériques) et de données expérimentales (campagnes de mesures sur le terrain).

II.3. Les modèles micro cellules

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 [15].

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 l'ordre de 200 m à 1000 m), les antennes de station de base basse (de l'ordre de 3 m à 10 m) et puissances d'émission faibles (de l'ordre de 10 mW à 1 W).

II.4. Les modèles pour les grandes cellules (Macro-Cellules)

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

Les modèles pour les grandes cellules sont des modèles semi empiriques basés sur l'analyse de la coupe topographique (le profil du terrain) entre l'émetteur et le récepteur ainsi que la coupe verticale des obstacles se trouvant le long de ce profil (forêt, constructions, etc.).

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.4.1. Modèle de Hata :

Le modèle de Hata [16] est tiré des courbes d'Okumura et est exprimé en fonction de formules empiriques. Le domaine de validité du modèle est le même approximativement que le modèle d'Okumura (fréquences : 150 MHz-1500 MHz, hauteur de l'antenne de la station de base : 30 m-200 m, hauteur de l'antenne de la station mobile : 1 m-10 m.).

Hata a présenté un modèle standard d'affaiblissement pour l'environnement urbain et a introduit des corrections pour des cas particuliers.

$$L_{50}(\text{urbain}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.5582 \log(h_{te})) \log(d) \quad (\text{II.1})$$

Où

- 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 :

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

En milieu rural :

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

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

II.4.2. Modèle d'Okumara-Hata :

C'est le modèle le plus couramment utilisé, il est apparu en 1980 et est basé sur l'analyse statistique d'un grand nombre de mesures expérimentales effectuées à l'intérieur et à proximité de la ville de Tokyo. Okumara tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile.

Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (urbain dense, urbain faible ou rural). Les conditions de validité de ce modèle sont récapitulées ci-dessus :

Tableau II.1 : Les conditions de validité de modèle d'Okumara-Hata

| | |
|--|---|
| Fréquences | 150 Mhz << 1.5 GHz |
| Hauteur de l'antenne d'émission | 30m << 200m |
| Hauteur de l'antenne du mobile | 1m << 10m |
| Distance entre le mobile et la station de base | 1km << 20km |
| Type d'environnement | Urbain (grand ville) Urbain (ville moyenne) Banlieue et Rural |

Pour un environnement urbain, l'affaiblissement a pour expression :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + 44.9 - 6.5582 \log(h_b) \log(d) \quad (\text{II.5})$$

Pour une ville moyenne, l'expression est donnée par :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \text{ Avec : } a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) h_m - 1.56 \log(f) + 0.8 \quad (\text{II.6})$$

Pour une grande ville, l'expression de l'affaiblissement est donnée par :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \text{ Avec : } \quad (\text{II.7})$$

$$a(h_m) = 8.29 (\log(1.54 h_m))^2 - 1.1 : f < 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_m) = 8.29 (\log(1.54 h_m))^2 - 4.97 : f > 200 \text{ MHz}$$

Pour un environnement Banlieue, l'expression de l'affaiblissement est donnée par :

$$L_{\text{banlieue}} = L_0 - (\log(\frac{f}{28}))^2 - 5.4 \quad (\text{II.8})$$

Pour un environnement rural dégagé l'expression de l'affaiblissement est donnée par :

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78 ((\log(f))^2 + 1.833 \log(f) - 40.49) \quad (\text{II.9})$$

II.4.3. Modèle de COST231-Hata :

Les membres du projet européen COST 231 ont proposé d'étendre le modèle de Hata à des fréquences supérieures [17], notamment à cause du déploiement des réseaux GSM 1800 (Europe) et GSM 1900 (USA). La formule suivante a été proposée :

$$L_{50}(\text{urbain}) = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.5582 \log(h_{te})) \log(d) + C_M \quad (\text{II.10})$$

Avec $C_M = 0$ dB pour des villes de taille moyenne et les banlieues 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.4.1. Modèle d'Elgi :

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 [18], Il tient compte des irrégularités du terrain, le facteur du terrain pour 900 MHz a une valeur moyenne de 27.5 dB. La variation du champ dépend de la hauteur de l'antenne de la station de base et de la distance D entre l'émetteur et le récepteur.

L'affaiblissement moyen pour une hauteur de l'antenne mobile de 1.5m est donné par [19] :

$$L = 139.1 - 20 \log(h_b) + \log(d) \quad (\text{II.11})$$

- h_b : Hauteur de l'antenne de la station de base
- d : Distance entre l'antenne de la station de base et l'antenne de la station mobile

C'est un modèle d'interprétation systématique des mesures effectuées dans la bande 90- 1000MHz.

L'inconvénient de ce modèle c'est qu'il tient compte de la diffraction qui est un phénomène important dans la propagation radio.

II.4.5. Modèle de Stanford University Interim (SUI) :

Le modèle SUI a été développé pour IEEE 802.16 par l'Université de Stanford [20], Il est utilisé pour les fréquences supérieures à 1900 MHz. Dans ce modèle de propagation, trois types de terrains ou des zones différentes sont considérées (Tableau II.2). Ceux-ci sont appelés terrain A, B et C.

Terrain A représenté une zone avec la plus grande perte de chemin; il peut être une région très densément peuplée, tandis que B représente une surface avec une perte de trajet moyenne ; un environnement suburbain. Terrain C à le moins de perte de chemin qui décrit une zone rurale ou plat.

Tableau II.2 : Les paramètres du modèle SUI dans différents terrains [21].

| Paramètre de modèle | Terrain A | Terrain B | Terrain C |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| A | 4,6 | 4,0 | 3,6 |
| b (m ⁻¹) | 0,0075 | 0.0065 | 0.005 |
| c (m) | 12.6 | 17.5 | 20 |

L'équation de perte de chemin de base avec les facteurs de correction sont présentées dans [22],

$$PL = A + 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + x_f + x_h + s ; \quad \text{pour } d_0 < d \quad (\text{II.12})$$

Où d est la distance entre l'antenne de point d'accès (AP) et l'antenne CPE (Customer Premises Equipment) en mètre, $d_0 = 100$ m et s est un facteur Logarithmique distribué qui est utilisée pour comptabiliser l'effet d'évanouissement de l'ombre (shadow fading) en raison des arbres et d'autres obstacles ayant une valeur entre 8.2db à 10.6db [23], Les autres paramètres sont définis comme :

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$$

$$\gamma = a - b \cdot h_{te} + c/h_{te}$$

Où le paramètre h_{te} est la hauteur de la station de base au-dessus du sol, en mètres et doit être comprise entre 10 m et 80 m. Les constantes utilisées pour a, b et c sont données dans le Tableau II.2.

Le paramètre γ est égal à l'exposant d'affaiblissement. Pour un type de terrain donné l'exposant de perte de chemin est déterminée par h_{te} .

Les facteurs de correction pour la fréquence de fonctionnement et pour la hauteur de l'antenne CPE pour le modèle sont [20]:

$$X_f = 6.0 \log \left(\frac{f_c}{2000} \right)$$

$$X_h = -10.8 \log \left(\frac{h_{re}}{2000} \right) ; \text{ pour les terrains de type A et B}$$

$$= -20 \log \left(\frac{h_{re}}{2000} \right) ; \text{ pour les terrains de type C}$$

Où, la fréquence (f) est en MHz et h_{re} est la hauteur de l'antenne mobile en mètres. Il est applicable à tous les trois zones comme les zones rurales, urbaines, suburbaines.

II.5. Conclusion :

Le deuxième chapitre présente l'étude des différents modèles de propagation qui sont utilisés en ingénierie des systèmes radio-mobiles. Ceux-ci se différencient essentiellement par leur environnement d'application et nous les avons classé suivant ce critère en partant des modèles pour les grandes cellules en rural (modèles macro cellulaires) en passant par les modèles pour les milieux urbanisés (modèles micro cellulaires).

Chapitre 03

Les méthodes d'optimisation proposées

III.1. Introduction :

Au cours des dernières années, de nombreux chercheurs ont appliqué différents algorithmes pour prédire la perte de trajectoire dans leur environnement [24].

À cet effet, nous devons optimiser les modèles empiriques afin de fournir des paramètres optimaux pour la prévision de la perte de trajectoire par ondes radio dans la zone cible et d'avoir une bonne planification cellulaire [25].

La nature ne cesse d'inspirer la recherche dans le domaine de l'optimisation. Alors que les mauvaises herbes invasives, la colonie artificielle d'abeilles et les essaims particulaires en sont des exemples célèbres, d'autres algorithmes d'optimisation inspirés de la nature émergent régulièrement.

Dans ce chapitre, nous allons nous concentrer sur ces algorithmes. On tire de cette information l'idée de base de ces méthodes : créer un système multi-agents capable de résoudre avec succès les problèmes.

III.2. Algorithme d'optimisation

Pour résoudre le problème de perte de voie, l'optimisation des mauvaises herbes invasives, l'algorithme d'optimisation des essaims de particules et la méthode de la colonie artificielle d'abeilles sont considérés pour minimiser la différence entre les modèles empiriques utilisés et les données mesurées réelles.

III.2.1. Algorithme de colonie d'abeilles artificielles

L'algorithme ABC est un algorithme d'optimisation heuristique introduit par (Karaboga, 2005) inspiré de la façon dont les abeilles mellifères travaillent ensemble pour recueillir le nectar des fleurs.

Dans ABC, l'objectif est de trouver le patch de fleurs avec une quantité maximale de nectar (solution optimale). Pour ce faire, les abeilles sont subdivisées en trois catégories telles que les abeilles employées, les spectateurs et les abeilles scoutes. Chacune représente une solution en D-dimension, l'abeille qui trouve la meilleure source de nourriture parmi tous est plus susceptible d'être suivie par d'autres abeilles pour converger vers le meilleur endroit. Le but des abeilles employées est d'exploiter les sources de nectar explorées auparavant et de partager l'information avec les abeilles en attente (abeilles de spectateur) dans la ruche. Ces informations sont liées à la qualité des sites de source de nourriture exploités par les abeilles employées, sur la base de ces informations, les abeilles spectateur à l'intérieur de la ruche décident de la source de nourriture à exploiter. Le but des abeilles scoutes est de fouiller au hasard autour de la ruche afin de trouver un nouveau site de source de nourriture [26]. Dans l'algorithme ABC, le nombre d'abeilles et de spectateurs employées est égal au nombre de solutions dans la population. L'algorithme de colonie d'abeilles artificielles se compose de quatre phases principales. Phase initiale, phase d'abeille employée, phase d'abeille de spectateur et phase d'abeille de scout. Pour résumer, l'ABC utilise le concept de mémoire pour stocker le meilleur emplacement personnel. Une abeille visite au hasard un nouvel emplacement et plus tard, il se compare avec le meilleur emplacement qu'il a visité précédemment. Si le nouvel emplacement est meilleur, l'ancien est oublié et le nouvel emplacement est mémorisé; sinon, la mémoire reste inchangée.

Les étapes de base de l'algorithme ABC est représenté par organigramme donné dans figure 1 :

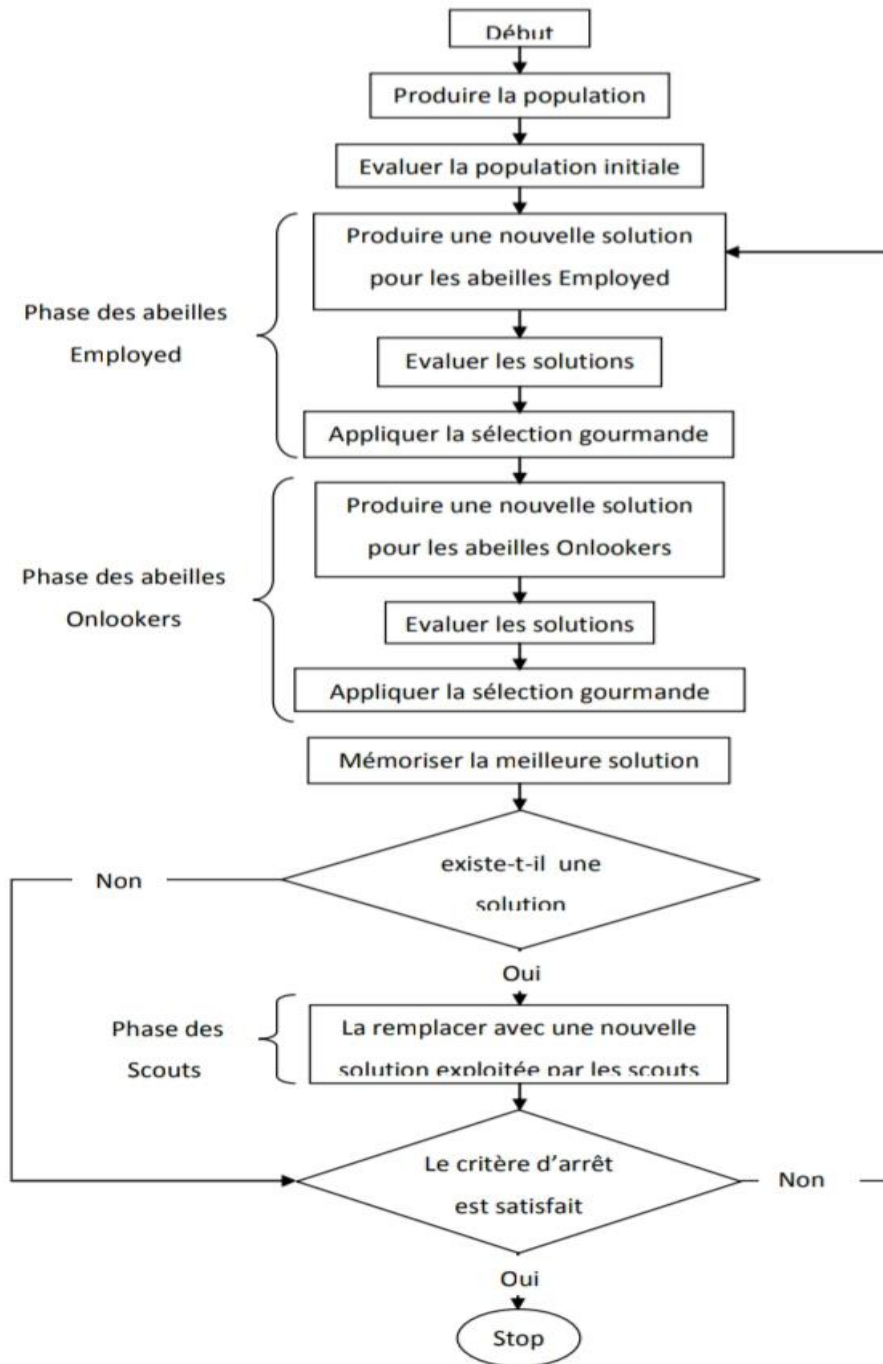


Figure III.1 : Organigramme du modèle de base de l'algorithme ABC

III.2.2. Algorithme d'optimisation des essaims de particules

L'optimisation des essaims de particules est un algorithme basé sur la population pour rechercher les problèmes d'optimisation globale introduits par Kennedy et Eberhart en 1995. Il a la capacité de trouver des points optimaux globaux en utilisant l'interaction sociale des agents non avertis. PSO utilise une population (appelée essaim) de particules dans l'espace de recherche. L'état de chaque particule est caractérisé en fonction de sa position et de sa vitesse.

$$\mathbf{x}_i^{\rightarrow} = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{id})$$

et

$$\mathbf{v}_i^{\rightarrow} = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{id})$$

Pour découvrir la solution optimale, chaque particule change de direction de recherche en fonction de deux facteurs : la meilleure position d'une particule donnée x_{li} et la meilleure position (ravageur global) x_g de l'essaim entier. PSO recherche la solution optimale en mettant à jour la vitesse et la position de chaque particule selon les équations suivantes :

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (1)$$

Les mises à jour de vitesse sont calculées comme une combinaison linéaire de vecteurs de position et de vitesse

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + C_1 \rho_1 (x_{li}(t) - x_i(t)) + C_2 \rho_2 (x_g(t) - x_i(t)) \quad (2)$$

Où t désigne l'itération dans l'espace évolutif. w est le poids d'inertie. C_1 et C_2 sont des facteurs d'apprentissage personnel et social. ρ_1 et ρ_2 sont des valeurs aléatoires réparties uniformément dans la plage $[0, 1]$.

Le processus de base de l'algorithme PSO est réalisé avec quatre opérations de base : initialisation, gestion des contraintes, actualisation, évaluation et sélection [27].

Les étapes de base de l'algorithme PSO est représenté par organigramme donné dans figure 2 :

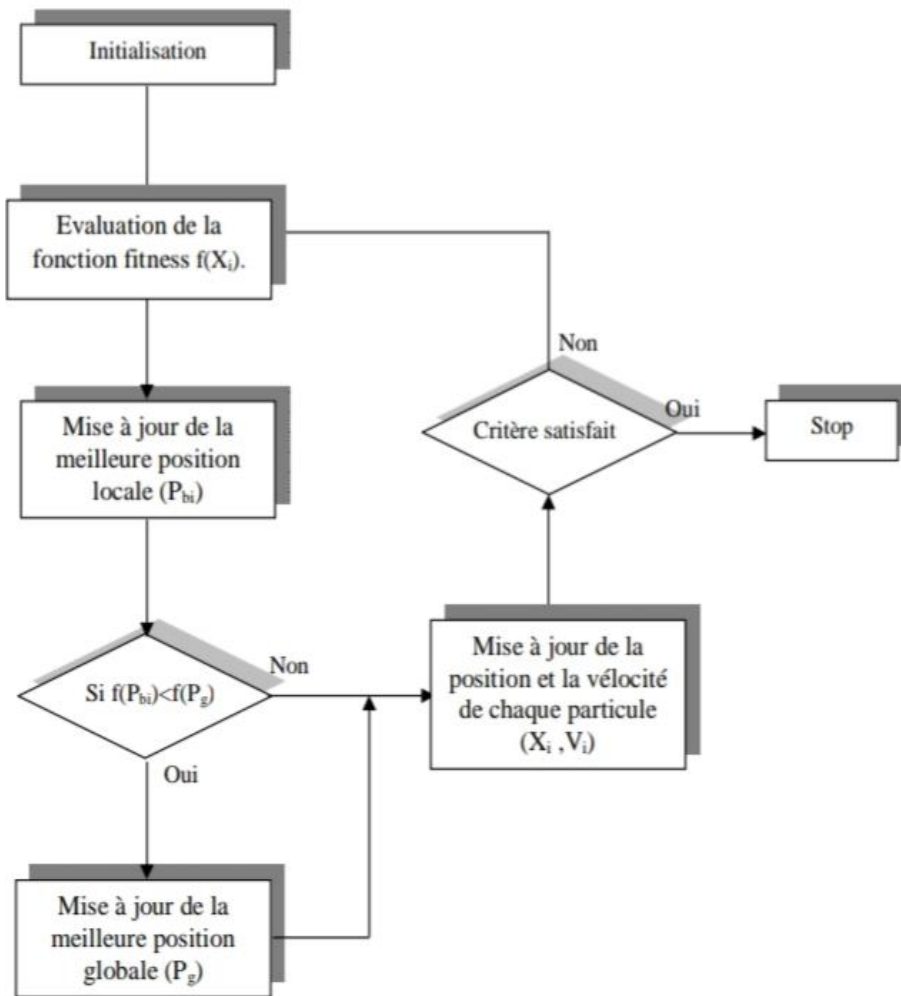


Figure III.2 : Organigramme du modèle de base de l'algorithme PSO

III.2.3. Algorithme d'optimisation des mauvaises herbes envahissante

L'optimisation des mauvaises herbes envahissantes est un algorithme d'optimisation stochastique qui s'inspire de la colonisation des mauvaises herbes. Les mauvaises herbes se sont avérées très robustes et peuvent s'adapter rapidement à n'importe quel environnement. Ainsi, la capture de leurs propriétés conduit à un algorithme d'optimisation puissant [28]. Certaines des propriétés distinctives de l'IWO par rapport à d'autres algorithmes évolutifs sont la façon de la reproduction, de la dispersion spatiale et de l'exclusion concurrentielle [29].

Considérant un problème d'optimisation variable N , le processus de l'IWO commence par l'initialisation d'une population. Autrement dit, une population de solutions initiales est générée au hasard au-dessus de l'espace de solution. Dans les problèmes d'optimisation, les graines et le champ représentent des solutions initiales générées au hasard et de l'espace de problème dimensionnel N , respectivement.

L'aptitude de chaque graine est calculée en fonction d'une fonction objective prédéfinie du problème.

En d'autres termes, le nombre de graines pour chaque membre varie linéairement entre S_{\min} pour le pire membre et S_{\max} pour le meilleur membre.

Dans l'étape suivante pour la mise en œuvre de l'IWO, Ces graines sont ensuite dispersées au hasard sur l'espace de recherche par des nombres aléatoires normalement distribués avec moyen égal à zéro et écart standard variable. L'écart type est démarré à partir d'une valeur initiale prédéfinie (σ_{initial}) et réduit à une valeur finale (σ_{final}) et calculé en fonction de

$$\sigma_{\text{iter}} = (1 - (\text{iter} / \text{iter}_{\text{max}}))^n (\sigma_{\text{initial}} - \sigma_{\text{final}}) + \sigma_{\text{final}} \quad (3)$$

Où iter_{max} est le nombre maximum d'itérations, σ_{iter} est le SD à l'itération actuelle et n est l'indice de modulation non linéaire. Les graines produites, accompagnées de leurs parents, sont considérées comme les solutions potentielles pour la prochaine génération.

Une fois que toutes les graines ont trouvé leur position et les nouvelles plantes ont grandi aux plantes à fleurs, ils sont classés avec leurs parents. Certaines des usines existantes sont ensuite enlevées sur la base d'un processus d'exclusion concurrentiel, et un mécanisme d'élimination est adopté de telle sorte que les plantes ayant un meilleur classement ont plus de chances de survivre. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que les critères de convergence soient respectés.

Les étapes de base de l'algorithme IWO est représenté par organigramme donné dans figure 3 :

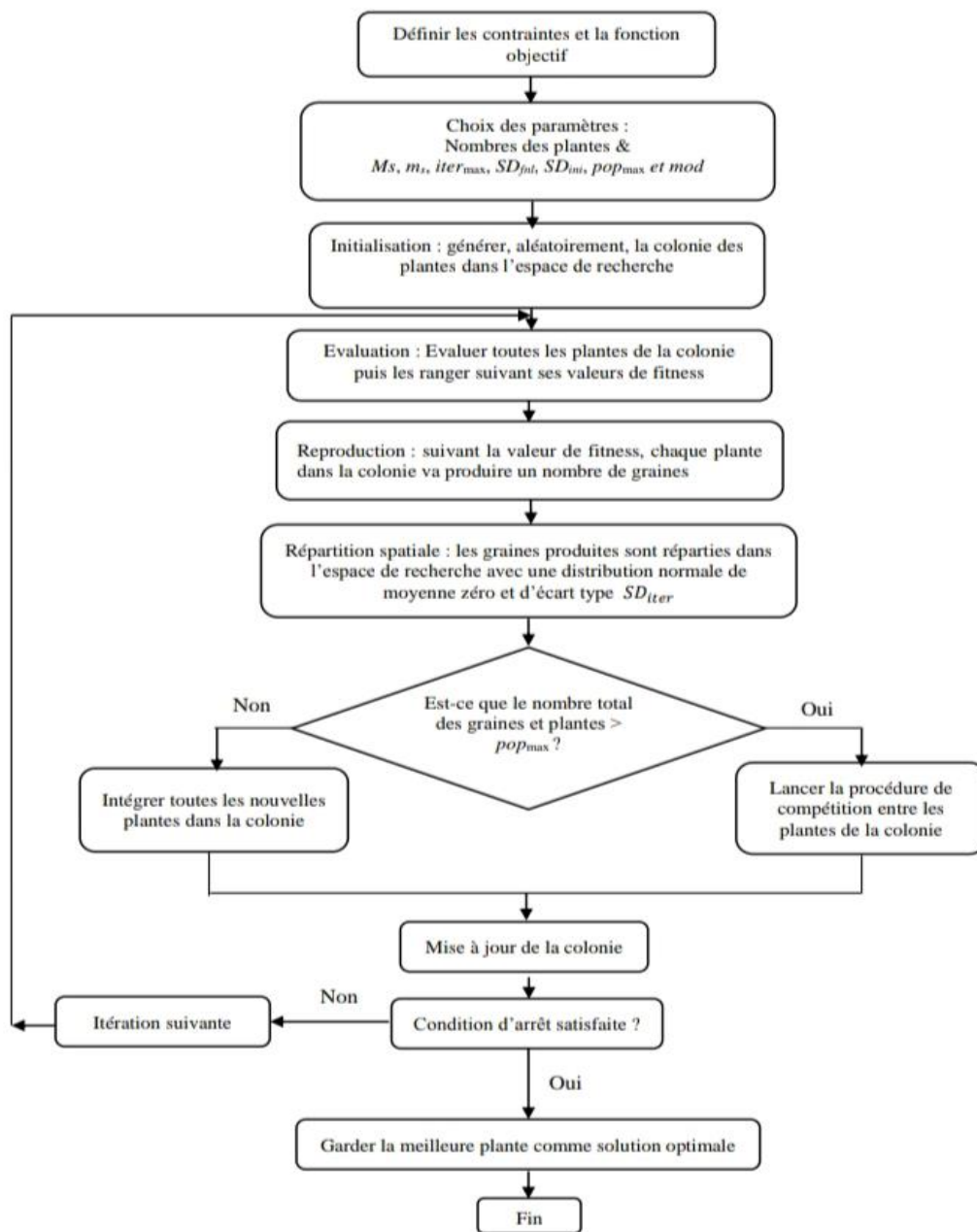


Figure III.3 : Organigramme du modèle de base de l'algorithme IWO

III.3. Affaiblissement

Dans les canaux sans fil, la prévision des pertes de trajectoire est un facteur très important qui permet de planifier l'énergie transmise efficace, la zone de couverture et la qualité du service. Cependant, plusieurs paramètres globaux et locaux auront une incidence sur le modèle de prévision des pertes de chemin. Les modèles empiriques décrivent d'un point de vue statistique la relation entre la perte de chemin et l'environnement. Les résultats sont généralement obtenus au moyen de campagnes de mesure.

III.4. Conclusion :

Nous avons, dans ce chapitre, présenté les méthodes de la colonie artificielle d'abeilles, les mauvaises herbes invasives, et les essaims particuliers et expliqué son fonctionnement ainsi que les notions qui lui sont propres. Et ceci dans l'optique de ces implémentations, qui va être effectuée dans le chapitre suivant.

Chapitre 04

Résultats et discussion

IV.1. Introduction :

Malgré le développement de nombreux modèles empiriques de prédiction de perte de trajet à ce jour, la généralisation de ces modèles à n'importe quel environnement est encore discutable. Pour pallier cet inconvénient, les paramètres des modèles empiriques peuvent être ajustés ou réglés en fonction d'un environnement cible. L'ajustement d'un modèle de propagation doit optimiser les paramètres de modèle afin d'obtenir un minimum d'erreur entre la puissance du signal prédite et mesurée. Cela rendra le modèle plus précis pour les prévisions de signaux radio reçus [2].

Dans ce chapitre, nous analysons la performance réalisable avec des techniques intermédiaire, entre des modèles purement empiriques, et une mesure réelle établie à partir du domaine d'étude. Basée sur l'utilisation de l'optimisation des essaims de particules, les mauvaises herbes invasives et la colonie artificielle d'abeilles.

IV.2. Procédure de mesure et méthode d'analyse

Un système de test de conduite a été utilisé pour recueillir et enregistrer les niveaux de signal à divers endroits sous forme de journaux qui ont ensuite été traités avec un analyseur de réseau de communication.

Au cours d'un essai d'entraînement, dans ce système des paramètres peuvent être collectés sont les : force de puissance du pilote E_c/I_0 , transmission avant de puissance T_x , transmission de liaison descendante R_x et taux d'erreur de trame FER. Un tel test peut être effectué pour certaines stations de base identifiées ou pour l'ensemble du réseau.

Les outils de mesure du système d'entraînement utilisés étaient : un téléphone mobile spécial (Huawei U6100) récepteur GPS (NMEA), une antenne de réception, et un ordinateur portable avec une clé et un logiciel d'essai d'entraînement (Huawei GENEX Probe). Le véhicule a été conduit dans la zone de couverture de la station de base tout en enregistrant continuellement le signal reçu. À chaque instant des mesures collectées, les données GPS sont également enregistrées simultanément.

Les spécifications des sites d'émission de ces bases et de leurs positions sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau IV.1. Spécifications des sites BTS

| Paramètres | | BTS1 | BTS2 |
|---|-----------------------------------|-----------|----------|
| Type de region | | Suburbain | Rural |
| Puissance d'émission (dBm) | | 46 | 43 |
| Cable Loss + Body loss | | 10.5 | 9.7 |
| Gain d'antenne d'émission (dBi) | | 17.5 | 16.7 |
| Gain d'antenne de réception (dBi) | | 0 | 0 |
| Hauteur d'antenne d'émission (m) | | 25 | 35 |
| Hauteur d'antenne de station mobile (m) | | 1.5 | 1.5 |
| Fréquences opérationnelles (MHz) | Fréquences Montante (Uplink) | 908 | 912,4 |
| Fréquences opérationnelles (MHz) | Fréquences Descendante (downlink) | 953 | 957,4 |
| Coordonnées Géo. | Latitude | 35,2524 | 35,62437 |
| Coordonnées Géo. | Longitude | 6,13074 | 6,36984 |

IV.3. Résultats et discussion

IV.3.1. Comparaison avec les modèles de prédiction

Une comparaison entre la perte de chemin prévue et la perte mesurée de chemin ont été effectuées pour deux stations BTS1 et BTS2. Les performances des modèles empiriques sont ensuite comparées aux données mesurées sur les pertes de chemin comme dans les figures 1 et 2.

Les critères suivants sont utilisés pour quantifier l'exactitude des prévisions de ces modèles sont enregistrés dans les tableaux 2 et 3.

- 1- Mean Error-ME
- 2- Root Mean Square Error-RMSE
- 3- Standard Deviation of Error-STD
- 4- Relative Error Percentage-RE

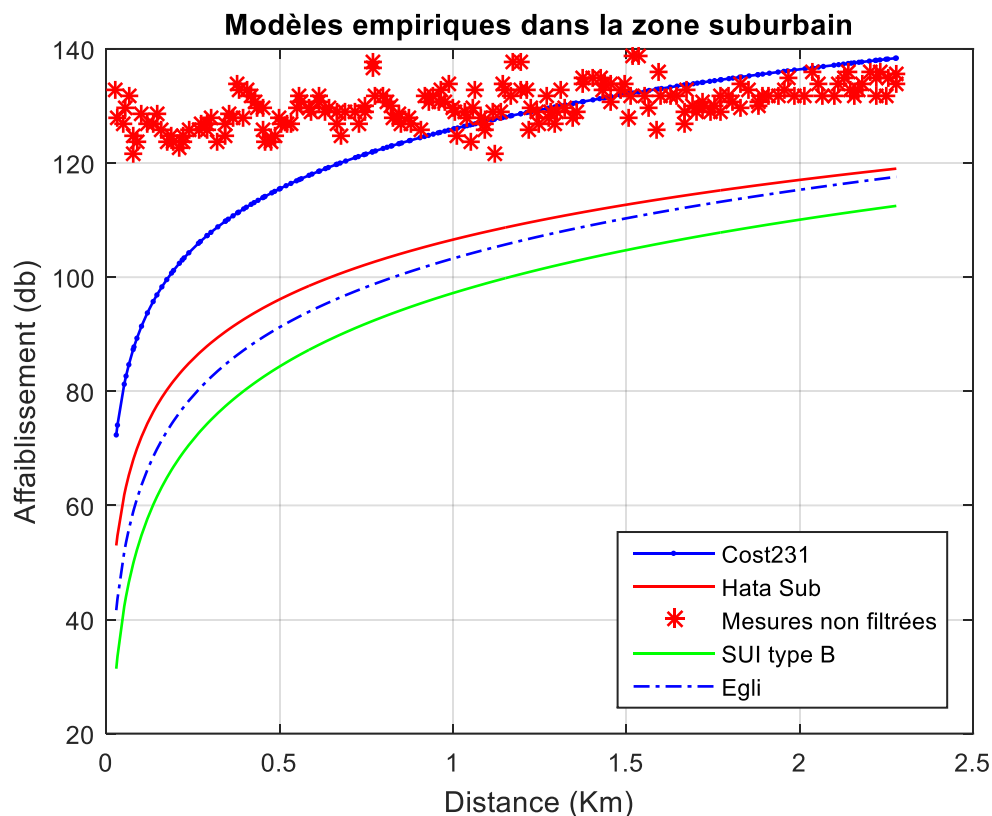


Figure IV.1. Comparaison entre l'affaiblissement prévu et mesuré pour BTS1

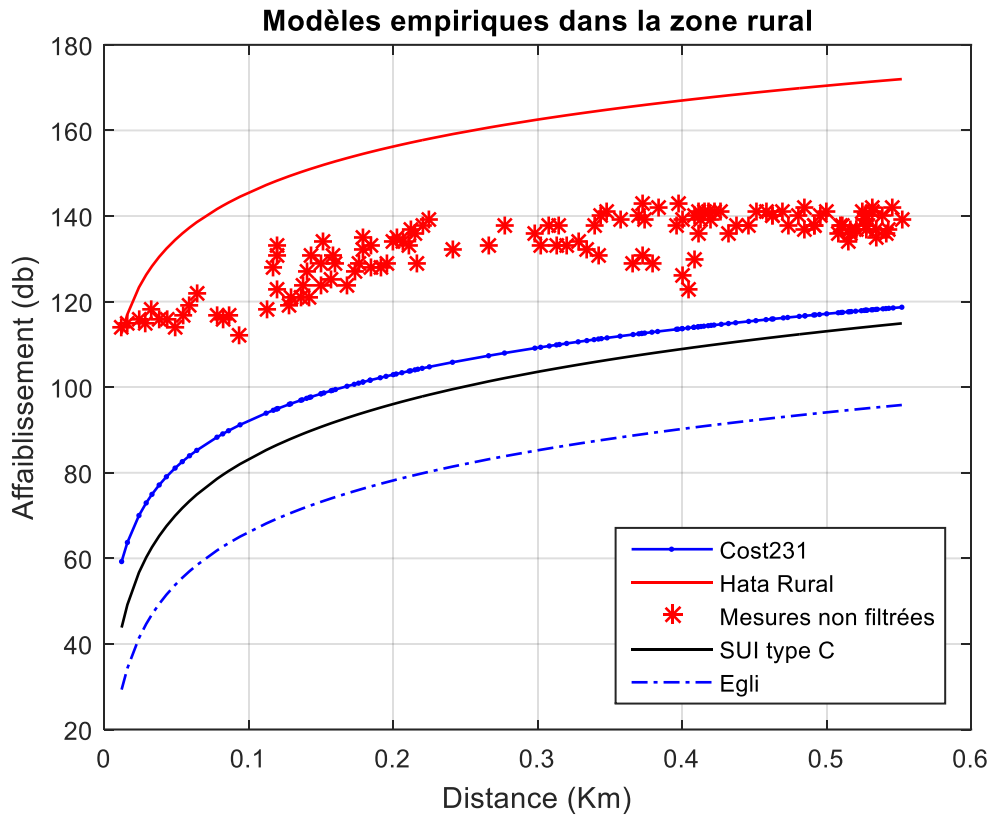


Figure IV.2. Comparaison entre l’affaiblissement prévue et mesurée pour BTS2

- 1- A partir des tableaux 2 et 3, on constate que la performance du modèle COST231 Hata est la meilleure, parce que RMSE et ME sont les plus faibles par rapport aux autres modèles.
- 2- Les figures 1 et 2 consolident le résultat selon le modèle COST231 Hata qui est un placard à l’affaiblissement mesurée par rapport aux autres modèles.

Tableau IV.2. Comparaison des performances entre les modèles utilisés selon les critères d’essai (BTS1)

| | RMSE | ME | STD | RE |
|---------|---------|---------|--------|---------|
| COST231 | 14.2664 | 9.4866 | 0.2587 | 7.3665 |
| SUI B | 39.6199 | 36.4739 | 0.2567 | 28.1739 |
| HATA S | 29.1958 | 26.4328 | 0.2581 | 20.4137 |
| EGLI | 33.4455 | 30.1805 | 0.2574 | 23.3196 |

Tableau IV.3. Comparaison des performances entre les modèles utilisés selon les critères d'essai (BTS2)

| | RMSE | ME | STD | RE |
|---------|---------|---------|--------|---------|
| COST231 | 27.2553 | 26.3666 | 0.6836 | 20.1037 |
| SUI C | 33.8035 | 32.5823 | 0.6696 | 24.9176 |
| HATA R | 27.8197 | 26.9721 | 0.6998 | 20.2868 |
| EGLI | 51.3455 | 50.6938 | 0.6597 | 38.5894 |

IV.4. Processus d'optimisation

Le modèle COST 231 a été choisi pour cette étude. Le problème à résoudre est formulé en tant qu'équation mathématique unique comportant cinq variables (les paramètres à optimiser), évaluée par un critère d'arrêt (RMSE) dépend de la performance de celui-ci.

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

$$PL = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.5582 \log(h_{te})) \log(d) + C_M \quad (IV.1)$$

$$a(h_{re}) = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_{re} - 1.56 \log(f_c) + 0.8 \quad C_M = 0$$

Avec $C_M = 0$ dB pour des villes de taille moyenne et les banlieues

Il peut être écrit comme suit :

$$PL = 46.3 + 44.9 \log(d) - 13.82 \log(h_{te}) - 6.5582 \log(h_{te}) \log(d) + 33.9 \log(f_c) - a(h_{re}) \quad (IV.2)$$

Les paramètres optimisés :

$$K1=46.3, K2=44.9, K3=-13.82, K4=-6.55, K5=33.9$$

L'erreur quadratique carrée moyenne (RMSE) est définie comme :

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

Où PL_m représente l'affaiblissement mesuré en dB, PL est l'affaiblissement prévue en dB, et n est le nombre des points de données mesurés.

IV.4.1. Résultats d'optimisation par PSO

Les résultats de simulation à l'aide de l'algorithme de PSO sont présentés dans les figure IV.3, figure IV.4, tableau IV.4 et tableau IV.5.

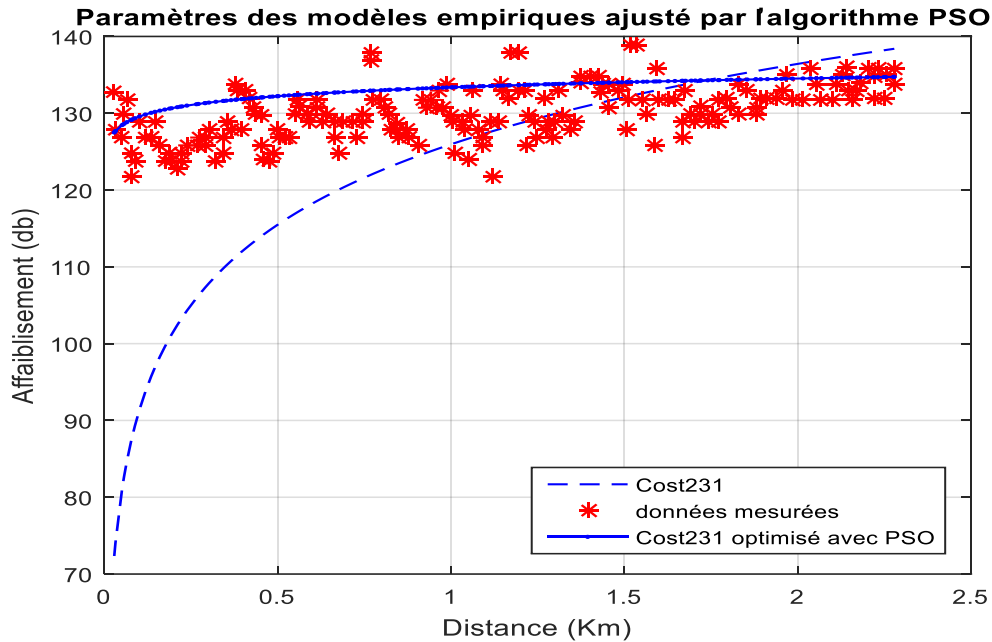


Figure IV.3. Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec PSO (suburbain)

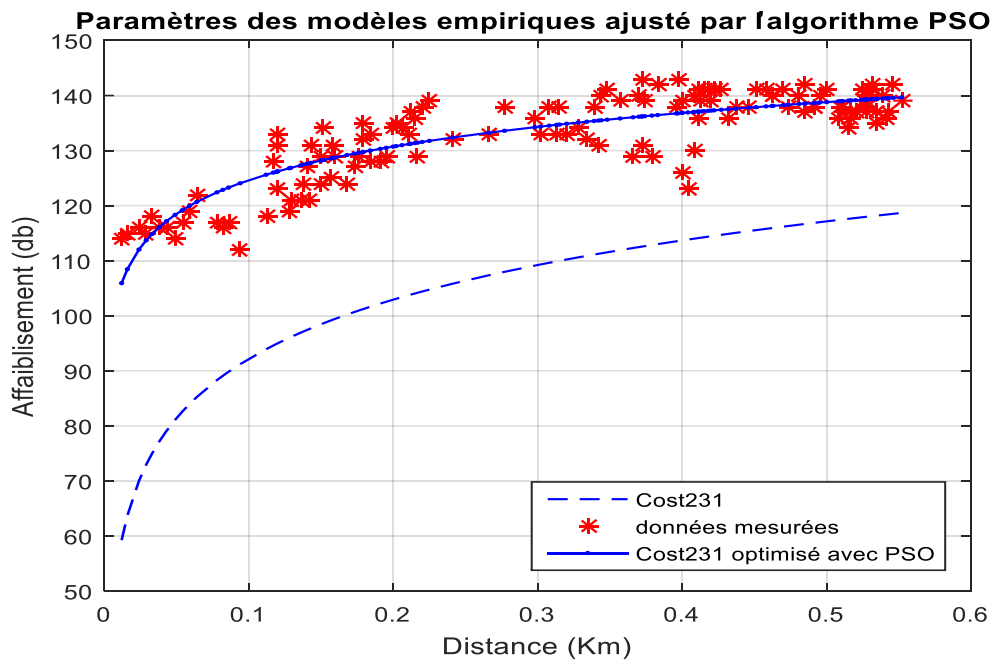


Figure IV.4. Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec PSO (rural)

Tableau IV.4. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (suburbain)

| Paramètres | COST231-Opt avec PSO | COST-231 |
|------------|----------------------|----------|
| K1 | 27.1267 | 46.3 |
| K2 | 14.5035 | 44.9 |
| K3 | 19.6153 | - 13.82 |
| K4 | -6.9221 | - 6.55 |
| K5 | 25.5010 | 33.9 |
| RMSE | 4.2750 | 14.2664 |

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

| Paramètres | COST231-Opt avec PSO | COST-231 |
|------------|----------------------|----------|
| K1 | 25.9280 | 46.3 |
| K2 | 5.7622 | 44.9 |
| K3 | 26.5562 | - 13.82 |
| K4 | 10.3980 | - 6.55 |
| K5 | 27.4992 | 33.9 |
| RMSE | 4.1427 | 27.2553 |

Remarque :

En commençant par les résultats des tableaux 4 et 5 et en passant par les deux figures 3 et 4, nous avons remarqué que les deux modèles optimisés dans les régions rurales et suburbaines surpassent les autres modèles en termes de performance globale.

IV.4.2. Résultats d'optimisation par ABC

Les résultats de simulation à l'aide du ABC Algorithme sont présentés dans la figure IV.5, figure IV.6, tableau IV.6 et tableau IV.7.

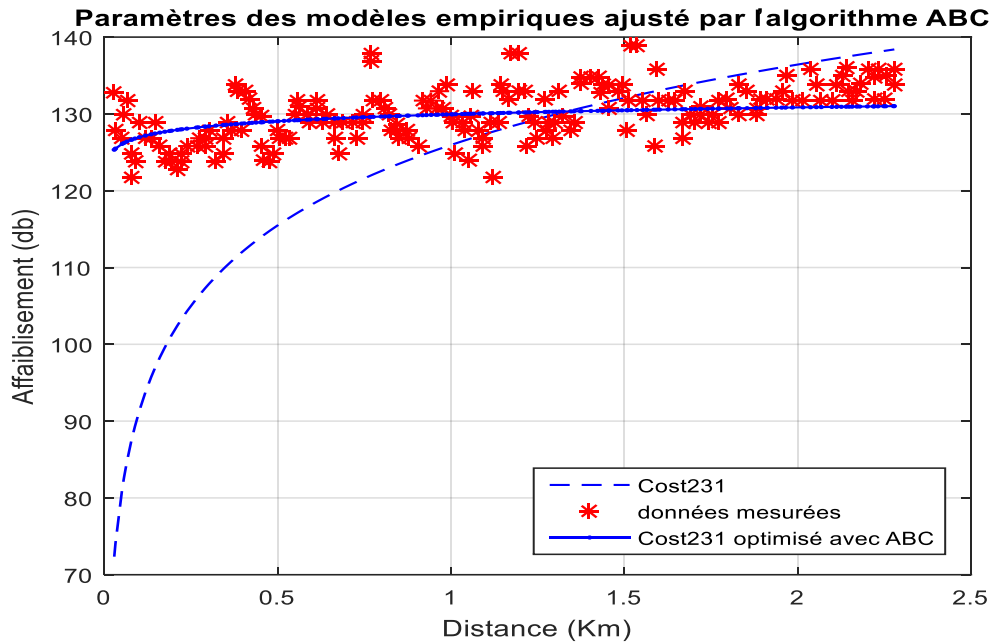


Figure IV.5: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec ABC (suburbain)

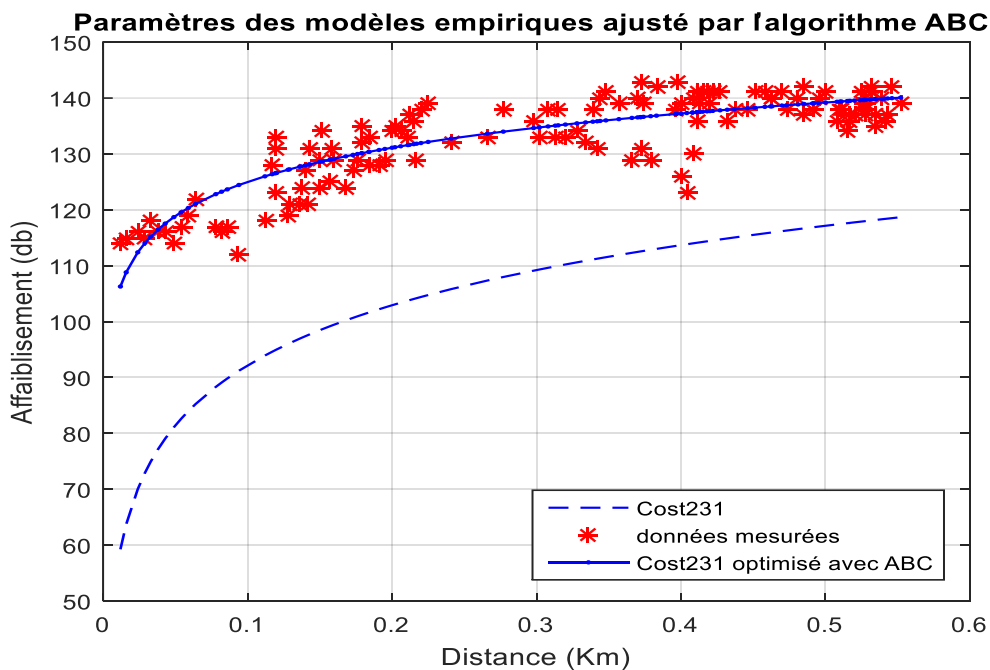


Figure IV.6: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec ABC (rural)

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

| Paramètres | COST231-Opt avec ABC | COST-231 |
|------------|----------------------|----------|
| K1 | 29.6972 | 46.3 |
| K2 | 15.6969 | 44.9 |
| K3 | -34.6595 | - 13.82 |
| K4 | 0.2579 | - 6.55 |
| K5 | -1.7699 | 33.9 |
| RMSE | 3.1182 | 14.2664 |

Tableau IV.7. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (rural) :

| Paramètres | COST231-Opt avec ABC | COST-231 |
|------------|----------------------|----------|
| K1 | -18.1522 | 46.3 |
| K2 | 35.9953 | 44.9 |
| K3 | -40.2760 | - 13.82 |
| K4 | 34.9183 | - 6.55 |
| K5 | 10.4381 | 33.9 |
| RMSE | 4.1614 | 27.2553 |

Remarque :

En commençant par les résultats des tableaux 6 et 7 et en passant par les deux figures 5 et 6, nous avons remarqué que les deux modèles optimisés dans les régions rurales et suburbaines surpassent les autres modèles en termes de performance globale.

IV.4.3. Résultats d'optimisation par IWO

Les résultats de simulation à l'aide du ABC Algorithme sont présentés dans la figure IV.7, figure IV.8, tableau IV.8 et tableau IV.9.

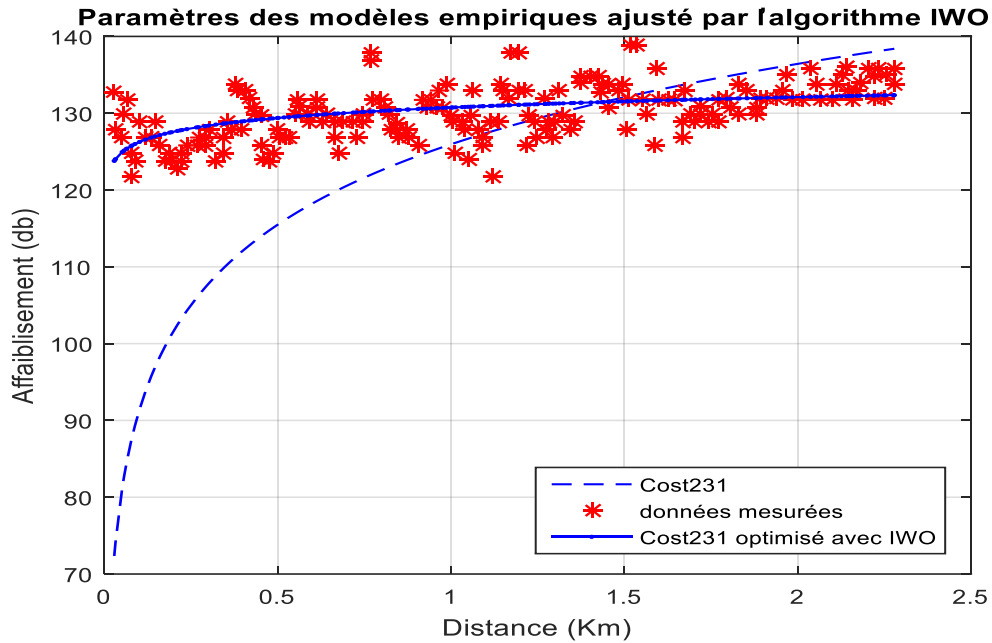


Figure IV.7: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec IWO (suburbain)

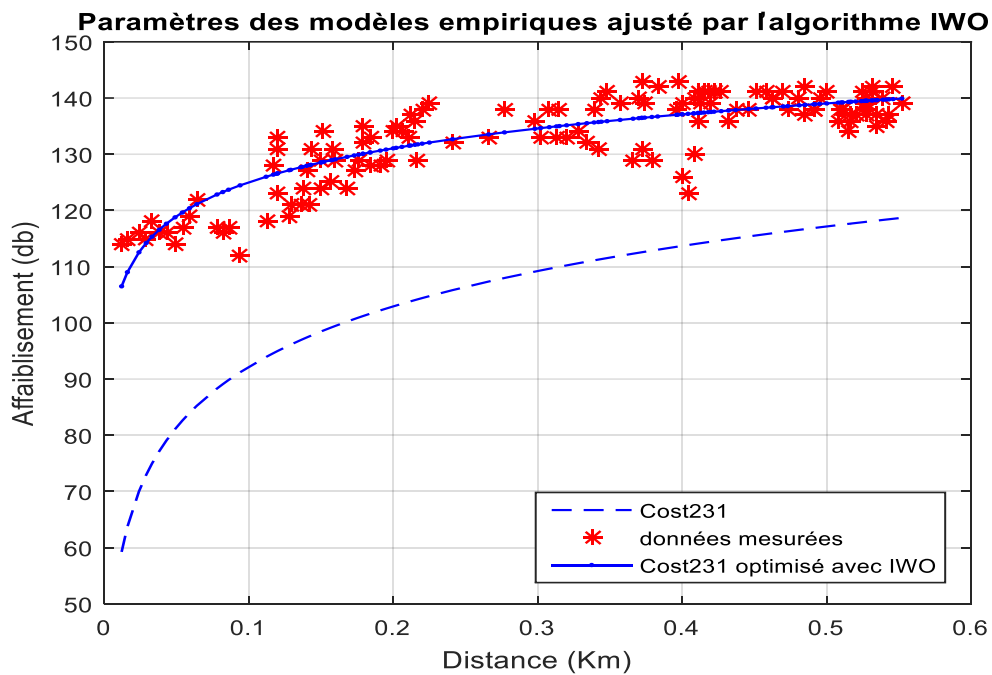


Figure IV.8: Comparaison entre COST231 et COST231-Opt avec IWO (rural)

Tableau IV.8. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (suburbain) :

| Paramètres | COST231-Opt avec IWO | COST-231 |
|------------|----------------------|----------|
| K1 | 59.3002 | 46.3 |
| K2 | 12.9726 | 44.9 |
| K3 | -21.2627 | - 13.82 |
| K4 | -75.9108 | - 6.55 |
| K5 | -52.0821 | 33.9 |
| RMSE | 3.0533 | 14.2664 |

Tableau IV.9. Résultats du processus d'optimisation du modèle COST-231Hata (rural) :

| Paramètres | COST231-Optimisé avec IWO | COST-231 |
|------------|---------------------------|----------|
| K1 | 50.0986 | 46.3 |
| K2 | 68.4610 | 44.9 |
| K3 | 77.8993 | - 13.82 |
| K4 | 15.2259 | - 6.55 |
| K5 | -3.4779 | 33.9 |
| RMSE | 4.1532 | 27.2553 |

Remarque :

En commençant par les résultats des tableaux 8 et 9 et en passant par les deux figures 7 et 8, nous avons remarqué que les deux modèles optimisés dans les régions rurales et suburbaines surpassent les autres modèles en termes de performance globale.

Ces courbes représenté le modèle COST-231 optimisé par trois méthodes proposées en deux régions BTS1, BTS2

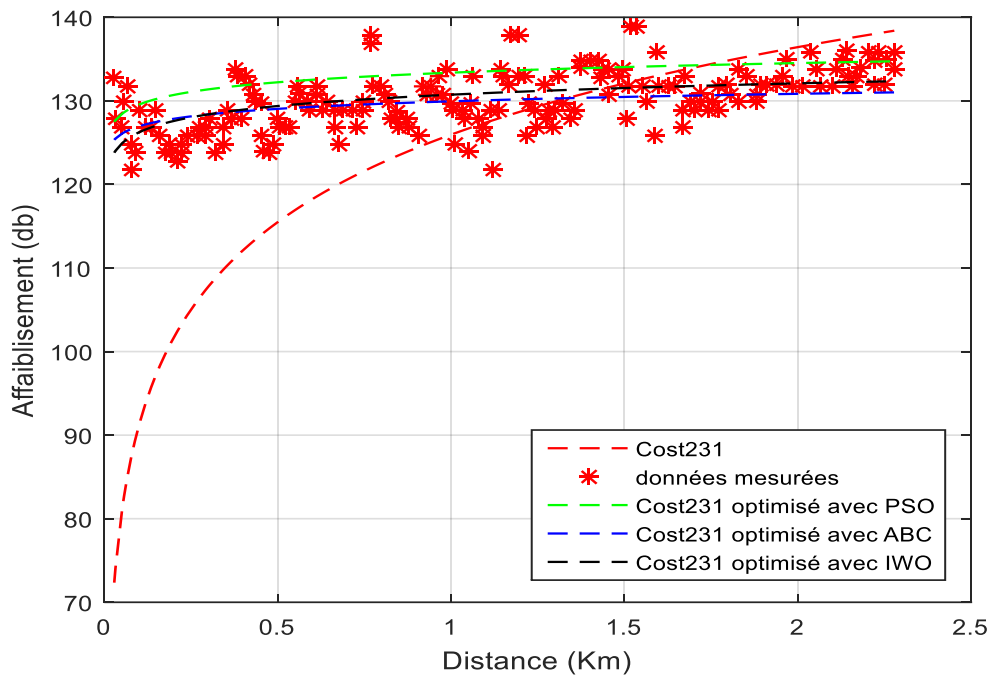


Figure IV.9: Comparaison entre COST-231 et modèles optimisés (BTS1).

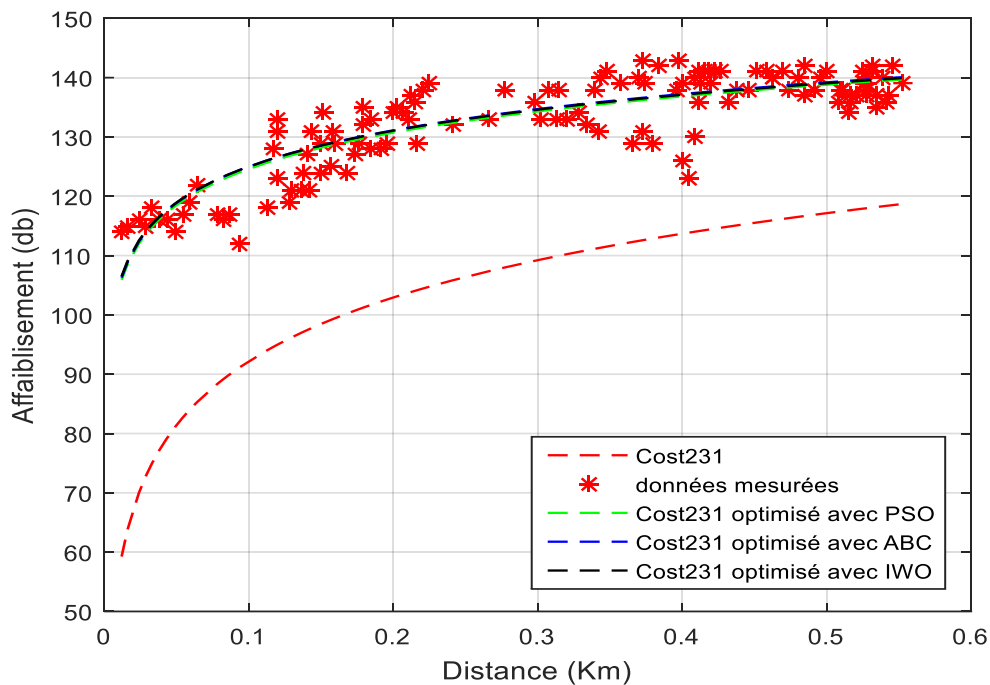


Figure IV.10: Comparaison entre COST-231 et modèles optimisés (BTS2).

Tableau IV.10. Comparaison des performances entre les modèles mesurés et ajustés selon les critères d'essai (RMSE) :

| Base station | COST231 | COST PSO | COST ABC | COST IWO |
|--------------|---------|----------|----------|----------|
| BTS1 | 27.2553 | 4.1427 | 4.1614 | 4.1532 |
| BTS2 | 14.2664 | 4.2750 | 3.1182 | 3.0533 |

Remarque:

À partir du processus d'optimisation du modèle COST 231, les modèles développés ont fait preuve d'une meilleure prédiction par rapport aux modèles existants en termes de performance globale comme le montre le tableau IV.10.

Un examen plus attentif du tableau IV.10 s'avère que la méthode IWO fournit les valeurs RMSE les plus basses dans les deux cas par rapport aux autres méthodes proposées dans une main et l'algorithme IWO peut converger rapidement par rapport aux autres concurrents.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, les pertes de trajectoire mesurées dans deux cellules sont comparées à des modèles théoriques de perte de trajectoire : HATA, SUI et EGLI. Sur cette base, un modèle COST-231 Hata optimisé pour la prévision de la perte de chemin dans les environnements ruraux et suburbains de la ville est développé. Les résultats obtenus nous ont montrés que ces techniques présentent une meilleure stratégie d'optimisation en termes de convergence et robustesse, elle fournit des solutions optimales globales.

Notre approches montre toujours le bon comportement de la convergence globale ce qui procède à de bons résultats précis dans un temps raisonnable d'ajustement des paramètres d'un modèle purement empirique dépend sur des mesures réels, Cette section a démontré l'efficacité et la fiabilité de ces approches d'optimisation.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Afin d'offrir un service de téléphonie radio-mobile de bonne qualité à leur abonnés, les opérateurs de téléphonie mobile effectuent des études techniques sur ces liaisons prenant en compte les différents affaiblissements ainsi que les différents mécanismes et phénomènes de propagation entrent en jeu :

La réflexion, la réfraction, la transmission, la diffusion, fading, et les trajets multiples etc.

Une estimation précise des pertes de propagation fournit une bonne base pour une conception correcte de la radio ingénierie. Plusieurs modèles empiriques de prédiction d'affaiblissement ont été développés, la généralisation de ces modèles à n'importe quel environnement est encore discutable. Pour pallier cet inconvénient, les paramètres des modèles empiriques peuvent être ajustés ou réglés en fonction de mesures réelles dans un environnement cible.

L'objectif de ce travail est alors l'optimisation de tel modèle ajustant les paramètres de ce dernier afin d'obtenir un minimum d'erreur entre la puissance du signal prédite et mesurée. Cela rendra le modèle plus précis pour la prédiction d'affaiblissement par des techniques d'optimisation globales.

Au cours d'élaboration de ce travail, une étude a été réalisée et structurée de 4 chapitres dont le premier est dédiée au concept GSM. Dans le quel, nous avons présenté le système cellulaire, l'architecture GSM et les différentes parties qui le composent, et la planification cellulaire, Nous nous sommes aussi intéressés brièvement aux quelques problème de réseau GSM les confronte.

Au niveau du second chapitre, différents modèles de prédiction des affaiblissements actuellement utilisées en ingénierie radio-mobile dans le réseau GSM ont été présentés d'une manière détaillée.

Dans le troisième chapitre, les algorithmes et tout ce qu'englobe l'utilisation de telles techniques pour résoudre un tel problème a été présentée.

Dans le dernier chapitre, l'implémentation de l'algorithme sur le problème d'optimisation de modèle COST231, et les résultats trouvés ont été présentés et discutés.

Et d'après ce qu'on a vu de ces résultats, notre approche a montré une forte optimisation globale des modèles empiriques (COST231) en termes de convergence et robustesse, et démontre l'efficacité et la fiabilité des algorithmes évolutionnaires. Ces résultats nous encouragent également à procéder d'utiliser ces techniques d'optimisation à une échelle grande, en appliquons autre algorithmes, sur le même problème, et ce sont nos perspectives au future proche.

Bibliographie

- [1] C. Déchaux, R. Scheller, « *What are GSM and DCS* », Electrical Communication, 2nd Quarter, 1993.
- [2] C. Turck, C. Weber, D.Thôme, « *Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radiomobiles : L'apport du Système d'Information Géographique ArcInfo 8* », In Actes de la Conférence SIG2002, ESRI France, Paris, 02-03 octobre 2002.
- [3] X. Lagrange, G. Philippe, T. Sami, « *Réseaux GSM* », Hermes Science Publications, Paris, 2000.
- [4] H. Buddendick, et al, « *Simulator for performance analysis in UMTS FDD networks with HSDPA, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*», PIMRC 2004. 15th IEEE International Symposium on Volume 3, 2004, pp. 2251-2255.
- [5] M. Khireddine, « *Analyse des méthodes d'égalisation des techniques CDMA* », Mémoire de Magister, Faculté de sciences de l'ingénieur, Université de Batna, Novembre 2008.
- [6] 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.
- [7] M. Hakim, « *Modèles et techniques d'optimisation dynamique pour les réseaux radiomobiles* », Thèse de doctorat, N° d'ordre 590 Année 2003.
- [8] X. Lagrange, G. Philippe, « *Les concepts cellulaires* », support cours ENST, fév.1999.
- [9] B. Fateh, « *Contribution à l'optimisation des télécommunications dans les réseaux mobiles* », Mémoire de Magister, Faculté de Technologie, Université de Batna, Avril 2011.
- [10] 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.
- [11] L.Vogler, « *An attenuation function for multiple knife-edge diffraction*», Radio-science, Vol. 17, n°6, 1982, pp. 1541-1546.
- [12] Ayadi Mohamed, « *Vers Un Outil D'évaluation De La Qualité De Couverture Du Réseau GSM Tunisien* », PFE, ENIT, LS Telecom, juillet 1999.
- [13] Hatem Mokhtari, « *Modèles de propagation pour l'ingénierie radio cellulaire* », 5 mai 2010, URL (<http://fr.scribd.com/doc/31684964/Modeles-de-Propagation-en-GSM>)

- [14] Mohamed, Mint « *Estimation du perte dans un réseau GSM avec la méthode SVM* », mémoire de Master, M'SILA, Juin 2016.
- [15] J. Bach Andersen, « *Issues and challenges of propagation studies for mobile networks* », in Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Conference PIMRC'94, The Hague, the Netherlands, September 1994, pp.1285-1291.
- [16] 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.
- [17] COST 231, « *Evolution of land mobile radio (including personal) communications* », Final report «Information, Technologies and Sciences», European Commission.1999.
- [18] J. J. Egli, « *Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain* », Proc. IRE, 45, No. 10, 1957, pp. 1383–1391.
- [19] G.Y. Delisle, et al., « *Propagation loss prediction: a comparative study to the mobile radio channel* », IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-34, no. 2, May 1985, pp. 86–96.
- [20] V.Erceg, K.V.S.Hari, et al., « *Channel models for fixed wireless applications* », tech. rep., IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, January 2001.
- [21] 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. 7, July 1999, pp. 1205–1211.
- [22] T. S. Rappaport, “*Wireless communications: Principle and practice*”, Prentice Hall PTR, UpperSaddle River, NJ, 2002.
- [23] W. C. Y. Lee, « *Mobile Communications Design Fundamentals* », John Wiley, 1993.
- [24] N.T. Surajudeen Bakinde, N. Faruk, A.A. Ayeni, M.Y. Muhammad, M.I. Gumel, “*Comparison of Propagation Models for GSM 1800 and WCDMA Systems in Selected Urban Areas of Nigeria*”. International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS), vol. 2, no.7, pp. 6-13, 2012.
- [25] V.H. Hinojosa, R. Araya “*Modeling a mixed-integerbinary small-population evolutionary particle swarm algorithm for solving the optimal power flow problem in electric power systems*” Applied Soft Computing, vol.13, pp3839–3852. 2013.

- [26] J.O. Famoriji, Y.O. Olasoji “*Radio Frequency Propagation Mechanisms and Empirical Models for Hilly Areas*” International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) vol. 3, no.3 , pp. 372-376. June 2013.
- [27] R. Eberhart, J. Kennedy, “ *A New Optimizer Using Particle Swarm Theory*”, Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science 0-7803-2676-8/95 \$4.00 0 IEEE, 1995
- [28] AR. Mehrabian, C. Lucas, “*A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization*”, Ecological Informatics, vol. 1, no.4, pp. 355–366. 2006.
- [29] A. Ashik , A.B.M. Ruhul “*Performance Comparison of Invasive Weed Optimization and Particle Swarm Optimization Algorithm for the tuning of Power System Stabilizer in Multi-machine Power System*”, International Journal of Computer Applications, vol. 41, no.16, pp. 29-36, 2012.