



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications.

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Utilisation d'un algorithme méta-heuristique
pour l'optimisation du modèle de propagation
Ericsson dans un réseau 4G.**

Présenté par :

- Ouendjeli Seyfeddine
- Ababssa Abdeldjalil

Devant le Jury :

Dr. MEDJALDI MALIKA

Université Abbes Laghrou de Khenchela

Président

Dr. MAAMRI FOUZIA

Université Abbes Laghrou de Khenchela

Encadrant

Dr. BOUMAHREZ FAROUK

Université Abbes Laghrou de Khenchela

Examineur

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma chère mère et cher père, et mes frères et sœurs

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me permettre

D'atteindre cette étape de ma vie. Avec toute ma tendresse.

J'oublie pas mes collègues et mes amis et tous qui m'aime

Ouendjeli Seyfeddine

Dédicace

*Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds,
Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont les plus chers,*

A mon père et à ma mère,

A tous mes frères, à toutes mes soeurs

A toute la famille

A tous mes amis,

A tous ceux qui ont contribué à ma formation .

Ababssa Abdeldjalil

Remerciement

*Nous remercions **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur : Dr **Maamri Fouzia**. Nous la remercions infiniment pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa patience, sa gentillesse, pour ses conseils précieuse. Nous remercions également Dr: **Medaldi malika** pour avoir accepté de présider notre jury, Je suis également honoré par l'acceptation de Dr. **Boumehez farouk** de juger notre travail et qui je le remercie beaucoup. Un grand remerciement à nos amis. Un merci particulier aux personnes qui nous ont soutenu et encouragé. Nous tenons également à remercier nos parents pour leur soutien inconditionnel. Si nous sommes là aujourd'hui, c'est grâce à eux. Enfin, nous remercions nos amis et les collègues de notre promotion.*

ملخص

مع تطور التكنولوجيا وربط ملايين الأجهزة والمستخدمين بالشبكة ، أصبح تحسين جودة الخدمة أمرًا مهمًا للغاية وهو أحد التحديات التي يواجهها مقدمو الخدمة عند تخطيط الاتصالات اللاسلكية. لذلك أجرى المهندسون العديد من التجارب لتخطيط الشبكات وقياس الخسارة في المدن والبلدات باستخدام ترددات ومسافات مختلفة. نتيجة لهذه التجارب ، تم تطوير نماذج الانتشار ، وأشهرها نموذج COST231-Hata ، ونموذج Okumura-Hata والنموذج الذي طورته شركة Ericsson ، حيث يعتمد هذا النموذج على التنفيذ المعدل لـ Okumura. هذا يجعل من الممكن ضبط معاملات النموذج وفقًا لبيئة الانتشار (مدن كبيرة ، مدن متوسطة الحجم أو منطقة صحراوية). في هذا العمل ، سيتم تحديد نموذج إريكسون من خلال تطبيق خوارزمية واجهة برمجة التطبيقات metaheuristic المستوحاة من مستعمرات النمل للحصول على المعاملات المثلى لنموذج إريكسون الأمثل التي تتوافق مع القيم الحقيقية.

كلمات مفتاحية: API، méta-heuristique، Ericsson

Résumé

Avec le développement de la technologie et la connexion de millions d'appareils et d'utilisateurs au réseau, l'amélioration de la qualité du service est devenue très importante et c'est l'un des défis auxquels les fournisseurs de services sont confrontés lors de la planification des communications sans fil. L'affaiblissement du signal dû au développement urbain, les ingénieurs ont donc mené plusieurs expériences pour planifier les réseaux et mesurer la perte dans les villes et les villages en utilisant différentes fréquences et distances. À la suite de ces expériences, des modèles de propagation ont été développés, dont les plus célèbres sont le modèle COST231-Hata, le modèle Okumura-Hata et le modèle développé par Ericsson, car ce modèle est basé sur l'implémentation modifiée d'Okumura. Cela permet d'ajuster les paramètres du modèle en fonction de l'environnement de propagation (grandes villes, villes moyennes ou zone désertique). Dans ce travail, le modèle Ericsson sera déterminé en appliquant l'algorithme API méta-heuristique inspiré des colonies de fourmis à fin d'obtenir des coefficients optimaux du modèle Ericsson optimisé qui correspondent aux valeurs réelles de l'affaiblissement.

Mots clés : API, Méta-heuristique, Ericsson

Abstract

With the development of technology and the connection of millions of devices and users to the network, improving the quality of service has become very important and it is one of the challenges that service providers face when wireless communications planning. Signal attenuation due to urban development, so engineers conducted several experiments to plan networks and measure loss in cities and towns using different frequencies and distances. As a result of these experiments, propagation models have been developed, the most famous of which are the COST231-Hata model, the Okumura-Hata model and the model developed by Ericsson, since this model is based on the modified implementation of Okumura. This makes it possible to adjust the parameters of the model according to the propagation environment (large cities, medium-sized cities or desert area). In this work, the Ericsson model will be determined by applying the meta-heuristic API algorithm inspired by ant colonies to obtain optimal coefficients of the optimized Ericsson model that correspond to the real values of the attenuation.

Keywords: API, Meta-heuristic , Ericsson

TABLE DES MATIERES

Dédicace

Remerciement

ملخص

Résumé

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Introduction Générale

Chapitre I: Généralité sur le réseau 4G

I.1	Introduction.....	1
I.2	Evolution des systèmes de communication mobile.....	1
I.2.1	La 1G.....	2
I.2.2	La 2G.....	2
I.2.3	Le réseau GSM.....	3
I.2.3.1	Architecture GSM.....	3
I.2.4	GPRS (General Pocket Radio Service).....	4
I.2.5	Le réseau EDGE 2.75G.....	5
I.2.6	La 3G (UMTS).....	5
I.2.7	Architecture de La 3G.....	5
I.2.8	La 3G+.....	6
I.2.9	Le réseau H+.....	7
I.2.10	La 4G /LTE.....	7
I.2.10.1	Accès sans fil LTE 21.....	7
I.2.10.2	Généralités de la technologie LTE (4G).....	8
I.2.10.3	Équipement Utilisateur (UE).....	9
I.2.10.4	La partie radio eUTRAN.....	9
I.2.10.5	Le réseau cœur : EPC.....	10
I.2.11	Caractéristiques du réseau 4G.....	12
I.2.12	Les techniques.....	13

Table des Matières

I.2.12.1	Les systèmes MIMO	13
I.2.12.2	« L'OFDMA » et « le SC-FDMA »	13
I.2.13	Duplexage	14
I.2.14	Le Handover dans LTE	15
I.2.15	La mobilité	16
I.2.16	Qualité de service (QoS).....	16
I.3	La 5G.....	16
I.4	Les modèles de propagations	17
I.4.1	Modèles empiriques	17
I.4.1.1	Le modèle d'Okumura-Hata :	18
I.4.1.2	Le modèle COST 231Hata	19
I.4.1.3	Modèle d'Egli	19
I.4.1.4	Modèle Erceg	20
I.4.1.5	Le Modèle Ericsson	21
I.4.2	Les modèles déterministes	21
I.4.3	Les modèles semi-empiriques	21
I.5	Conclusion	22
Chapitre II: Algorithme méta-heuristique		
II.1	Introduction.....	23
II.2	L'optimisation	23
II.3	Problème d'optimisation	24
II.4	Les éléments d'optimisation.....	24
II.5	L'optimisation combinatoire	25
II.6	Diverses méthodes d'optimisation.....	26
II.7	La démarche heuristique.....	26
II.8	Les métas heuristiques.....	27
II.8.1	Organisation générale.....	28
II.8.2	Applications	28
II.8.3	Méta- heuristique à recuit simulé.....	29
II.8.4	Les algorithmes génétiques.....	29
II.8.5	Optimisation par colonies de fourmis	30
II.8.5.1	Les phéromones	31
II.9	L'algorithme API (Pachycondyla Apicalis)	32
II.9.1	Modélisation algorithmique.....	32
II.9.1.1	Espace de recherche et fonction de notation	32
II.9.1.2	Comportement local des fourmis.....	33

Table des Matières

II.9.1.3 Déplacement du nid	35
II.10 Biologie des Pachycondyla Apicalis	36
II.11 Conclusion	39

Chapitre III: Résultats Et Discussion

III.1 Introduction.....	40
III.2 Les Données et l'analyse de l'affaiblissement	40
III.3 Résultats de simulation et discussion	41
III.3.1 Stratégie d'Optimisation.....	43
III.3.2 Critère d'arrêt.....	45
III.4 Résultats de l'optimisation par API	45
III.5 Conclusion	50

Conclusion générale

Bibliographie

LISTE DES FIGURES

Figure I.1:Évolution des générations de réseaux de communication	1
Figure I.2:Architecture GSM	4
Figure I.3: Architecture réseau GPRS.....	5
Figure I.4: Architecture de (UMTS)	6
Figure I.5:Réseau d'accès	8
Figure I.6:Architecture d'un réseau 4G	8
Figure I.7: Architecture E-UTRAN	10
Figure I.8:Architecture d'EPC	12
Figure I.9: les technologies de MIMO, MISO, SISO, SIMO.....	13
Figure I.10: Comparaison d'OFDMA et SC-FDMA	14
Figure I.11:Répartition temps-fréquence des canaux montant et descendant en mode duplex TDD et FDD	15
Figure II.1:Optima global et local dans l'espace de recherche	23
Figure II.2:Éléments indispensables à l'amélioration	25
Figure II.3:Classification des techniques d'optimisation.....	26
Figure II.4:Détermination du chemin le plus court à travers une colonie de fourmis	31
Figure II.5:Trouver une zone de chasse. Ant créé une liste de $p = 4$ lieux de chasse à la distance maximale A_{sit} près du nid N	Error! Bookmark not defined.
Figure II.6: Recherches locales de fourmis autour du site s_1 . Ceux-ci représentent l'exploration de la zone Radius A_{local}	34
Figure II.7: Un organigramme résumant les opérations individuelles de fourrageuse	35
Figure II.8:Imbriquer les diagrammes de déplacement	36
Figure II.9: Espèce de fourmi (<i>Pachycondyla apicalis</i>)	37
Figure II.10: Un exemple de carte (fictive) de la route et de la zone de récoltee de fourrag ...	38
Figure III.1: L'emplacement d'eNodB12668 Cité 1ére Novembre.....	40
Figure III.2:L'affaiblissement pour Le modèle Ericsson.....	41
Figure III.3:L'affaiblissement pour Le modèle Cost213Hata	42
Figure III.4:L'affaiblissement pour Le modèle Okumura-Hata.....	42
Figure III.5: Optimisation du modèle empirique par l'algorithme meta-heuristique API.....	44

Liste des figures

- Figure III.6: Comparaison entre le modèle Ericsson , Ericsson optimisée, Okomura-hata, Cost213 et les mesure réelles ainsi que la courbe de la fonction objective.46*
- Figure III.7: Comparaison entre le modèle Ericsson, Ericsson optimisée, komura-hata, Cost213 et les mesure réelles ainsi que la courbe de la fonction objective.46*
- Figure III.8: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okomura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective47*
- Figure III.9: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okomura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective48*
- Figure III.10: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okomura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective48*
- Figure III.11: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okomura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective49*

LISTE DES TABLEAUX

Table I.1 Le Valeurs par défaut des paramètres du modèle Ericsson.....	21
Table III.1 Les Informations de ce site d'émission.....	41
Table III.2 RMSE calculé avant optimisation	43
Table III.3 Résultats des tests d'optimisation d'Ericsson (zone suburbaine).....	49

LISTE DES SYMBOLES

API	Apicalis Pachycondyla Identification
AMPS	Advanced Mobile Phoner System
APN	Access Point Name
BSS	Sous système de station de base
CDMA	Code Division Multiple Access
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
EIRP	Equivalent Isotropie Radiated Power
EIR	Register identifier equipment
ENodeB	Evolved Node Base
ETWS	Earthquake Tsunami Warning System
ESA	L'Emergency Alert System
FDD	Frequency Division-Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile communication
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
HARQ	hybrid automatic repeat request
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSPA	High Speed Packet Access
HeNB	Home Evolved Node Base
IP	Internet Protocol

Liste des Symboles

LTE	Long Term Evolution
MMS	Multimedia Messaging Service
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management sEntity
MSC	Mobile Switching Center
MAPL	Maximum Allowable Path Loss
MAQ	Modulation Amplitude quadrature
MAD	Modulation par Déplacement d'Amplitude
NMT	Téléphone mobile Nordica
NMT-F	Nordica Mobile Telephone « français »
NTT	leading, global technology services company.
NNS	Newport News Shipbuilding,
NF	Noise Figure
OSS	L'Observatoire du Sahara et du Sahel
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PDC	Primary Domain Controller
PGW	Packet Data Network Gateway
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PIRE	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
PDN	Packet Data Network
PSO	Particle Swarm Optimization
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QOS	Quality of Service

Liste des Symboles

QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RNS	Radio Network Sub-system
RNC	Radio Network Controller
RXG	Gain d'antenne de réception
RAN	Radio Access Network
RMSE	Root Mean Square Error
SMS	Short Message Service
SU-MIMO	Optional technology that came along with 802.11n standards
SIM	Subscriber identity/Identification Module
S1-U	Interface entre EnodeB et S-GW (S1 User Plan)
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
S1-C	Interface entre EnodeB et MME (S1 Control Plan)
SHG	Gain de soft handover
SC-FDMA	Single Carrier FDMA
SGW	Serving Gateway
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Mobile
TDMA	Time Division Multiple Access
TACS	Total Access Communication System.
TDD	Time Division-Duplexing
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UE	User Equipment
Wi-Fi	wireless networking technology

Liste des Symboles

WiMax	Ou Internet radio
WCDMA	Wide band Code-Division Multiple Access
X2	Interface entre les eNodB

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, il faut plus de mobilité, de capacité de partager et d'échanger les données à tout moment et en tout lieu à l'aide d'appareils portables (téléphones mobiles, ordinateurs...etc).

Les réseaux mobiles sont devenus un moyen essentiel pour le développement et pour la communication vis-à-vis la vitesse de propagation ainsi que la puissance et la qualité de service. Il permet à des millions d'utilisateurs de se connecter simultanément en déplacement sans aucune restriction mobile. Cependant, les opérateurs de téléphonie mobile doivent s'adapter aux fortes exigences des clients et pour garantir l'efficacité de la communication en utilisant la technique de planification. L'optimisation des réseaux mobiles est une étape incontournable pour les opérateurs de téléphonie mobile pour faire la planification. Elle consiste à améliorer la qualité de service du réseau. en effet, des techniques et des algorithmes d'optimisation avancées sont mises en œuvre pour améliorer les performances du réseau. Parmi ceux-ci, les méta-heuristiques qui sont des algorithmes itératifs et stochastiques permettent de déterminer une solution optimale par exploration de l'espace de recherche.

Dans ce contexte, notre mémoire consiste à l'optimisation d'un modèle de propagation des réseaux mobiles 4G-LTE.

Ce mémoire est organisé en 3 chapitres. Dans le premier chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures et architectures.

Le deuxième chapitre sera consacré aux algorithmes d'optimisation et les algorithmes méta-heuristiques. Et nous allons décrire l'inspiration biologique de l'algorithme d'une espèce de fourmis qui s'appelle *Pachycondyla Apicalis* (API) et plus précisément l'auto-organisation et l'intelligence collective observées dans la nature, et leurs mécanismes qui donnent des idées pour la conception algorithmique.

Dans le dernier chapitre, nous allons tester et appliquer l'algorithme API pour optimiser le modèle empirique de pertes de propagation 4G-LTE (Ericsson). Nous travaillerons sur l'amélioration de ce modèle par rapport aux valeurs réelles de l'affaiblissement dans la zone étudiée (la zone suburbaine de Tébéssa) afin de le rendre plus adapté à cette zone. Ensuite, nous allons donner les résultats de simulation.

Enfin, une conclusion générale incluant le bilan des résultats des travaux de ce travail ainsi que les différentes perspectives afin d'ouvrir la voie à des études plus approfondies.

Chapitre I :

Généralité sur les réseaux
mobiles

I.1 Introduction

Après être entrée dans l'ère des communications, la demande de réseaux mobiles a augmenté, au fur et à mesure qu'elle s'est développée au fil des générations, à partir de l'intégration du réseau de première génération jusqu'à la quatrième génération 4G (LTE), qui permet le très haut débit, et la cinquième, qui est en cours de mise en œuvre. Les modèles de propagation radio sont une application importante pour aider à planifier la couverture radio dans les réseaux. Ces modèles nous permettent de calculer des paramètres spécifiques et de choisir le modèle de propagation le plus approprié tout en optimisant les ressources. Dans ce premier chapitre, nous présenterons brièvement les caractéristiques de chaque génération, et le réseau 4G sera détaillé car c'est l'objectif principal de notre étude, mettant en évidence les types de modèles de propagation radio les plus importants, et donnant l'équation de perte de trajet pour chaque modèle.

I.2 Evolution des systèmes de communication mobile

Les systèmes de communications mobiles ont connus une évolution énorme au fil des années passant de la première génération avec des systèmes analogiques à celle des systèmes numériques. Cette évolution est due à l'évolution technologique en télécommunication et en informatique, ainsi que la demande croissante des consommateurs. Ces différences générations ont été conçues sur les mêmes bases dont les principes généraux et les contraintes restent mêmes pour tous les réseaux mobiles.

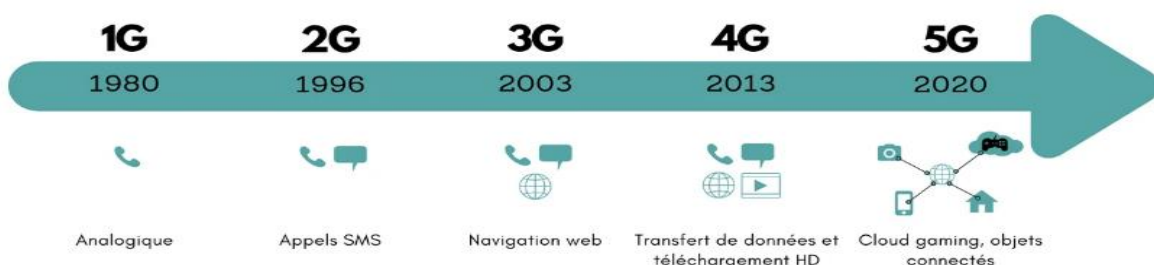


Figure I.1: Évolution des générations de réseaux de communication [1].

I.2.1 La 1G

Un réseau premier génération apparu dans les années 1970 et destiné uniquement aux appels vocaux. il faut savoir que les réseaux mobiles 1G reposent sur la technologie dite "analogique". Cela contraste avec les téléphones mobiles de nouvelle génération (2G, 3G, 4G, 5G), qui utilisent eux-mêmes la technologie "numérique". depuis son introduction en 1976, plusieurs normes de réseau 1G ont été utilisées dans le monde, notamment :

- ❖ La norme AMPS (Advanced Mobile Phone System) est utilisée aux États-Unis (depuis 1976), en Russie, en Australie et dans certains pays asiatiques.
- ❖ Norme NMT (téléphone mobile Nordica) : Il a été utilisé dans les pays nordiques, de nombreux pays européens, la Russie, le Moyen-Orient et l'Asie au début des années 1980.
- ❖ Norme TACS (Total Access Communication System) : Version européenne de la technologie AMPS, largement utilisée au Royaume-Uni, à Hong Kong et au Japon.
- ❖ Normes TZ-801, TZ-802, TZ-803 et JTACS (Yelping Total Access Communications System) utilisées au Japon depuis 1979.
- ❖ La norme Radiocompas 2000 introduite par France Télécom en France en 1986, et NMT-F (Nordica Mobile Telephone « français ») introduite en 1988 [2].

Cependant, la 1G présente de nombreux inconvénients.

Le service cellulaire est médiocre, peu sûr (les appels ne sont pas cryptés) et coûteux.

À la fin des années 1980, la 2G a commencé à remplacer les réseaux 1G dans de nombreux pays. il est désormais obsolète. A noter que la France a abandonné la 1G au profit de la 2G le 28 juillet 2000 [3].

I.2.2 La 2G

La deuxième génération de réseaux radio mobiles (2G) se caractérise également par le nombre de systèmes définis et utilisés dans le monde. GSM est en Europe, PDC au Japon et IS-95 aux États-Unis. Ces systèmes étaient capables de ralentir les transferts de données. les progrès technologiques dans le développement des circuits hyperfréquences et des processeurs de signaux numériques ont considérablement réduit la taille de la terminale et permis une véritable mobilité. la vitesse du réseau (2G) atteint 118 kbps en bande montante et 384 kbps en bande descendante. une avancée de cette technologie par rapport aux technologies précédentes est qu'elle prend en charge la transmission de la voix ainsi que des données telles que des messages texte courts appelés SMS en utilisant les techniques TDMA et FDMA. la

normalisation du réseau GSM a commencé en 1982 et a été mise en œuvre en 1991. la première amélioration majeure de la 2G est l'introduction du GPRS, qui est basé sur la transmission de données par paquets. Aussi connu sous le nom de 2.5G. d'autres améliorations ont depuis été apportées à ce réseau, comme EDGE appelé 2.75G. les systèmes 2G ont en commun d'être basés sur un codage et une modulation de type numérique. Le signal vocal est converti en un train de bits et envoyé sur l'interface hertzienne avant d'être modulé [4].

I.2.3 Le réseau GSM

Norme numérique pour les téléphones mobiles. il a été lancé en 1982 dans le cadre de l'Administration européenne des postes et télécommunications (CEPT). Cette utilisation a commencé au début de 1991. son objectif est de répondre aux besoins croissants des communications mobiles sans fil et d'établir des normes internationales. sa création a marqué le début des petites transmissions de données numériques telles que les SMS et MMS que nous connaissons tous aujourd'hui.

Le GSM est divisé en trois parties principales : le BSS (composé de téléphones mobiles et de stations de base), qui garantit la transmission et la réception des signaux de fréquence, et le NSS, qui gère la communication entre les lignes téléphoniques et l'OSS (GSM). interface de gestion de réseau). où toutes les tâches de maintenance du réseau sont effectuées

Deuxièmement, rappelez-vous que le GSM est en fait une combinaison de deux composants.

Un terminal ou un appareil mobile (c'est-à-dire un téléphone) émis par un opérateur mobile et un module de sécurité (généralement une carte SIM). Lorsqu'un smartphone se connecte à un réseau GSM, il recherche un signal d'identification. envoyé depuis l'antenne d'appel. il envoie ensuite les informations au centre de commutation qui gère le réseau de l'opérateur [2].

I.2.3.1 Architecture GSM

Un réseau GSM possède une (ou plusieurs) stations de base par cellule. les stations mobiles sélectionnent les cellules en fonction de la force du signal. une communication continue a lieu entre les cellules, permettant la mobilité des utilisateurs [5]. un réseau GSM se compose de trois sous-réseaux.

- ❖ Système radio : BSS - Sous-système de station de base.
- ❖ Système réseau : Sous-système de réseau NSS..
- ❖ Système opération : OSS - Sous-système des opérations [5].

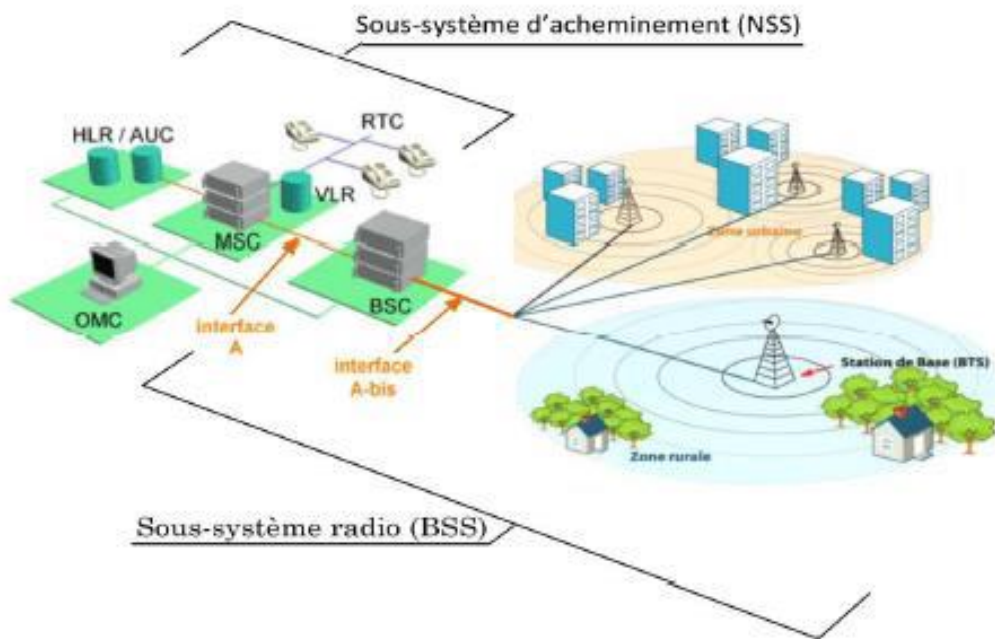


Figure I.2: Architecture GSM [5].

I.2.4 GPRS (General Packet Radio Service)

Le réseau GPRS (General Packet Radio Service) a été créé pour fournir des services complémentaires à ceux du GSM. En fait, l'architecture GSM fournit des services vocaux et l'architecture GPRS fournit des services de données par paquets à haut débit.

En effet, les réseaux GSM disposent de services de données en mode ligne, mais le débit en mode "connecté" ne dépasse pas 9,6 kbps, ce qui est "trop étroit" pour transmettre des données informatiques.

De plus, ce mode de connexion nécessite la monopolisation d'un canal pour toute la communication, ce qui est inadapté aux services d'échange de données et gaspille les ressources radio [6]. L'architecture est donnée par la figure suivante.

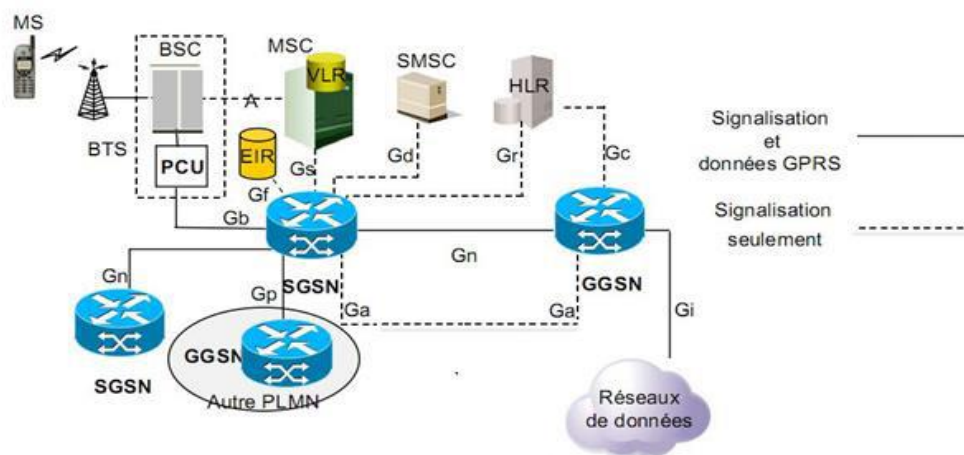


Figure I.3: Architecture réseau GPRS [6].

I.2.5 Le réseau EDGE 2.75G

Introduit pour la première fois en juillet 2003, EDGE est une autre norme appelée 2.75G qui permet une vitesse théorique de 384 Kbps. la deuxième génération se limitait à l'envoi de vidéo et de visioconférence.

L'Union internationale des télécommunications (UIT) définit des normes de troisième génération par le biais des télécommunications mobiles internationales IMT-2000. Ces spécifications permettent la transmission de données multimédia telles que la vidéo, la visioconférence et l'accès Internet haut débit [7].

I.2.6 La 3G (UMTS)

La troisième génération est poussée pour permettre les applications vidéo mobiles et améliorer la qualité de service multimédia. les applications ciblées comprenaient le visionnage de YouTube et les appels vidéo. en plus de l'augmentation de la vitesse, le passage du service téléphonique (connexion de ligne) au service de données (connexion par paquets) était une question complexe [8].

I.2.7 Architecture de La 3G

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau

GPRS. le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia. le réseau cœur se décompose en deux parties: le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet. la figure présente l'architecture du réseau UMTS [9].

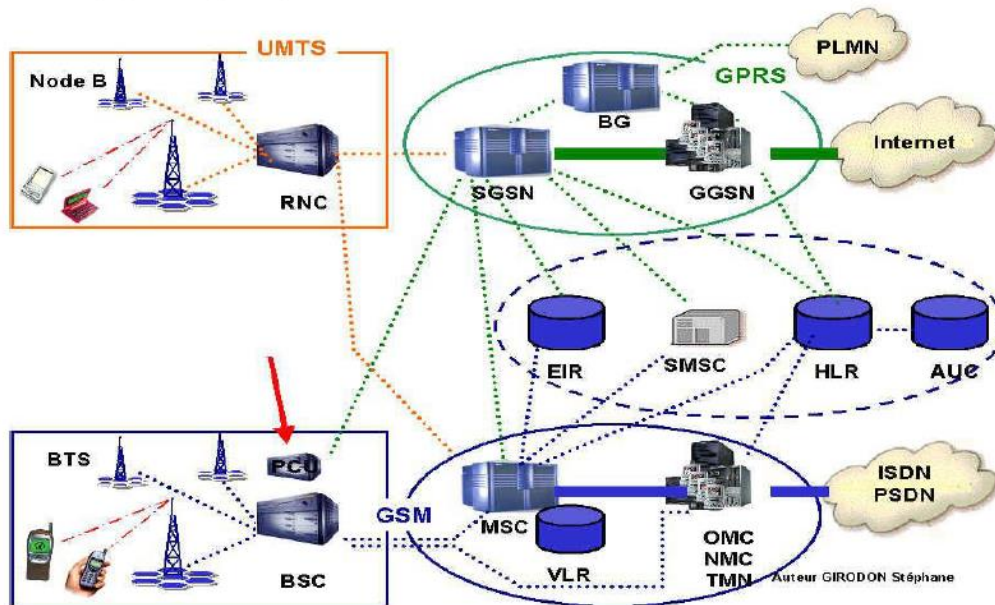


Figure I.4: Architecture de (UMTS) [9].

I.2.8 La 3G+

La dernière technologie cellulaire, high Speed Downlink Packet Access (HSDPA), est en développement depuis 2006. cette version offre des débits réels d'environ 1,8 Mbit/s (5 fois plus rapides que l'UMTS). la prochaine version de HSDPA fournira une vitesse physique de 3,6 Mbit/s. comme l'UMTS, HSDPA fonctionne dans la gamme de fréquences 1900-2000MHz

Introduit en 2007, « 3G+ » ou « 3.5G » est la 3G avec des débits accrus grâce à un nouveau système appelé HSDPA ou Accès par paquets de liaison descendante haute vitesse. la bande de fréquence autour de 5000MHz est utilisée. La 3G+ est étroitement liée à la 3G, bien que des vitesses de téléchargement de 8 à 10 Mbit/s puissent être atteintes dans des conditions optimales. il utilise toujours la même méthode de cryptage, qui est W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) [10].

I.2.9 Le réseau H+

H+ signifie HSDPA (Accès haut débit par paquets en liaison descendante). EDGE avec WCDMA et UMTS correspond au GSM en termes de vitesse de transmission et de capacité. Les vitesses de téléchargement 3G existantes (jusqu'à 384 Kbps, par défaut jusqu'à 2 Mbps) ont été augmentées à 14 Mbps (vitesse maximale par défaut) sur les systèmes HSDPA de première génération. cela permet aux opérateurs de prendre en charge davantage d'abonnés haut débit sur la même fréquence radio (porteuse), assurant ainsi une utilisation optimale des services multimédias existants ou futurs [11].

I.2.10 La 4G /LTE

La technologie LTE (évolution à long terme) ou 4G est basée sur des réseaux de transport IP à commutation de paquets. contrairement à la 3G, qui transmet la voix en mode ligne, il n'y a pas d'autre mode de routage de la voix que la VoIP.

Le LTE utilise des bandes de fréquence Hertz avec des largeurs variables entre 1,4 MHz et 20 MHz, il peut donc atteindre des débits théoriques allant jusqu'à 300 Mbps dans la "liaison descendante" (pour la bande 20 MHz). D'autre part, "Trueis 4G" fournit une liaison descendante. vitesse jusqu'à 1 Gbit/s.

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies avancées permettant d'améliorer significativement les performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. le multiplexage à accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA) minimise les interférences et optimise l'utilisation du spectre. utilisation de plusieurs technologies d'antennes (Wi-Fi et WiMax) permet plus de canaux de communication parallèles, augmentant la vitesse et la portée globales [8].

I.2.10.1 Accès sans fil LTE 21

Le LTE était déjà envisagé comme un développement à long terme de l'UMTS (d'où le nom "Long-Term Evolution") en novembre 2004 dans le cadre d'un atelier organisé par le 3GPP appelé "Future Evolution Workshop". l'objectif de ce développement était de maintenir la compétitivité de l'UMTS pendant plus de dix ans. les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au sein du 3GPP en janvier 2005 par un séminaire de recherche et se sont achevés en septembre 2006 par la définition des principes de base de la technologie LTE. le travail de

spécification proprement dit s'est ensuite poursuivi jusqu'en décembre 2008, date à laquelle la première version de la spécification a été approuvée [12].

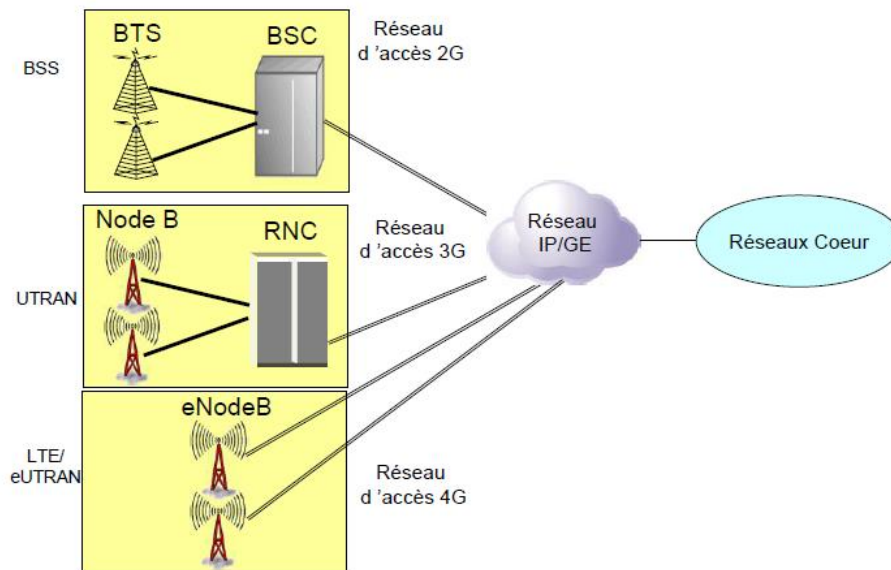


Figure I.5: Réseau d'accès [13].

I.2.10.2 Généralités de la technologie LTE (4G)

La technologie LTE offre des vitesses allant jusqu'à des dizaines de Mbps, des performances nettement meilleures que les technologies 3G et 3G+ actuellement utilisées, ainsi qu'une latence plus faible et une meilleure interaction avec la 4G pour la transmission de toutes les informations voix et données, ce qui offre aux utilisateurs un "long- évolution du terme ». sur IP. c'est le même protocole utilisé sur Internet. Moins cher et plus facile à gérer pour les fournisseurs. il facilite également le développement d'applications multimédias.

Cette version a des vitesses de téléchargement plus rapides et des délais plus courts [14].

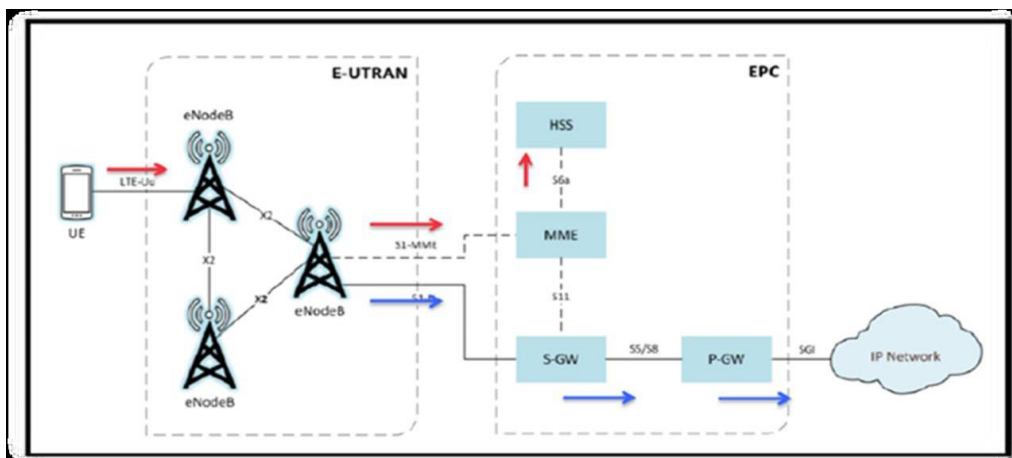


Figure I.6: Architecture d'un réseau 4G [15].

I.2.10.3 Équipement Utilisateur (UE)

La mise en œuvre du LTE nécessite de nouveaux équipements réseau, tels que de nouveaux terminaux compatibles avec cette nouvelle technologie.

Comme pour la 3G, les vitesses maximales qu'un utilisateur LTE peut atteindre dépendront de la catégorie UE qu'il utilise, ce qui déterminera la complexité et le coût. par conséquent, différentes catégories d'UE ont été définies. Plus précisément, ils se distinguent par :

- ❖ Modulations prises en charge pour la liaison descendante et la liaison montante
- ❖ Le nombre de flux indépendants, appelés couches spatiales, qui peuvent être reçus dans la liaison descendante lorsque le multiplexage spatial ou SU-MIMO (MIMO mono-utilisateur) est utilisé.
- ❖ Une implémentation SU-MIMO nécessite que l'UE et le réseau aient au moins autant d'antennes que le nombre de couches spatiales transmises.
- ❖ Puissance de traitement au niveau de l'UE pour mettre en œuvre le traitement requis pour démoduler et décoder les signaux reçus. Sa complexité est déterminée par le débit maximum supporté.
- ❖ La quantité de mémoire nécessaire pour implémenter la combinaison HARQ et les opérations de couche RLC (contrôle de liaison radio).

Par rapport à l'UMTS, le nombre de catégories UE-LTE a été réduit au minimum pour limiter la fragmentation du marché et favoriser les économies d'échelle [12].

I.2.10.4 La partie radio eUTRAN

La seule entité présente lors de l'accès est l'eNodeB, qui peut être assimilé au Node B RNC. L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE.

Contrairement à l'UTRAN où il y a des entités Node B et RNC, l'architecture e-UTRAN n'a que eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC sont réparties entre l'eNodeB et les entités de cœur de réseau MME/SGW. eNodeB a une interface S1 avec le réseau central. l'interface S1 se compose de S1-C (S1-Control) entre eNodeB et MME et S1-U (S1-User) entre eNodeB et SGW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre les eNodeB adjacents. son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur (handover) en mode actif.

Lorsqu'un utilisateur passe d'un eNodeB à un autre eNodeB en mode ACTIF, l'UE se voit allouer de nouvelles ressources sur le nouvel eNodeB. Cependant, le réseau continuera à

envoyer des paquets entrants à l'ancien eNodeB à moins que le nouveau eNodeB n'informe le réseau qu'il a l'intention de transmettre des paquets entrants pour cet UE. pendant ce temps, l'ancien eNodeB transmet les paquets reçus sur son interface X2 au nouveau eNodeB, qui à son tour envoie les paquets à l'UE.

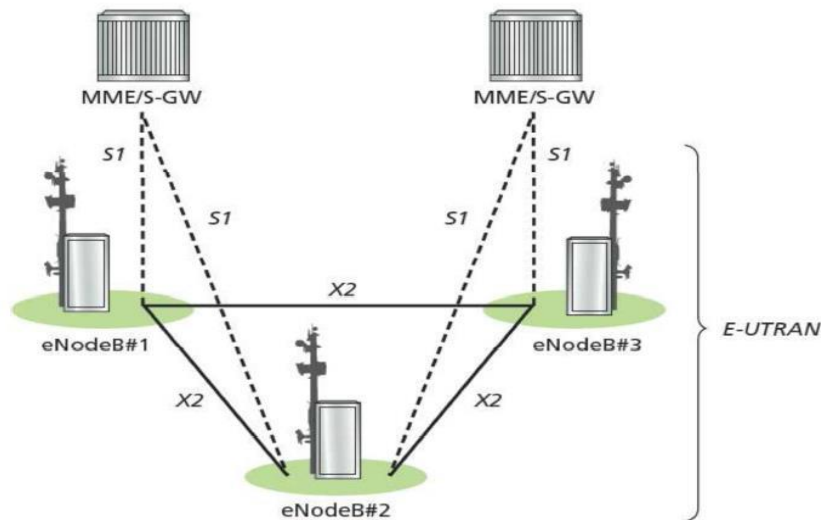


Figure I.7: Architecture E-UTRAN [16]

Les eNodeB sont connectés les uns aux autres via des interfaces

- ❖ Interface X2 :C'est une interface logique. cela a été introduit pour permettre aux eNodeB d'échanger des informations de signalisation pendant le transfert ou la signalisation sans passer par le réseau central.les eNodeB sont connectés au cœur du réseau via des interfaces S1.
- ❖ Interface S1 :C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau central. cela peut être classé en deux interfaces de base.

Ce dernier se compose de S1-U (S1-User) entre eNodeB et SGW et S1-C (S1-Control) entre eNodeB et MME [16].

I.2.10.5 Le réseau cœur : EPC

Ce nouveau cœur de réseau utilise de nouveaux équipements mais conserve une partie de l'esprit des cœurs de réseau 2G et 3G paquets. le plus important pour le développement ultérieur d'ePC est de séparer les niveaux de contrôle et d'utilisation de l'équipement de base. a l'instar du circuit NGN (Next Generation Network, encore développé par la Release

4 3GPP), dans la plupart des cas les flux "contrôle" et "utilisation" ne sont plus destinés au même équipement. Nouveaux éléments de la 4G :

❖ SGSN est divisé en deux unités fonctionnelles différentes. MME (Mobile Management Entity) pour le niveau 'contrôle' et Serving Gateway pour le niveau 'utilisation'. Le MME gère donc les sessions du terminal (authentification, autorisation, sessions voix et données) et la mobilité (localisation, 'paging', 'handover', etc.). Les passerelles de desserte sont chargées d'acheminer les flux « utiles » (communications voix, trafic de données, etc.) au sein du réseau cœur.

❖ GGSN sera remplacé par PDN Gateway (Packet Data Network Gateway). Une passerelle PDN est chargée de se connecter à d'autres réseaux (publics ou privés), notamment le monde Internet.

❖ HLR sera remplacé par HSS (Home Subscriber Server). Le HSS est responsable à peu près des mêmes fonctions que le HLR - la base des profils d'abonnés avec des droits et des propriétés. HSS inclut également la possibilité de se connecter au monde IMS pour gérer des services vocaux enrichis. Un nouvel élément du cœur de réseau 4G est le PCRF (Policy and Charging Rules Function). Il gère dynamiquement la facturation des flux et les politiques de qualité de service (flux best effort, débits « premium » de bande passante et de latence garantie, tarification dynamique). Débit, etc).

❖ Le PCEF (Policy and Charging Enforcing Function), module fonctionnel intégré à la passerelle PDN, applique les règles spécifiées par le PCRF.

❖ Enfin, bien que ne faisant pas réellement partie de la 4G, l'IMS (IP Multimedia Subsystem) est un ensemble d'éléments permettant de délivrer des services multimédias sur les réseaux IP (et donc les réseaux cellulaires en particulier). IMS permet une large gamme de services interpersonnels multimédias.

Voix sur IP, visioconférence, agenda étendu, messagerie instantanée, sonnerie sur plusieurs appareils, etc[14].

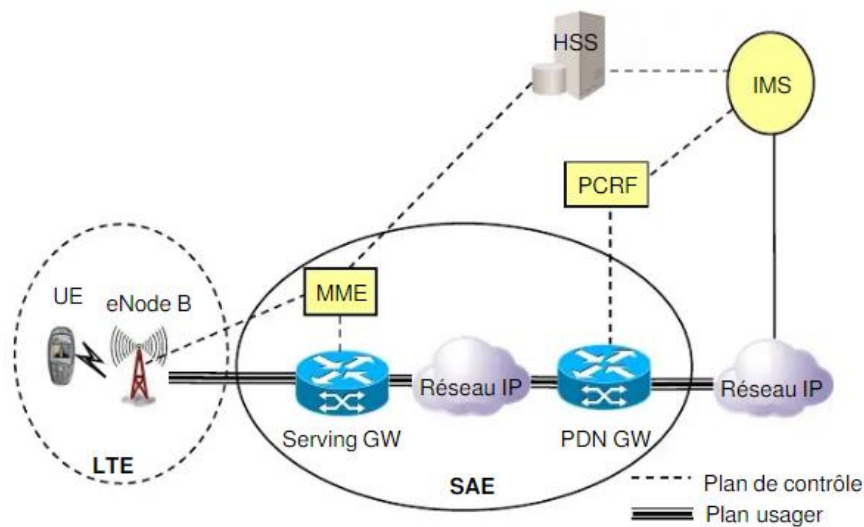


Figure I.8: Architecture d'EPC [15]

I.2.11 Caractéristiques du réseau 4G

- ❖ Fournit un débit de données de pointe de 50 Mbit/s pour le trafic vocal en liaison montante.
- ❖ Débit de crête théorique de 100-300 Mbit/s en liaison descendante avec un temps aller-retour sur l'interface radio (RAN) inférieur à 10 ms.
- ❖ LTE utilise une bande passante de 2x20 MHz et prend en charge le duplex temporel (TDD) ou le duplexage par répartition en fréquence (FDD).
- ❖ La taille des cellules est de 5 km pour de meilleures performances.
- ❖ Ces performances sont rendues possibles par l'utilisation de la technologie de transmission OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et des antennes MIMO à accès multiple (Multiple Input Multiple Output). OFDMA (OFDM Multiple Access) est utilisé sur la liaison descendante et SCFDMA (Single-Carrier FDMA) sur la liaison montante.
- ❖ Le LTE répond aux nouvelles exigences (faible latence, haut débit, nouveaux services avec forte utilisation des interconnexions)
 - ❖ Architecture générale simplifiée
 - ❖ La pile de protocoles est basée sur le protocole IP
 - ❖ La qualité du service est garantie du début à la fin, principalement par les transporteurs EPS
 - ❖ Amélioration des performances par méthode (interlayer)
 - ❖ WiMax (IEEE 802.16) est un concurrent de LTE [17].

I.2.12 Les techniques

I.2.12.1 Les systèmes MIMO

Le but de la technologie MIMO est d'augmenter la vitesse et la portée des réseaux sans fil, elle est donc basée sur l'utilisation de plusieurs antennes à la fois du côté émission et du côté réception.

Si un tel système se compose d'une seule antenne d'émission et de plusieurs antennes de réception, il est appelé SIMO, et s'il se compose de plusieurs antennes d'émission et d'une antenne de réception, il est encore appelé MISO. Enfin, lorsque chaque côté possède une antenne, cela s'appelle SISO.

En réalisant une telle structure, LTE atteint des vitesses plus élevées. De plus, l'utilisation de plusieurs antennes de chaque côté du système peut aider à fournir de la diversité et à améliorer le rapport signal/bruit [18].

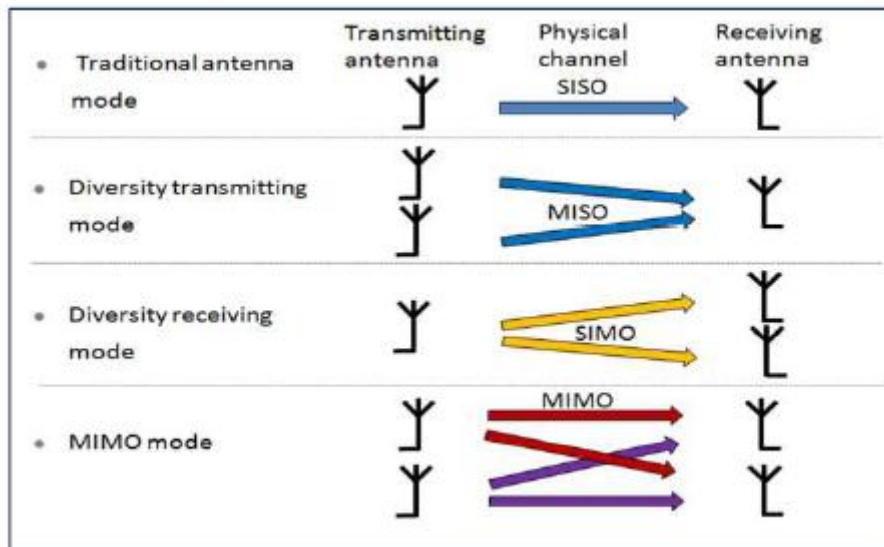


Figure I.9: les technologies de MIMO, MISO, SISO, SIMO [18].

I.2.12.2 « L'OFDMA » et « le SC-FDMA »

Ces dernières années, le besoin de systèmes sans fil avec des données et un débit élevés a progressivement augmenté. Après les systèmes de radiocommunication mobile UMTS, les systèmes d'évolution à long terme (LTE) attirent l'attention dans le cadre du projet de partenariat de 3e génération (3GPP). L'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA) est utilisé pour la liaison descendante et le SC-FDMA est utilisé pour la liaison montante en tant que schéma d'accès multiple dans le système LTE. SC-FDMA est

une forme modifiée d'OFDMA avec quelques exigences supplémentaires pour la liaison montante des systèmes LTE. Certaines de ces exigences sont :

- ❖ Prise en charge de divers débits de données.
- ❖ Le PAPR de la forme d'onde transmise est suffisamment faible pour éviter une forte consommation d'énergie au niveau du terminal mobile (émetteur de liaison montante).
- ❖ Amélioration du débit du système de liaison montante.

Pour répondre à ces exigences, SC-FDMA est choisi comme schéma d'accès multiple de liaison montante pour LTE. En termes de génération du signal transmis, SC-FDMA et OFDMA sont des schémas similaires, à l'exception de la transformée de Fourier discrète (DFT) effectuée sur les symboles de données modulés par SC-FDMA [19].

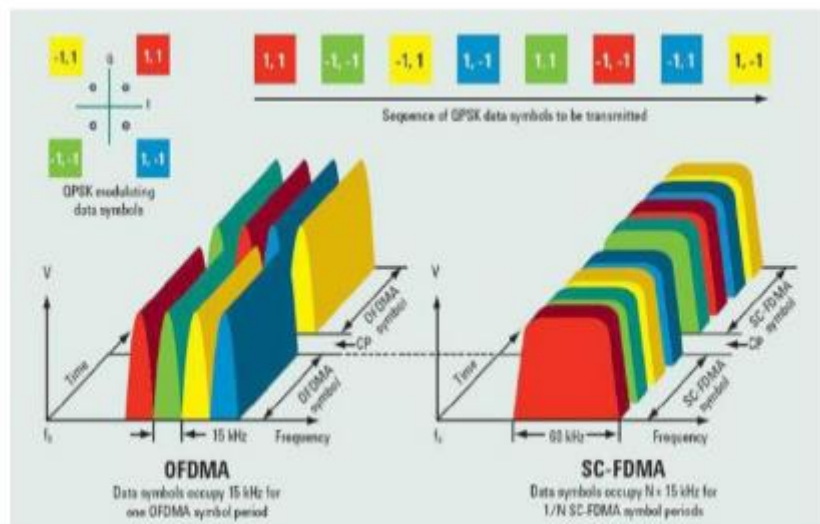


Figure 1.10: Comparaison d'OFDMA et SC-FDMA [19].

I.2.13 Duplexage

Le duplexage définit la manière dont les transmissions en liaison descendante et en liaison montante sont séparées. La liaison descendante, également appelée liaison descendante (DL), correspond à la transmission de la station de base vers l'UE. la liaison montante, également appelée liaison montante (UL), correspond à la transmission de l'UE vers la station de base. il existe deux principaux modes duplex, tous deux gérés par l'interface radio LTE :

- ❖ Duplex en fréquence ou duplex par répartition en fréquence (FDD).
- ❖ Duplex temporel ou duplex à répartition dans le temps (TDD).

En mode FDD, les canaux montant et descendant fonctionnent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde. en mode TDD, la liaison montante et la liaison descendante utilisent la même fréquence porteuse, qui est partagée dans le domaine temporel, comme illustré dans la figure ci-dessous. Certains créneaux de transmission sont réservés aux canaux amont, tandis que d'autres sont réservés aux canaux aval. un changement de sens de transmission nécessite un temps de garde, notamment pour laisser le temps à l'appareil de passer de l'émission à la réception. En LTE, un intervalle de temps de base pouvant être dédié à l'un des sens de transmission est appelé une sous-trame[12].

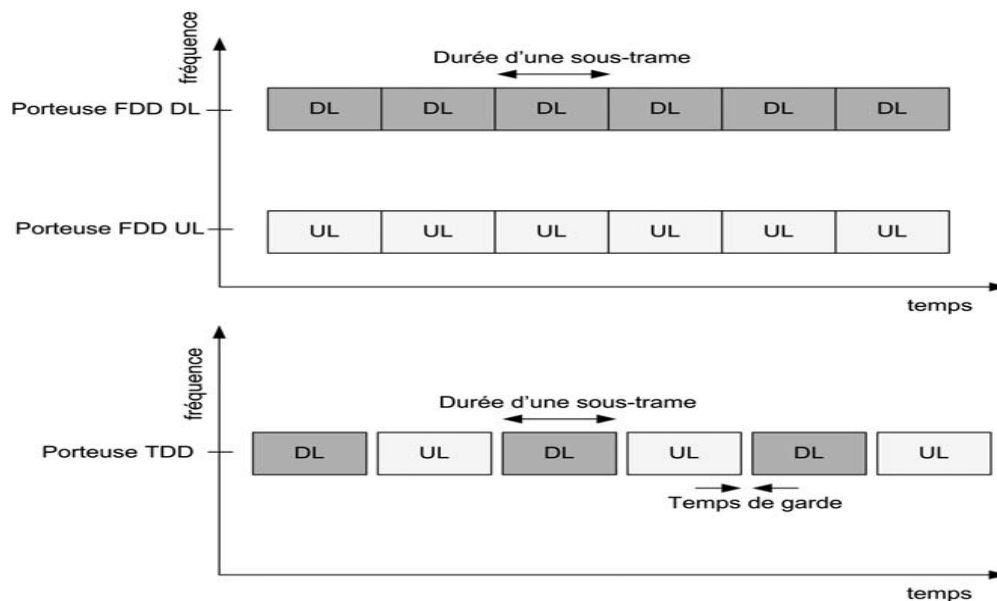


Figure I.11: Répartition temps-fréquence des canaux montant et descendant en mode duplex TDD et FDD [12]

I.2.14 Le Handover dans LTE

Dans le LTE, la gestion de la mobilité est distribuée et l'eNodeB décide du handover de manière autonome sans impliquer les éléments suivants : MME et S-GW. les informations nécessaires au handover sont échangées entre les eNodeB via une interface appelée X2. une fois la nouvelle connexion allouée entre l'UE et le nouvel eNodeB, la MME et la SGW seront informées par un message de transfert complet.

Une fois que la passerelle a reçu le message, elle change de chemin. Pendant le transfert, il y a un délai pendant lequel l'UE n'est pas connecté au système. Pour résoudre ce problème, une solution temporaire consistant à transférer les données perdues de l'ancien eNodeB vers le nouveau eNodeB est proposée.

Dans ce cas, il n'y a pas de stockage de données au niveau de la passerelle. L'avantage de cette solution est de minimiser la charge de signalisation à l'interface entre eNodeB et MME/SGW

Il n'y a maintenant que deux principaux types de principaux de handover

- ❖ Handover intra-eNodeB : De nouvelles ressources radio (blocs de ressources) sont allouées à un terminal mobile dans une autre cellule radio (autre bande de fréquence) ou un autre "secteur" géré par le même eNodeB.

- ❖ Inter-eNodeB Handover : De nouvelles ressources radio (blocs de ressources) sont allouées à un terminal dans une cellule gérée par un autre eNodeB. la conversation entre les deux eNodeB se déroule sur la liaison X2 du réseau EUTRAN de l'opérateur mobile [16].

I.2.15 La mobilité

La mobilité est une fonction clé des réseaux mobiles. L'objectif du LTE est de maintenir la fonctionnalité pour les UE se déplaçant à grande vitesse (jusqu'à 350 km/h, voire 500 km/h selon la bande de fréquence), tout en optimisant pour les UE à faible vitesse (0 à 15 km/h). le transfert intra-système (processus de mouvement entre deux cellules LTE) doit avoir moins d'impact sur la qualité de la voix que le GSM ou équivalent. le système doit également intégrer des mécanismes pour optimiser la latence et la perte de paquets lors des transferts intra-système. [20].

I.2.16 Qualité de service (QoS)

Est la capacité à transmettre un certain nombre de paquets dans de bonnes conditions dans une connexion entre un émetteur et un récepteur.

La croissance d'Internet et du nombre d'utilisateurs pouvant s'y connecter nécessite un haut niveau de qualité de service. Dans cette optique, plusieurs groupes de travail sur le réseau 4G ont été constitués. les nouvelles exigences de mobilité des utilisateurs et le développement de réseaux permettant aux utilisateurs de se déplacer ont déplacé le problème vers les réseaux sans fil [21].

I.3 La 5G

La 5G est la cinquième génération de technologie cellulaire. il est conçu pour augmenter la vitesse, réduire la latence et augmenter la flexibilité des services sans fil. la 5G a une vitesse

maximale théorique de 20 Gbit/s, par rapport à la vitesse maximale de la 4G de seulement 1 Gbit/s. La 5G promet également une latence plus faible, ce qui peut améliorer les performances des applications professionnelles, ainsi que d'autres expériences numériques telles que les jeux en ligne, les vidéoconférences et les voitures autonomes.

Alors que les générations précédentes de technologie cellulaire, telles que la 4G LTE, se concentraient sur la connectivité, la 5G place la barre encore plus haut en offrant aux clients une expérience connectée depuis le Cloud. Les réseaux 5G sont virtualisés et gérés par des logiciels et tirent parti de la technologie Cloud. La 5G simplifiera également la mobilité, en offrant des capacités d'itinérance ouvertes et transparentes entre l'accès cellulaire et le Wi-Fi. Les utilisateurs mobiles peuvent rester connectés à Internet tout en passant d'une connexion sans fil externe au réseau sans fil. Câblage interne sans aucune intervention de leur part ou de qui que ce soit. Renouveler leurs certificats. La technologie 5G promet d'améliorer la connectivité dans les zones rurales et les villes pauvres, où la demande peut parfois dépasser la capacité actuelle offerte par la technologie 4G. Le nouveau réseau 5G comportera également une architecture d'accès distribué dense et rapprochera le traitement des données des frontières et des utilisateurs pour un traitement plus rapide des données [22].

I.4 Les modèles de propagations

Le modèle de propagation radio est un modèle mathématique qui simule le canal de propagation entre un émetteur et un récepteur. Le modèle mathématique est ensuite implémenté dans des algorithmes puis dans des programmes informatiques. Cela permet de prédire le niveau moyen du signal radio reçu en chaque point en fonction d'un certain nombre de paramètres (caractéristiques radio, environnement géographique de la connexion). Nous modélisons ensuite les changements induits par les obstacles rencontrés par les ondes le long du canal cellulaire. Après cela, nous devons ajouter un algorithme qui tient compte des changements rapides. Ces modèles permettent de planifier la couverture du réseau (communications mobiles, radio, télévision). On peut donc distinguer plusieurs types de modèles de prédiction de la propagation des ondes radio [23].

I.4.1 Modèles empiriques

Le modèle empirique de prédiction de la propagation est en fait une formulation mathématique qui exprime l'atténuation en fonction de plusieurs paramètres tels que la

fréquence de transmission, le degré d'urbanisation et la hauteur du terminal [24]. Lorsqu'un modèle empirique est bien construit et à la précision requise pour l'analyse statistique, il représente avec précision les données utilisées pour le construire. En général, les concepteurs et les utilisateurs de systèmes de télécommunications ont tendance à choisir ce système par rapport à d'autres systèmes car il est relativement simple et direct à mettre en œuvre (en termes de développement mathématique et de programmation informatique) [25].

I.4.1.1 Le modèle d'Okumura-Hata :

Ce modèle expérimental externe est dérivé de mesures radio effectuées à Tokyo et est un modèle de propagation largement utilisé pour prédire l'affaiblissement sur le trajet urbain. Le modèle prend en compte les effets de réflexion, de réflexion et de diffusion causés par les structures urbaines. Le modèle a également été modifié pour prédire les pertes de déplacement dans les zones suburbaines et ouvertes [26]. ce modèle convient aux communications point à point et de diffusion, couvrant des hauteurs d'antenne de station mobile de 1 à 10 m, des hauteurs d'antenne de station de base de 30 à 200 m et des distances de connexion de 1 à 10 m [27]. La perte de piste pour ce modèle est calculée comme suit :

$$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c + 13.82 \log_{10} h_B - C_H + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_B] \log_{10} d \quad (\text{I.1})$$

Pour les petites villes :

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log_{10} h_M - 0.7) h_M - 1.56 \log_{10} f_c \quad (\text{I.2})$$

Pour les grandes villes :

Si : $150 \leq f_c \leq 200$

$$C_H = 8.29 (\log_{10} (1.54 h_M))^2 - 1.1 \quad (\text{I.3})$$

Si : $200 \leq f_c \leq 1500$

$$C_H = 3.2 (\log_{10} (11.75 h_M))^2 - 4.97 \quad (\text{I.4})$$

On,

h_B Est la hauteur de l'antenne de la station de base en (m), h_M est la hauteur d'antenne de la station mobile en (m) et f_c est la fréquence de transmission en (Mhz). C_H facteur de correction de hauteur d'antenne d Distance entre la station de base et la station mobile en (km).

I.4.1.2 Le modèle COST 231Hata

Le modèle COST 231Hata est un modèle de propagation radio largement utilisé. ce modèle a été construit en Europe pour prédire la couverture de différentes parties de l'Europe. Ce modèle, également connu sous le nom d'extension PCS du modèle Hata, est une extension du modèle Hata (Hata 1981) et est basé sur le modèle d'Okumura (Neskovic et al. 2000, Okumura et al. 1968). Cependant, le modèle COST 231Hata couvre une gamme de fréquences plus large. de plus, en raison de sa simplicité et de la disponibilité de facteurs de correction, il peut être appliqué aux zones urbaines, suburbaines et rurales. le modèle COST 231Hata a les paramètres suivants [28]:

$$L = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + C \quad (\text{I.5})$$

Où, f est la fréquence de transmission (500 MHz -2000 MHz), h_b est la hauteur réelle de l'antenne de la station de base en (m), d est la distance de liaison montante jusqu'à 20 km, h_r est la hauteur de l'antenne de la station mobile (1m à 10m) , $C = 0$ pour les villes moyennes et les banlieues, $C = 3$ pour les zones urbaines et $a(h_r)$ Le facteur de correction de hauteur d'antenne pour la station mobile dans le modèle Hata ressemble à ceci[28] :

Pour les zones urbaines : ($f > 400\text{MHz}$)

$$a(h_r) = 3.20(\log_{10}(11.75h_r))^2 - 4.97 \quad (\text{I.6})$$

Dans les zones périurbaines et rurales :

$$a(h_r) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)h_r - 1.56 \log_{10}(f) - 0.8 \quad (\text{I.7})$$

I.4.1.3 Modèle d'Egli

Il s'agit d'un modèle de terrain pour la propagation des radiofréquences. il a été introduit pour la première fois dans le travail classique de 1957 de John Egli et est basé sur des données de transmission de télévision UHF et VHF réelles dans plusieurs grandes villes américaines. il prédit la perte totale sur le trajet pour les liaisons point à point et convient généralement aux scénarios de communication cellulaire où une antenne est fixe et l'autre est mobile. le modèle d'Egli s'exprime formellement par [29]:

$$PL_{\text{EGLI}} = G_b G_m \left[\frac{h_b h_m}{d^2} \right]^2 \left[\frac{40}{f} \right]^2 \quad (\text{I.8})$$

Où, G_b est gain de l'antenne de la station de base, G_m est gain de l'antenne de la station mobile, h_b est hauteur de l'antenne de la station de base en (m), h_m est hauteur de l'antenne de la station mobile en (m), d est Distance entre l'émetteur et le récepteur et f Fréquence d'émission en (Mhz). Ce modèle prédictif est applicable pour des portées de liaison de 40 MHz à 1 GHz et inférieures à 60 km. des approximations de ces résultats ont été faites par delisle et al pour faciliter le calcul [29]:

$$PL_{EGLI} = 40\log_{10}d + 20\log_{10}f - 20\log_{10}h_b + L_m \quad (I.9)$$

$si h_m \leq 10m :$

$$L_m = 76.3 - 10\log_{10}h_m \quad (I.10)$$

$si h_m \geq 10m :$

$$L_m = 85.9 - 20\log_{10}h_m \quad (I.11)$$

I.4.1.4 Modèle Erceg

ErcegGreenstein est un modèle statistique dérivé de données expérimentales recueillies sur 95 macrocellules aux États-Unis. ce modèle peut être appliqué à des scénarios suburbains

il existe différentes catégories pour différents types de terrain [30].

La perte de trajet pour ce modèle est calculée comme :

$$PL(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 10\gamma\log_{10}\left(\frac{d}{100}\right) + 6\log_{10}\left(\frac{f}{2000}\right) + Xh \quad (I.12)$$

Où :

$$\gamma = a - b(hb) + c/hb \quad (I.13)$$

d : Distance entre l'appareil et la station de base en (m)

f : Fréquence de transmission en (Mhz)

hb : est la hauteur de l'antenne de la station de base en (m)

Xh : est lié au type de terrain

I.4.1.5 Le Modèle Ericsson

Les ingénieurs de planification du réseau ont utilisé un modèle développé par Ericsson. le modèle est basé sur la mise en œuvre du modèle Okumura-Hata modifié d'Ericsson et permet de modifier les paramètres du modèle en fonction de l'environnement de propagation. ce modèle est conçu pour une utilisation à environ 900 MHz, mais peut être étendu à 1800 MHz à toutes les distances en ajoutant 8,5 dB supplémentaires d'atténuation.

A fourni une formule pour prédire la perte de trajet pour ce modèle :

$$PL = a_0 + a_1 \log_{10}(d) + a_2 \log_{10}(hb) + a_3 \log_{10}(hb) \log_{10}(d) - 3.2(\log_{10}(11.75h)^2) + 44.49 \log_{10}(f) - 4.78(\log_{10}(f))^2 \quad (\text{I.14})$$

Où

d : Distance entre BTS et utilisateur en (km).

hb : Hauteur du BTS en (m).

h : Hauteur de l'antenne de réception en (m).

f : Fréquence en (GHz).

Les paramètres a_0, a_1, a_2, a_3 sont adaptés aux conditions de propagation respectives [29],[31].

Tableau I.1: le Valeurs par défaut des paramètres du modèle Ericsson [31].

Environnement	a_0	a_1	a_2	a_3
Villes (urbain)	36.2	30.2	12	0.1
Suburbain	43.20	68.93	12	0.1
Villages	45.95	100.6	12	0.1

I.4.2 Les modèles déterministes

Les modèles déterministes fournissent des résultats beaucoup plus précis, mais nécessitent une quantité importante d'informations sur le domaine auquel ils doivent être appliqués. ils nécessitent également beaucoup de temps de calcul. ils sont généralement réservés à des emplacements spécifiques où d'autres modèles ne peuvent pas être utilisés [32].

I.4.3 Les modèles semi-empiriques

L'idée de base de ce modèle est de combiner les avantages des deux modèles précédents. ils combinent des aspects théoriques avec des mesures. ils tiennent compte de la topologie de la

zone à couvrir. les modèles de ce type sont généralement considérés comme étant plus simples sur le plan des calculs que les modèles théoriques et sont mieux à même d'estimer la perte de puissance due au point de perte. Leur utilisation pour tester une solution sans fil pour un lieu de propagation tel qu'une chambre reste relativement rare en raison de la complexité. [32]. les méthodes semi-empiriques utilisent des données contenant des résultats expérimentaux pour simplifier les calculs. la longueur et la complexité de calcul sont principalement dues aux intégrales électroniques qui se produisent pendant le processus de calcul [33].

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description des réseaux mobiles de la première génération à la cinquième génération, et en particulier nous sommes allés plus profondément dans le réseau de quatrième génération et mis en évidence ses caractéristiques et son architecture, sa couverture...etc. Ensuite, nous avons mentionné certains modèles de propagation radio qui permettent la possibilité de planifier la couverture du réseau.

Chapitre II :

Les Algorithmes
méta-heuristiques

II.1 Introduction

Les méta-heuristiques sont des algorithmes itératifs, généralement inspirés du comportement des insectes, animaux...etc, conçues pour résoudre les problèmes d'optimisation complexes car elle est utilisée pour développer et améliorer les performances de certains mécanismes qui aident à comprendre et à identifier les faiblesses dans la région et à trouver des solutions idéales approximatives.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les problèmes et méthodes d'optimisation méta-heuristiques, en utilisant des algorithmes inspirés du monde des fourmis, puis nous nous intéresserons à la technique utilisée dans notre travail, l'algorithme API (Pachycondyla Apicalis algorithm) en expliquant les avantages et les bases du travail de ce type.

II.2 L'optimisation

L'optimisation est une branche des mathématiques appliquées visant à résoudre analytiquement ou numériquement un problème qui consiste à trouver la valeur minimale ou maximale d'une quantité spécifique, appelée fonction objectif, dans un domaine spécifique. la qualité des résultats et des prédictions dépend de la pertinence du modèle, du bon choix des variables à optimiser, de l'efficacité des algorithmes et des moyens de traitement numérique. [34].

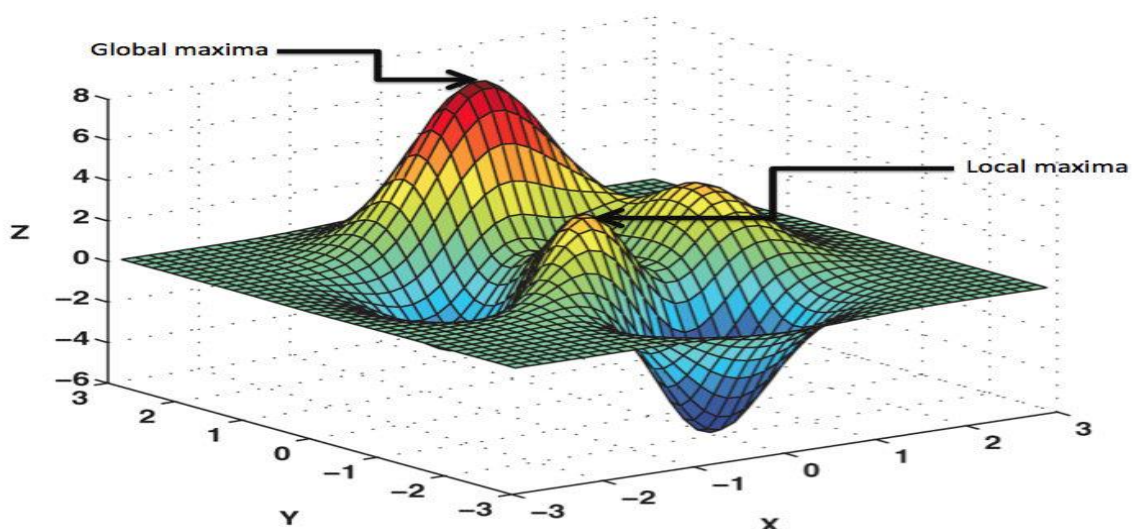


Figure II.1: Optima global et local dans l'espace de recherche [35].

II.3 Problème d'optimisation

Un problème d'optimisation est le problème on recherche "meilleur" résultat, c'est-à-dire la valeur maximale ou minimale. les problèmes d'optimisation tentent de déterminer quand une quantité qui améliore une certaine quantité (distance, temps, altitude, longueur, etc.) doit être exprimée en fonction d'une autre quantité. les méthodes de résolution de problèmes d'optimisation sont utilisées dans un large éventail de domaines, et dans ce domaine, l'optimisation inductive, qui résout les problèmes qui ne peuvent pas être résolus, et chercher à trouver des solutions approchées [36].

II.4 Les éléments d'optimisation

Un problème d'optimisation est le problème on recherche "meilleur" résultat, c'est-à-dire la valeur maximale ou minimale. les problèmes d'optimisation tentent de déterminer quand une quantité qui améliore une certaine quantité (distance, temps, altitude, longueur, etc.) doit être exprimée en fonction d'une autre quantité. les méthodes de résolution de problèmes d'optimisation sont utilisées dans un large éventail de domaines qui résout les problèmes qui ne peuvent pas être résolus, et chercher à trouver des solutions approchées.

❖ Fonction objectif : Définir un objectif à atteindre. Définir cette fonction est en fait un problème difficile. parce que le problème est formulé comme un problème d'optimisation à travers la fonction objectif. puisque c'est au cœur de l'optimisation, cela dépend de la pertinence de la solution.

❖ Modèle : Un système bien pensé, précis, robuste et flexible est essentiel. Le modèle doit être applicable à un éventail aussi large que possible de domaines de recherche.

❖ Algorithme d'optimisation : Diverses techniques d'optimisation existent et ont été mises en œuvre pour trouver une solution [37].

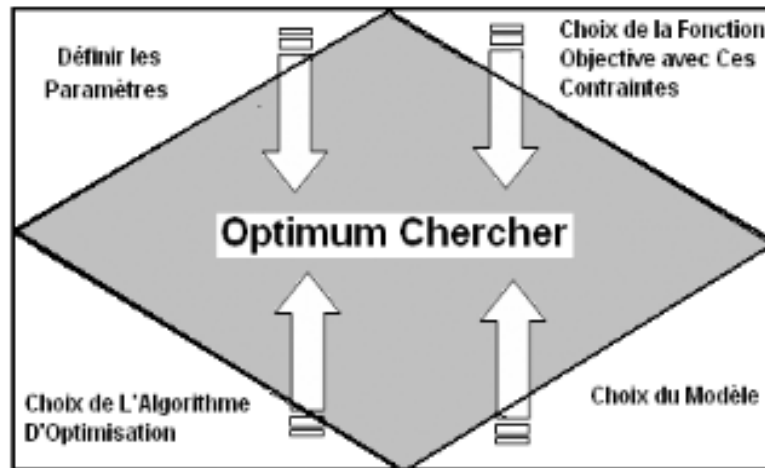


Figure II.2:Éléments indispensables à l'amélioration [36].

II.5 L'optimisation combinatoire

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques discrètes et en informatique. D'une part, son importance dans la recherche de solutions optimales, et d'autre part, la détermination de la fonction optimale compte tenu des conditions aux limites à travers quelques applications pratiques, en minimisant une fonction sur un groupe fini, mais elle est susceptible d'être très grande. Leurs caractéristiques sont évidentes. Les problèmes d'optimisation de combinaison sont souvent faciles à identifier, mais généralement difficiles à résoudre. L'optimisation combinatoire a des applications dans divers domaines tels que la gestion, l'ingénierie, la conception, la fabrication, les communications, les transports, l'énergie, la médecine et l'informatique [39].

Les techniques d'optimisation peuvent être classées en deux catégories

- ❖ Méthodes exactes: fournissent toujours la meilleure solution au problème posé, si une telle solution existe. À l'inverse, ce type de méthode permet de prouver qu'il n'existe pas de solution au problème traité.

- ❖ Méthodes approchées : Les méthodes approchées fournissent une solution approximative au problème posé. Ils sont généralement conçus de manière à ce que la solution résultante puisse être spécifiée par rapport à la valeur optimale.

Une telle méthode permet de déterminer les bornes inférieures ou supérieures pour des valeurs optimales telles que :

- ❖ Méthode heuristique
- ❖ Méthode méta heuristique [37].

II.6 Diverses méthodes d'optimisation

Deux méthodes sont souvent comparées lors de la résolution de problèmes d'optimisation. Méthodes exactes et d'approximation. la méthode exacte a l'avantage de fournir une solution dont l'optimalité est garantie. en revanche, ces algorithmes pour les problèmes NP-complets sont très coûteux en temps d'exécution (algorithmes non polynomiaux en temps). les méthodes d'approximation produisent des solutions de haute qualité dans un temps de calcul raisonnable, mais il n'y a aucune garantie qu'une solution optimale sera trouvée [38].

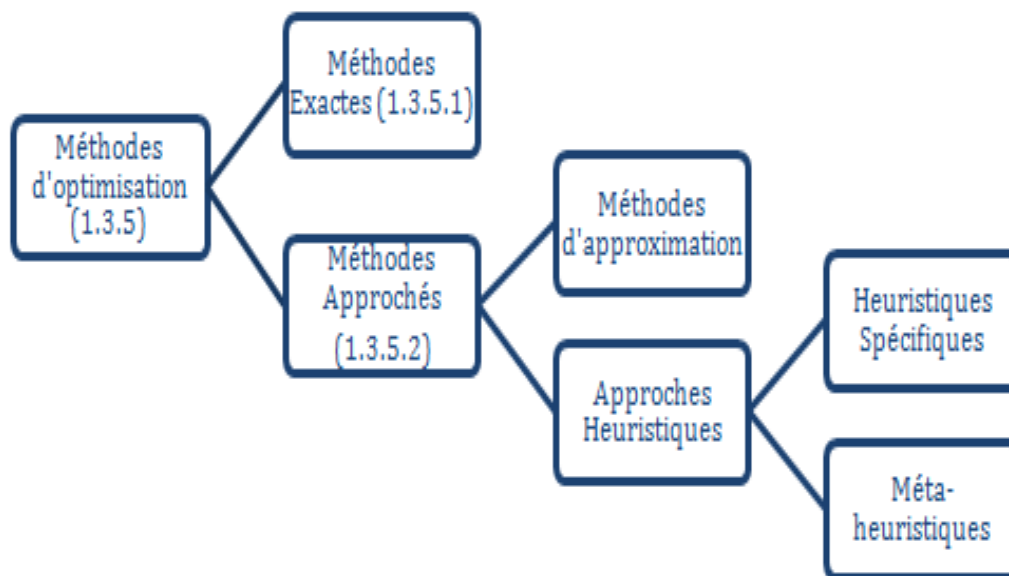


Figure II.3: Classification des techniques d'optimisation [38].

II.7 La démarche heuristique

Une heuristique est une méthode, une technique, ou un guide, généralement obtenu empiriquement ou par approximation, qui permet la sélection des méthodes les plus prometteuses ou l'exclusion des méthodes les plus prometteuses pour résoudre un problème particulier, ou des critères de décision. il n'y a aucune garantie quant à la validité ou à l'exactitude des informations fournies, elles ne sont donc pas très intéressantes.

Les heuristiques sont plus simples que les algorithmes traditionnels, elles s'exécutent donc plus rapidement. Les règles sont liées à des phrases spécifiques, ce qui simplifie et accélère la recherche des faits. par conséquent, cependant, des méthodes heuristiques trop simplistes ou, au contraire, trop générales peuvent entraîner des biais cognitifs et conduire à des erreurs de

décision. par conséquent, l'utilisation de plusieurs de ces éléments simples (heuristiques) pour en créer des plus complexes (méta-heuristiques) peut réduire considérablement l'ensemble de recherche global de l'algorithme. l'une des principales caractéristiques des méta-heuristiques, et un inconvénient apparemment hérité des méta-heuristiques, est qu'elles échouent parfois à suggérer des solutions optimales aux problèmes. cependant, si les résultats sont suffisamment proches pour être considérés comme corrects, cela s'appelle une garantie de performance [40].

II.8 Les métas heuristiques

Les méta-heuristiques sont apparues dans les années 1980 et forment une famille d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre des problèmes d'optimisation difficiles pour lesquels aucune méthode classique plus efficace n'est connue. ils sont généralement utilisés comme méthodes génériques qui peuvent optimiser une grande variété de problèmes sans nécessiter de modifications importantes des algorithmes utilisés. étymologiquement, le mot est constitué d'abord du préfixe grec méta, qui signifie "au-delà" ou « plus haut » puis « heuristique », qui signifie « trouver » [41].

Les méta-heuristiques est un algorithme qui vise à trouver une solution viable sans aucune garantie d'optimalité, par opposition à une méthode rigoureuse qui garantit une solution exacte. étant donné que les algorithmes de résolution exacte des problèmes difficiles sont d'une complexité exponentielle, il est parfois préférable d'utiliser l'heuristique pour calculer une solution approximative au problème ou accélérer le processus de résolution exacte. les heuristiques sont généralement conçues pour un problème spécifique, mais les approches peuvent également inclure des principes plus généraux [42]. Pour illustrer cette fonctionnalité, citons spécifiquement:

- ❖ Optimisation multi-objectifs : Vous devez optimiser pour plusieurs objectifs contradictoires. le but de l'étude n'est pas de trouver le meilleur des deux mondes, mais de trouver l'ensemble optimal de « Pareto » représentant le « plan de nivellement » du problème.

- ❖ Optimisation multimodale : à la recherche de la meilleure combinaison d'options globales et/ou locales.

- ❖ Problème bruité amélioré avec calcul de fonction objective incertaine : Incertitude à prendre en compte lors de la recherche de la valeur optimale.

❖ L'optimisation dynamique ou la fonction objective change dans le temps : Par conséquent, il doit se rapprocher du niveau optimal à chaque pas de temps.

❖ Traitement parallèle : Il tente d'accélérer l'optimisation en distribuant la charge de calcul aux unités coopérants. se pose alors le problème de l'ajustement des méta-propriétés à distribuer.

❖ Hybridation : Il est destiné à tirer parti d'une combinaison de différentes caractéristiques descriptives.

Enfin, la grande vitalité de ce champ de recherche ne doit pas faire oublier que l'une des principales préoccupations des métathéoriciens est leur facilité d'utilisation dans des problèmes concrets. les utilisateurs ont souvent besoin de méthodes efficaces pour obtenir les meilleurs résultats avec une précision acceptable dans un délai raisonnable. par conséquent, l'un des enjeux de la conception de méta-raisonnement est de faciliter la sélection et la modification des méthodes fonction d'un problème particulier [41].

II.8.1 Organisation générale

En général, les méta-heuristiques s'articulent autour de trois termes.

❖ Exploration :

Fait référence à un processus visant à recueillir des informations sur un problème optimisé.

❖ Exploitation:

Il vise à définir et trouver des zones intéressantes de l'espace de recherche en utilisant les informations déjà collectées.

❖ La mémoire:

Il s'agit d'une aide à l'apprentissage qui permet à l'algorithme de ne considérer que les régions où un optimum global est susceptible d'exister, en évitant les optimisations locales [43].

II.8.2 Applications

Les méta-heuristiques dans les systèmes naturels sont souvent utilisées pour faciliter la programmation et la manipulation, et se retrouvent ainsi en physique (méthodes de voisinage telles que le recuit simulé et les études gravitationnelles) et en biologie évolutive (algorithmes évolutifs tels que les algorithmes génétiques et stratégie évolutive) ou éthologie (algorithme de colonie de fourmis) [41].

II.8.3 Méta- heuristique à recuit simulé

L'idée principale du recuit simulé est de simuler le comportement des matériaux dans les procédés de recuit, a été proposé par Metropolis en 1953, ils sont largement utilisés en métallurgie. le but est d'atteindre un état d'équilibre thermodynamique. cet état d'équilibre (l'état avec la plus faible énergie) représente la solution optimale au problème de recuit simulé. l'énergie du système est calculée par une fonction de coût (ou d'objectif) propre à chaque problème (Kendall). cette méthode essaie donc de trouver la solution optimale en optimisant la fonction cible. un paramètre de température fictif a été ajouté pour cela par Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi. le principe consiste essentiellement à générer un continuum de configurations à partir d'une solution initiale S_0 et d'une température initiale T_0 , qui décroissent au cours du processus jusqu'à ce qu'une température finale ou état d'équilibre (optimum global) soit atteint [44].

II.8.4 Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont sans aucun doute la technique(EAS) la plus populaire et la plus largement utilisée. Les origines de ces algorithmes remontent au début des années 1970. ces algorithmes se caractérisent principalement par la représentation de données génotypiques, initialement sous forme de vecteurs binaires, et plus communément sous forme de chaînes. chaque étape GA est associée à un opérateur qui décrit comment les personnes sont manipulées.

❖ Sélection :

Une sélection est faite pour déterminer quels individus sont les plus susceptibles de se reproduire. il existe différentes techniques de sélection, les principales étant la sélection de la roulette, la sélection des tournois et la sélection du classement.

❖ Croisement :

Un opérateur de croisement combine les caractéristiques d'un ensemble de parents précédemment sélectionné (généralement deux) pour produire un nouvel enfant. Encore une fois, il existe de nombreux opérateurs de croisement.

❖ Mutation :

Les descendants mutent. cela signifie que certains des génotypes ont été modifiés de manière aléatoire en fonction de l'opérateur de mutation.

❖ Remplacement :

Remplacement (ou sélection du survivant), comme son nom l'indique, remplace une partie du parent par une partie de l'enfant. la méthode la plus simple consiste à extraire les individus les plus performants de la population pour former une nouvelle population (généralement de la même taille qu'au début de l'itération) [45].

II.8.5 Optimisation par colonies de fourmis

L'optimisation des colonies de fourmis étudie le comportement de recherche de nourriture des fourmis lorsqu'elles quittent le nid. L'algorithme Ant Colony est né d'un constat simple :

Les insectes sociaux, en particulier les fourmis, résolvent naturellement des problèmes complexes. un tel comportement est possible car les fourmis communiquent indirectement en déposant sur le sol des substances chimiques appelées phéromones. ce type de communication indirecte est appelé stigatisation.

Ce méta heuristique imite le comportement des fourmis à la recherche de nourriture. Chaque fois qu'une fourmi bouge, elle laisse une odeur (phéromone). Rarement explorées seules, les fourmis explorent des zones avec plusieurs de leurs propres espèces à la recherche de nourriture. Un groupe de fourmis face à un obstacle va explorer les deux côtés de l'obstacle pour se retrouver. Retournent ensuite au nid avec de la nourriture. D'autres fourmis butineuses suivent le même chemin. les fourmis choisissent la route avec les phéromones les plus fortes si elles s'éloignent vers un obstacle. Cependant, comme les phéromones sont parfumées, elles s'évaporent. Peu de fourmis suivent leurs traces. après un certain temps, cette méthode peut devenir invalide. il en va de même lorsque les fourmis exploratrices suivent des chemins plus longs (par exemple, pour éviter les obstacles). chaque nouvelle fourmi accumulera une petite quantité de phéromones, renforçant ainsi le sentier et le rendant plus susceptible de le suivre. il a été démontré expérimentalement que ce comportement crée le chemin le plus court entre le nid et la proie (Figure II.4). Mais seulement si la piste de phéromones est utilisée dans toute la colonie de fourmis.

L'une des principales utilisations de la méthode originale était de résoudre le problème du voyageur de commerce. chaque fourmi représente un tour en prenant le bord de la carte. après un certain temps, les bords menant aux bonnes solutions sont le plus gaufrés jusqu'à l'obtention d'une très bonne solution [46].

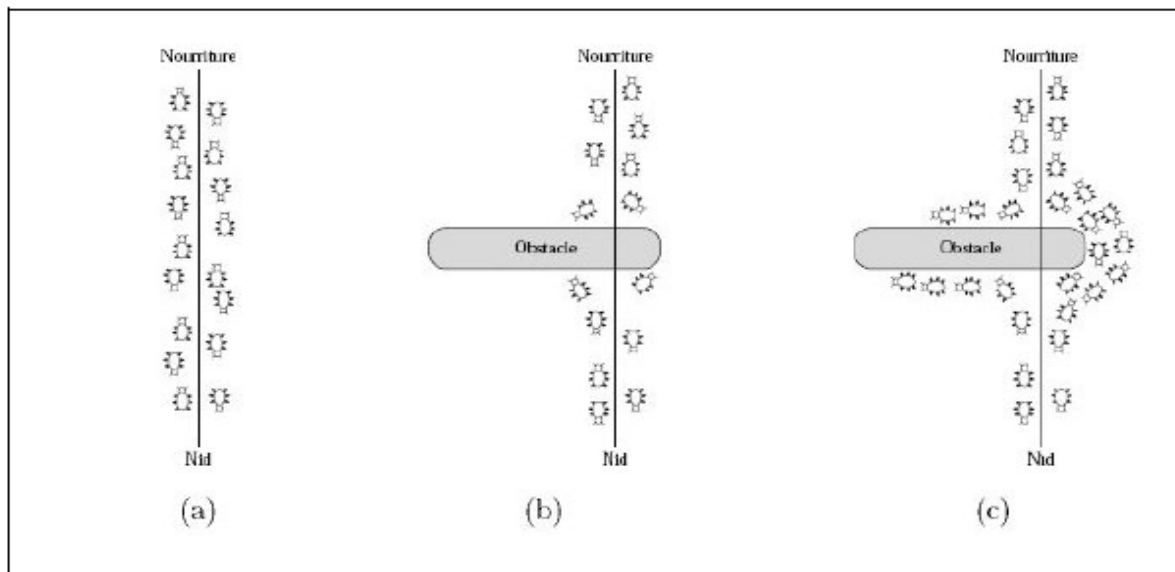


Figure II.4: Détermination du chemin le plus court à travers une colonie de fourmis [46].

(a) Situation initiale les fourmis suivent des traces de phéromones entre les fourmilières et la nourriture. (b) introduction d'obstacles les fourmis ont la même probabilité de choisir entre la gauche et la droite. (c) les phéromones s'évaporent le long du chemin le plus long et les fourmis choisissent le chemin le plus court [46].

II.8.5.1 Les phéromones

Lorsque les fourmis se déplacent d'un nid à une source de nourriture ou vice versa (bien qu'essentiellement au hasard au début), elles déposent des substances odorantes appelées phéromones sur le sol. Cette substance permet donc aux fourmis de créer une signature chimique pour découvrir qu'elles sont là. En fait, d'autres fourmis peuvent détecter des phéromones grâce à des capteurs dans leurs antennes.

Les phéromones agissent comme des marqueurs. Lorsque les fourmis choisissent une route, elles ont tendance à choisir la route avec la plus forte concentration de phéromones. Cela leur permet de retrouver leur chemin vers leur nid lorsqu'ils y retournent. D'autre part, le parfum peut également être utilisé par d'autres fourmis pour trouver des sources de nourriture trouvées par d'autres fourmis.

Ce comportement aide à trouver le chemin le plus court vers la nourriture lorsque des sentiers de phéromones sont utilisés dans toute la colonie. En d'autres termes, si une fourmi dispose de plusieurs chemins balisés, elle peut connaître le chemin le plus court vers sa destination [47].

II.9 L'algorithme API (Pachycondyla Apicalis)

La modélisation du comportement de recherche de nourriture des espèces de fourmis (*Pachycondyla apicalis*) a aidé à résoudre le problème d'optimisation. Leur stratégie globale de chasse aux proies peut être expliquée comme suit. Les fourmis établissent un terrain de chasse relativement uniformément réparti autour du nid, à environ 10 mètres du nid. En utilisant des mosaïques de petite surface, les fourmis couvrent une zone assez large autour du nid. Les emplacements des nids changent régulièrement. Ces changements peuvent s'expliquer par le fait que les nids deviennent moins confortables avec le temps, ou que les proies deviennent de moins en moins nombreuses. Le mouvement des nids est un processus très complexe et repose sur des fourmis spécialisées à la recherche de nouveaux emplacements. Les fourmis sélectionnent ensuite au hasard des lieux de chasse autour du nid. En cas de succès, la page sera enregistrée. Les fourmis ont tendance à suivre le même chemin vers leur dernier terrain de chasse réussi. Suivez ce chemin à l'aide de repères visuels. Lorsque le gibier est capturé sur un terrain de chasse spécifique, la prochaine expédition d'Ant commence toujours à partir de ce terrain de chasse. Lorsqu'un terrain de chasse s'épuise et que les fourmis ne reçoivent plus les renforts apportés par la capture de proies, elles ont tendance à explorer d'autres terrains de chasse. Plus précisément, il peut se téléporter vers des lieux de chasse précédemment explorés, soulignant sa capacité à se souvenir de plusieurs emplacements. Enfin, après avoir attrapé une proie les fourmis retournent au nid [48].

II.9.1 Modélisation algorithmique

II.9.1.1 Espace de recherche et fonction de notation

La modélisation algorithmique de *Pachycondyla apicalis* est effectuée pour résoudre les problèmes d'optimisation comme suit

Considérons le groupe de fourmis butineuses $a_1 \dots c$ c'est une espèce de *Pachycondilla apicalis*. Ces opérateurs sont placés dans l'espace de recherche étiqueté S et tentent de réduire la fonction de mérite donnée f de S à R .

Chaque point $s \in S$ est une solution entière du problème, ce qui signifie que f est défini en tout point de S . Notre algorithme, appelé API (pour APICALIS), est général sur l'espace de recherche S , c'étant l'une de ses principales forces. Pour déterminer le mouvement de la fourmi, il suffit de définir les facteurs suivants :

- ❖ Opérateur O_{rand} . Générer un point S de manière aléatoire uniforme.
- ❖ Opérateur O_{explo} Il génère un point s' au voisinage du point s .

Comme pour le deuxième opérateur, la taille du voisinage s est paramétrée par la capacité et A est noté $A \in [0, 1]$. cette capacité limite la plage de recherche proportionnellement au volume de la pièce. O_{explo} est soit une recherche aléatoire, soit une heuristique inspirée d'un champ de recherche [49].

II.9.1.2 Comportement local des fourmis

A chaque déplacement du Nid N , les cueilleurs quittent le Nid pour créer une nouvelle liste de p terrains de chasse et la mémoriser (Figure II.5). un terrain de chasse est un point s dans un espace de recherche S créé par l'opérateur O_{explo} avec un rayon de recherche A_{sit} autour du nid N . les fourmis commencent alors l'exploration locale près de l'un des terrains de chasse p conservés (Figure II.6)[50].

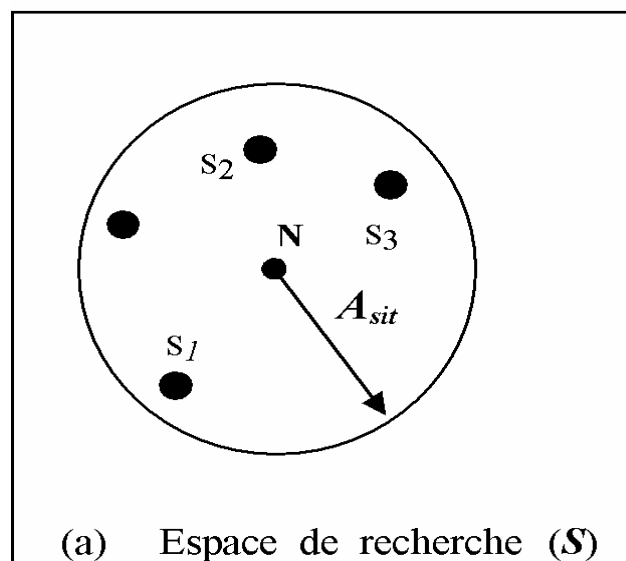


Figure II.5: Trouver une zone de chasse. Ant créé une liste de $p = 4$ lieux de chasse à la distance maximale A_{sit} près du nid N [50].

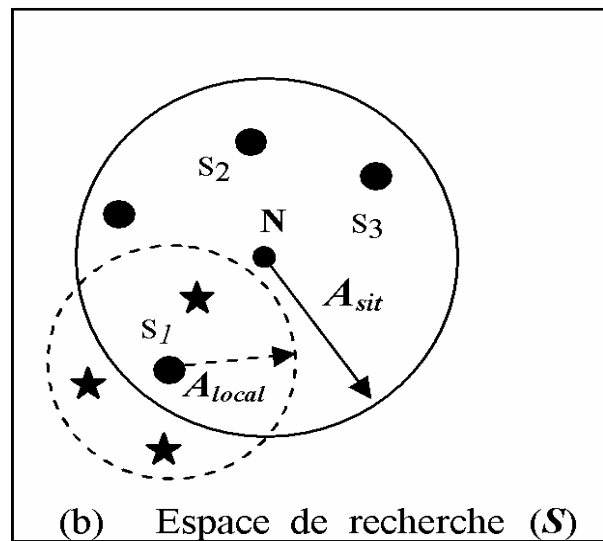


Figure II.6: Recherches locales de fourmis autour du site s_1 . Ceux-ci représentent l'exploration de la zone Radius A_{local} [50].

Si l'intérêt d'un site est initialement inconnu, les fourmis sélectionnent au hasard un site parmi les p existants. Une recherche locale consiste à construire un point s' dans l'espace de recherche S de rayon de recherche A_{local} à l'aide de l'opérateur O_{explo} . si cette recherche locale aboutit à une meilleure valeur de f , le cueilleur attrape la proie. H. :

$f(s') < f(s)$. Chaque fois que la fourmi améliore $f(s)$, elle mémorise la position de s' au lieu de s , et la prochaine recherche locale sera proche de s' .

Si la recherche locale échoue, la fourmi choisit un emplacement au hasard parmi les p emplacements dont elle se souvient pour les recherches futures. si un site échoue à la découverte plus de fois P_{local} , il sera oublié à jamais et remplacé par un nouveau site à la prochaine sortie (prochaine itération). le paramètre P_{local} représente la patience locale. l'organigramme de la (Figure II.7) résume les actions individuelles de l'ensileuse. n_s représente le nombre de sites sauvegardés par Ant à un instant donné, et e_j représente le nombre d'erreurs consécutives au sein des sites sauvegardés s_j [50].

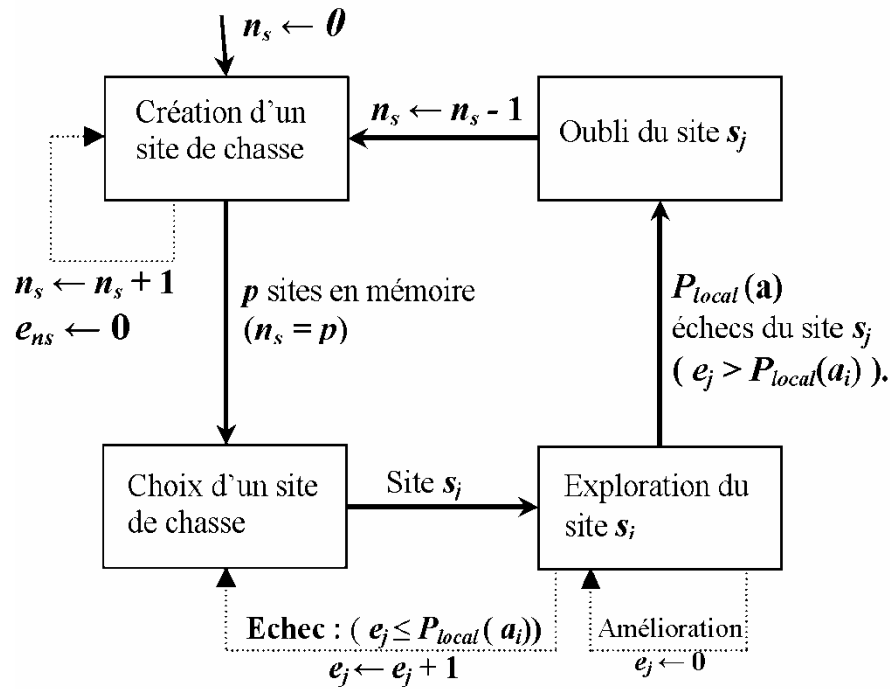


Figure II.7: Un organigramme résumant les opérations individuelles de fourrageuse [50].

II.9.1.3 Déplacement du nid

PN représente un paramètre de patience pour le nid. on peut fixer cette patience suivant la patience locale d'une fourmi locale et la taille de la mémoire d'une fourmi

$$P_N = 2(P_{Locale} + 1)p \tag{II.1}$$

Le but de ce calcul est de permettre suffisamment d'itérations entre chaque mouvement de nid pour que les fourmis puissent créer et explorer le terrain de chasse P.

Une autre solution consiste à déplacer le nid uniquement si un certain nombre d'itérations (comme P_N) n'ont pas amélioré la valeur optimale, ou à utiliser certaines informations sur la population telles que la répartition des fourmis dans l'espace de recherche.

Chaque fois qu'une fourmi se déplace d'un nid à un autre, elle vide sa mémoire et reconstruit son terrain de chasse.

Cela permet d'un point de vue optimisation d'éviter les minima locaux où les fourmis restent piégées. cela vous permet de concentrer votre recherche en rassemblant les fourmis autour du meilleur endroit trouvé.

À partir de la (figure II.8), le nid est déplacé (a) nids placés au hasard dans S. construction (b), terrain de chasse entourant le nid. (c) les terrains de chasse se déplacent vers les zones de la plus grande partie intéressante de l'espace de recherche (exploration). (d) le nid est la meilleure position trouvée [51].

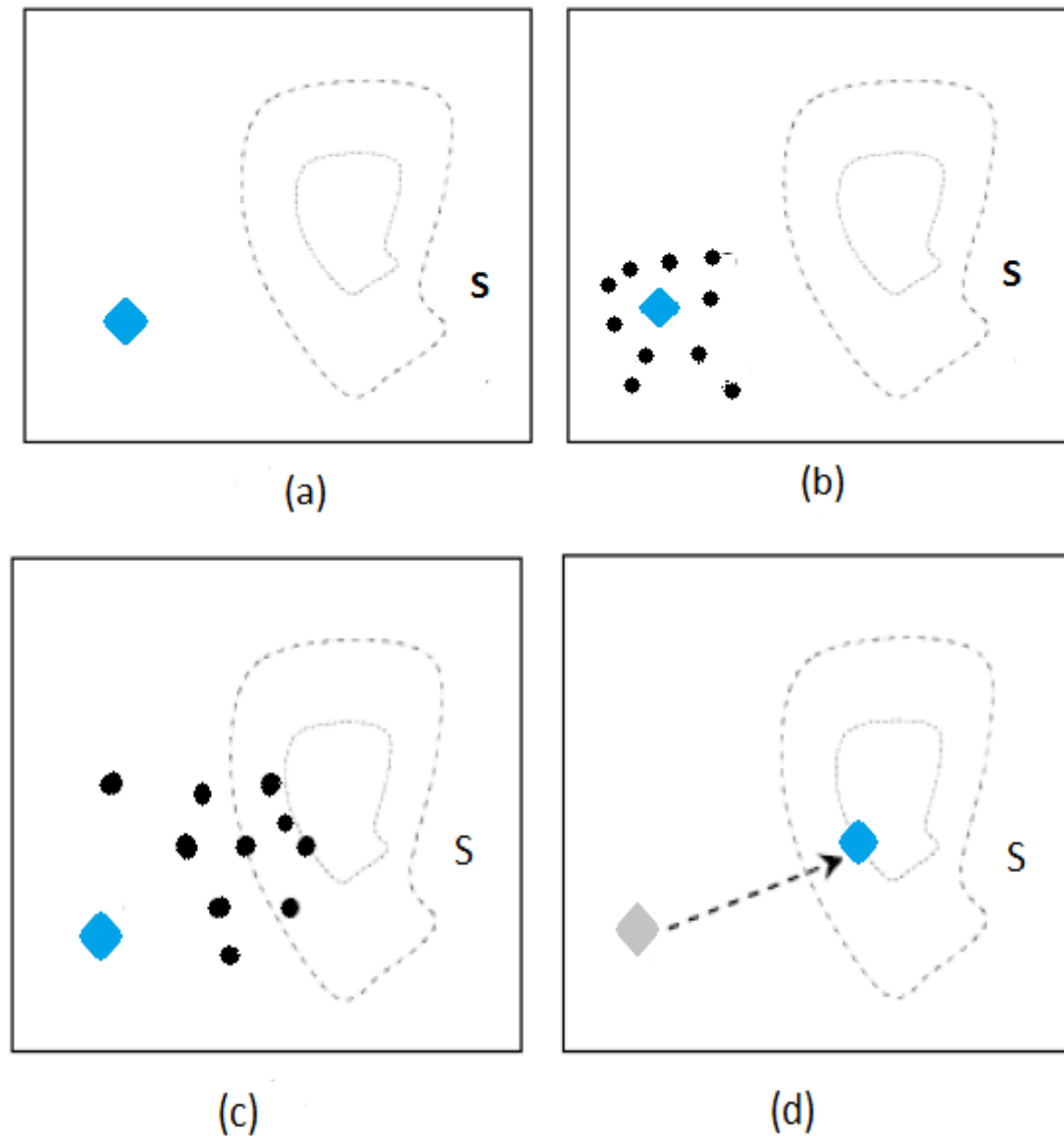


Figure II.8: Imbriquer les diagrammes de déplacement [51].

II.10 Biologie des *Pachycondyla Apicalis*

Pachycondyla apicalis est une ponerine néotropicale trouvée en Amérique du Sud, en particulier au Mexique. Ces fourmis n'utilisent pas de messages chimiques pour la recherche de nourriture, c'est le repère visuel qui est utilisé. Le comportement de recherche de nourriture de ces fourmis est composé d'un ensemble de recherches locales parallèles sur des sites de chasse construits autour du nid.



Figure II.9: Espèce de fourmi (Pachycondyla apicalis) [52].

Les fourmis (*Pachycondyla apicalis*) vivent en petites colonies composées de quelques dizaines d'individus (40 à 100 ouvrières).

Les fourmis de cette espèce installent leur nid dans de vieilles souches ou des arbres morts en décomposition qui offrent ainsi un habitat instable pour des fourmis qui ne savent pas construire de fourmilière. après un certain temps, lorsque la vétusté de leur nid devient trop importante, elles doivent déménager et chercher un nouveau refuge. les petits insectes et les cadavres d'insectes présentent la source de nourriture de cette espèce de fourmis. les fourmis de cette espèce ne participent pas toutes à la recherche de nourriture, certaines ouvrières restent au nid pour s'occuper du couvain, et d'autres prospectent individuellement autour de la fourmilière et ramènent les proies au nid.

Le comportement de recherche de nourriture de cette espèce de fourmis n'est pas un comportement de groupe direct. en effet, la présence des proies est relativement aléatoire et la capture des proies présente une faible stabilité spatiale des sources de nourriture. cependant, d'un point de vue individuel, les ouvrières se souviennent de l'endroit où elles ont attrapé le piège et retournent systématiquement au dernier site de chasse réussi la prochaine fois qu'elles quittent le nid. la spécialisation dans ce domaine répond à la nécessité de s'adapter à la découverte et à l'utilisation des sources alimentaires.

Ce type de recherche de nourriture solitaire se produit principalement chez les espèces à petites populations, alors que les mécanismes de recrutement de masse sont plus fréquemment

utilisés chez les espèces à grandes populations. par conséquent, les personnes seules développent des mécanismes d'apprentissage plus avancés.

Puisque la probabilité de trouver des proies est inversement proportionnelle à la densité de butineurs et diminue nettement à mesure que l'on s'éloigne du nid, les ouvrières s'éloignent du nid d'une sortie à l'autre. par conséquent, les collecteurs mènent une action collective indirecte. Statistiquement, les collecteurs travaillent ensemble pour couvrir autant que possible la zone de recherche, la zone autour du nid. de cette façon, ils forment une mosaïque de terrain de chasse qui couvre le périmètre du nid [52].

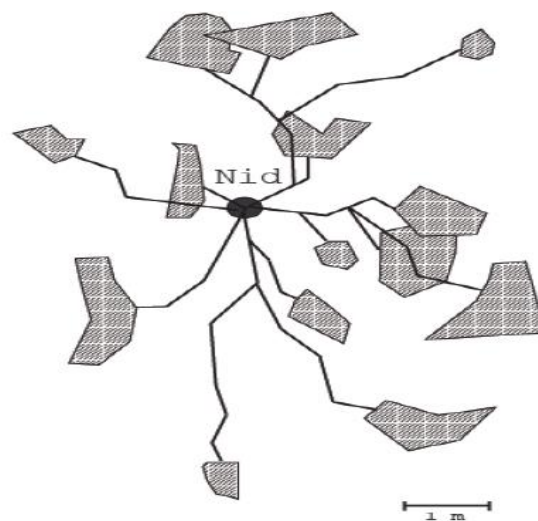


Figure II.10: Un exemple de carte (fictive) de la route et de la zone de récolte de fourrag [52].

Le comportement de recherche de nourriture de *Pachycondyla apicalis* peut être résumé en trois règles.

- ❖ Une fois que vous avez trouvé du butin, il reviendra toujours à son emplacement lors de votre prochaine sortie. ici, le Collectionneur reprend une nouvelle enquête.
- ❖ Trouver une proie affecte les décisions de vol des abeilles butineuses en réduisant le temps passé dans la ruche.
- ❖ Les cueilleurs semblent progressivement reconnaître l'association entre la direction de recherche loin du nid et une probabilité accrue de succès [52].

II.11 Conclusion

De manière générale, dans ce chapitre nous avons expliqué les méta-heuristiques, ses origines et ses principes, et certains de ses types. Nous avons détaillé un algorithme API basé sur le comportement de recherche de nourriture de l'espèce de fourmi *Pachycondyla apicalis* car c'est un algorithme qui vise à trouver une possible solution sans garantir l'optimisation, car il est souvent très difficile de trouver la meilleure solution possible (idéale).

Puis l'algorithme API sera appliqué dans le troisième chapitre au modèle Ericsson afin d'améliorer le réseau 4G.

Chapitre III:

Résultats Et Discussion

III.1 Introduction

Dans un système de communication sans fil, les pertes qui se produisent entre l'émetteur et le récepteur sont appelées perte de propagation [53]. ces déficits représentent un problème majeur pour le réseau LTE, le modèle de diffusion détermine cet effet.

Les modèles empiriques sont basés sur un large éventail de mesures expérimentales. la prédiction de la perte sur le chemin de propagation est un élément essentiel de la planification et d'optimisation des réseaux mobiles.

Pour ce travail, il existe plusieurs algorithmes pour optimiser les pertes du réseau LTE, mais nous les optimiserons en utilisant l'algorithme API en Matlab.

III.2 Les Données et l'analyse de l'affaiblissement

Les données réelles de ce travail sont tirées du quartier suburbain de Tébessa.

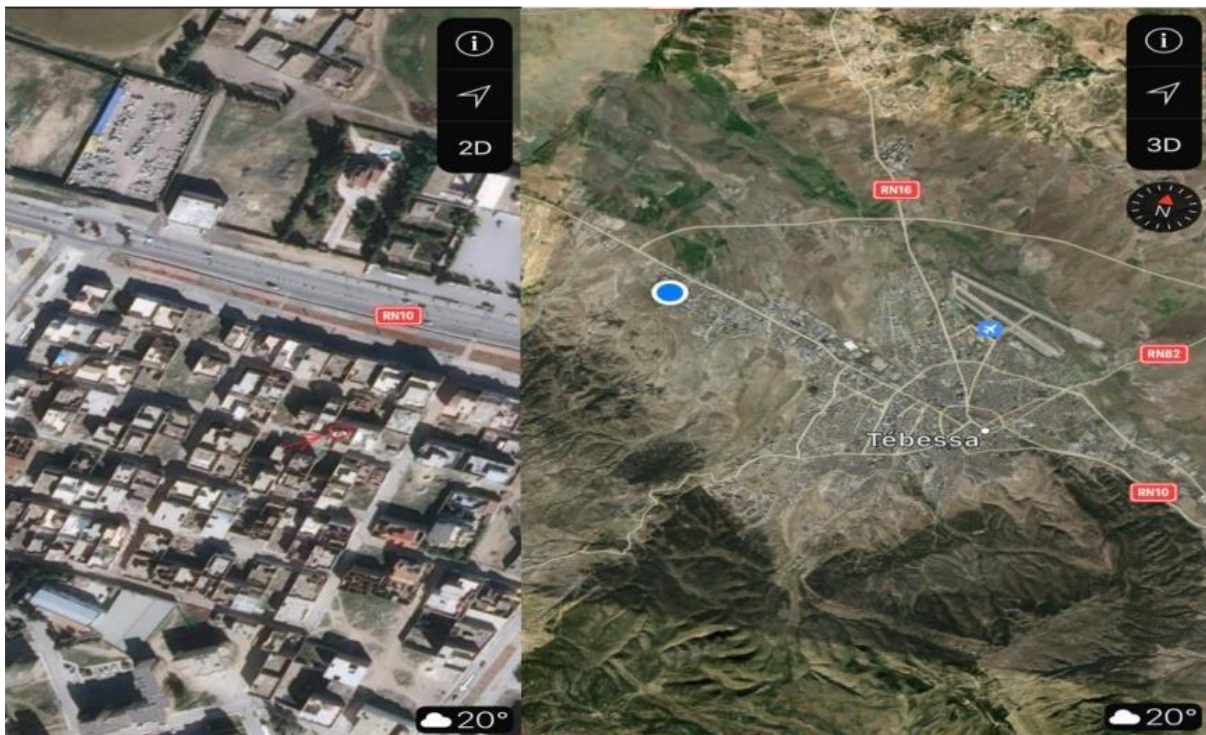


Figure III.1: L'emplacement d'eNodB12668 Cité 1ère Novembre.

Ces mesures ont été prises à l'aide de Net-Monitor et G-Mon dans la zone de couverture eNodB 12668 avant de s'éloigner de 1 km tout en enregistrant en continu la force du signal

reçu (RSRP puissance reçu). les informations sur le site d'émission sont présentées dans ce tableau.

Tableau III.1: Les Informations de ce site d'émission.

Paramètre	eNodB 12668 (Cité 1 ère Novembre)
Région	Suburbain
Hauteur d'antenne d'émission (m)	150
Hauteur d'antenne de station mobile (m)	1.5
Fréquence (Mhz)	1200

III.3 Résultats de simulation et discussion

La figure suivante présente l'évolution des trois modèles empiriques de propagation (Ericsson, Okumura-Hata, et Cost 231-Hata') pour une zone urbaine et suburbaine à l'aide de MATLAB.

(Les équations trouvées dans le premier chapitre sont utilisées)

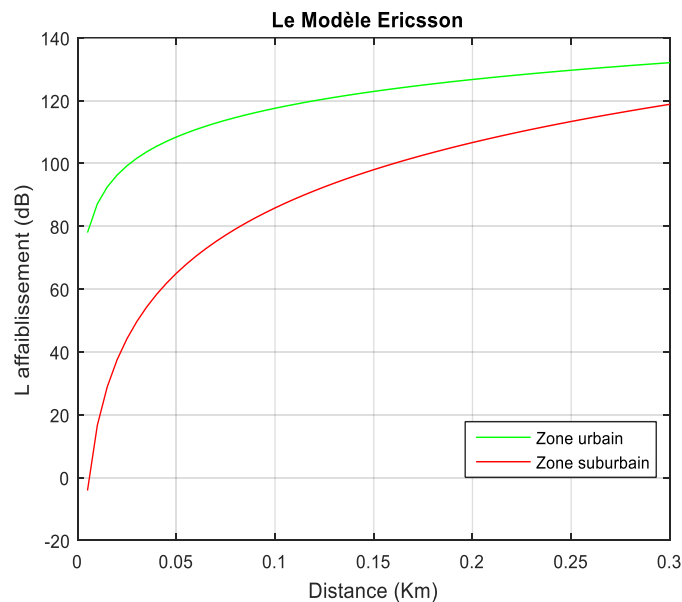


Figure III.2: L'affaiblissement pour le modèle Ericsson

(Zone urbaine et suburbaine).

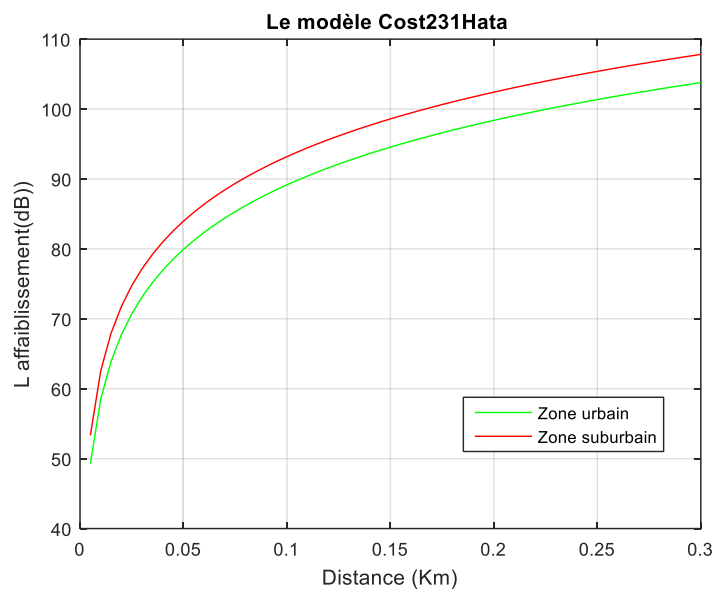
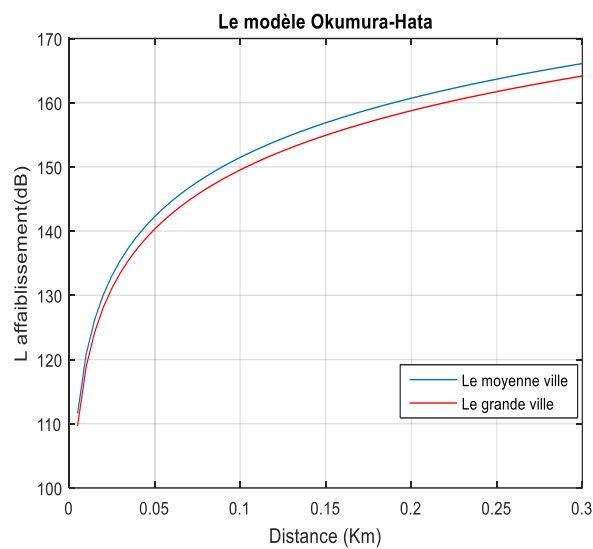


Figure III.3: L'affaiblissement pour le modèle Cost213Hata



(Zone urbaine et suburbaine).

Figure III.4: L'affaiblissement pour le modèle Okumura-Hata.

(Zone urbaine et suburbaine).

Une comparaison graphique des trois modèles empiriques (Okumura-Hata, Cost231-Hata, et

Ericsson) avec des mesures réelles (eNodB 12668-SubUrbain) a été faite en prenant la réduction de la fonction objectif et en calculant l'erreur quadratique moyenne (RMSE) pour les variables de décision.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs RMSE obtenues en comparant les mesures réelles et les modèles utilisés.

Tableau III.2:RMSE calculé avant optimisation.

Le Modèle	COST 231-Hâta	Okumura-Hata	Ericsson
RMSE	8.2747	15.6492	8.2351

D'après le tableau, on peut voir que les modèles Cost231 et Ericsson ont la valeur d'erreur quadratique moyenne (RMSE) la plus faible, nous pouvons constater que le modèle Ericsson est le plus adapté aux valeurs réelles. pour notre étude, nous avons fait une optimisation des paramètres de ce modèle pour les améliorer en utilisant l'algorithme d'optimisation API.

III.3.1 Stratégie d'Optimisation

Nous avons choisi le modèle Ericsson pour cette étude, et le problème à résoudre a été formulé sous la forme d'une équation mathématique contenant ces quatre variables (A_0 , A_1 , A_2 , A_3).

Le but est de rendre ce modèle compatible avec des mesures réelles prises sur le terrain.

$$PL = A_0 + A_1 \log_{10}(d) + A_2 \log_{10}(hb) + A_3 \log_{10}(hb) \log_{10}(d) - 3.2(\log_{10}(11.75h)^2) + 44.49 \log_{10}(f) - 4.78(\log_{10}(f))^2 \quad (III.1)$$

Pour la zone suburbaine :

- ❖ $A_0=43.20$
- ❖ $A_1=68.93$
- ❖ $A_2=12$
- ❖ $A_3=0.1$

L'algorithme méta-heuristique utilisé pour l'optimisation est l'API (Pachycondyla Apicalis). Cette espèce de fourmi (Pachycondyla Apicalis) est décrite comme ayant une stratégie de

recherche de nourriture relativement simple pour la détection des proies, recherchant individuellement et essayant de couvrir uniformément une certaine zone autour de leur nid grâce à des recherches locales de sites de nidification. c'est-à-dire que chaque fourmi quitte le nid et prend une direction aléatoire, mais ne s'éloigne pas du nid et marche dans un chemin relativement en zigzag. si la fourmi attrape une proie, elle retourne directement au nid en ligne droite et se souvient visuellement du chemin qu'il prend, après la capture, la fourmi utilise le chemin qu'elle a enregistré pour retourner au site de capture.ils peuvent échouer à capturer des proies plusieurs fois de suite, et la prochaine fois qu'ils quittent le nid, ils retournent systématiquement au dernier site de chasse réussi et maintiennent leurs positions de nidification.

L'algorithme est inspiré de cette stratégie pour trouver les paramètres optimaux du modèle de propagation Ericsson.

Nous donnons donc l'organigramme de notre problème par ce modèle comme suit :

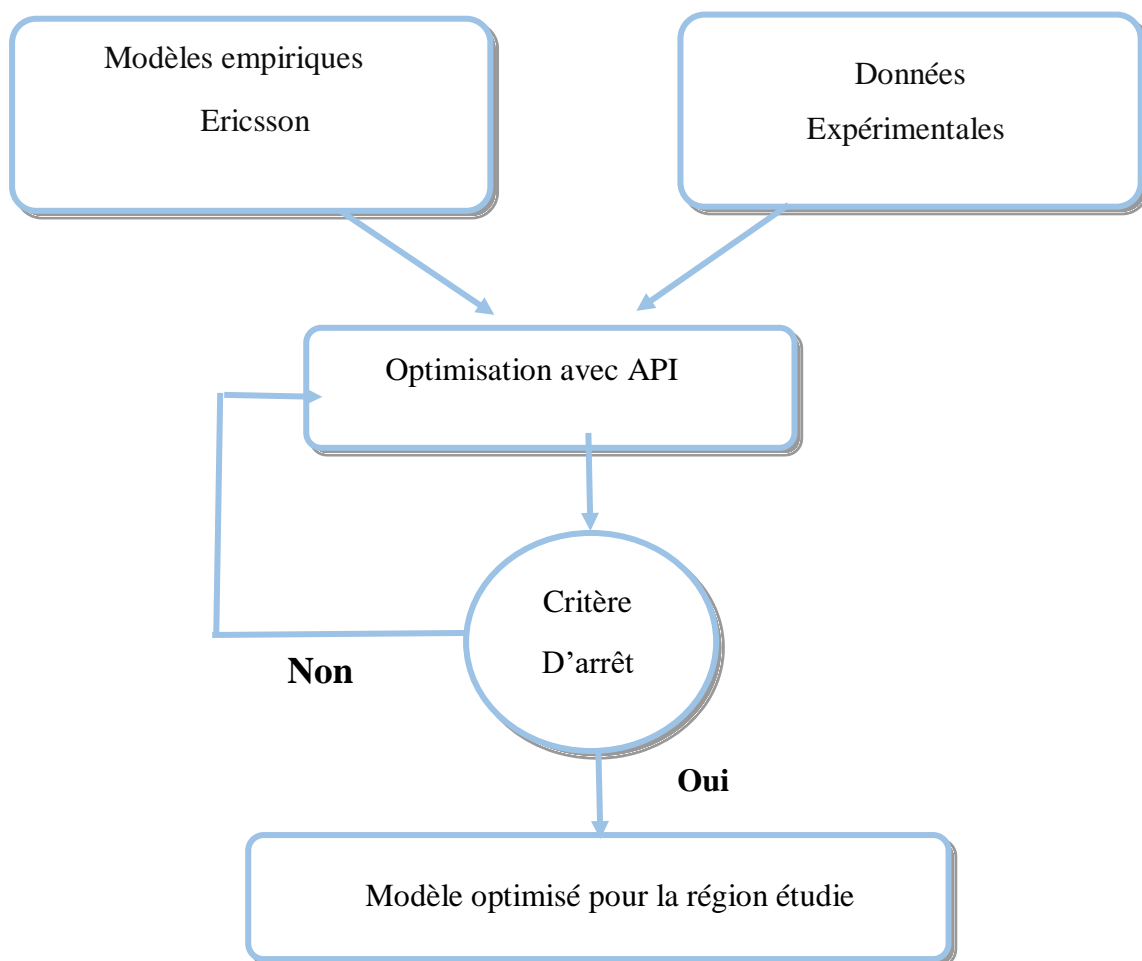


Figure III.5: Optimisation du modèle empirique par l'algorithme meta-heuristique API.

III.3.2 Critère d'arrêt

La fonction objective est une mesure qui calcule la différence entre la valeur réelle et la valeur estimée. plus la fonction objective est proche de 0, plus le modèle est approprié, ce qui est un critère idéal pour vérifier la qualité du calcul. la fonction objective est donnée comme suit :

$$F_{\text{obje}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|y_i - \hat{y}_i\|^2 \quad (\text{III.2})$$

i est la valeur temporelle, N est le nombre de données, y_i et \hat{y}_i est la différence entre la valeur réelle et la valeur estimée au temps i .

L'écart quadratique moyen (RMSE) est une autre mesure de la qualité de calcul, mais ce n'est pas un critère parfait. la statistique (RMSE) donne une mesure quantitative de la proximité des valeurs réelles par rapport aux valeurs mesurées.

L'équation de l'écart quadratique moyen est donnée par :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \|y_i - \hat{y}_i\|^2}{N}} \quad (\text{III.3})$$

III.4 Résultats de l'optimisation par API

La simulation a été réalisée par un l'algorithme d'optimisation méta-heuristique(API) pour adapter et améliorer le modèle Ericsson avec calcul de la fonction objective et de l'erreur quadratique moyenne. les résultats de simulation sont présentés dans les tableaux et figures suivants:

❖ Test 1

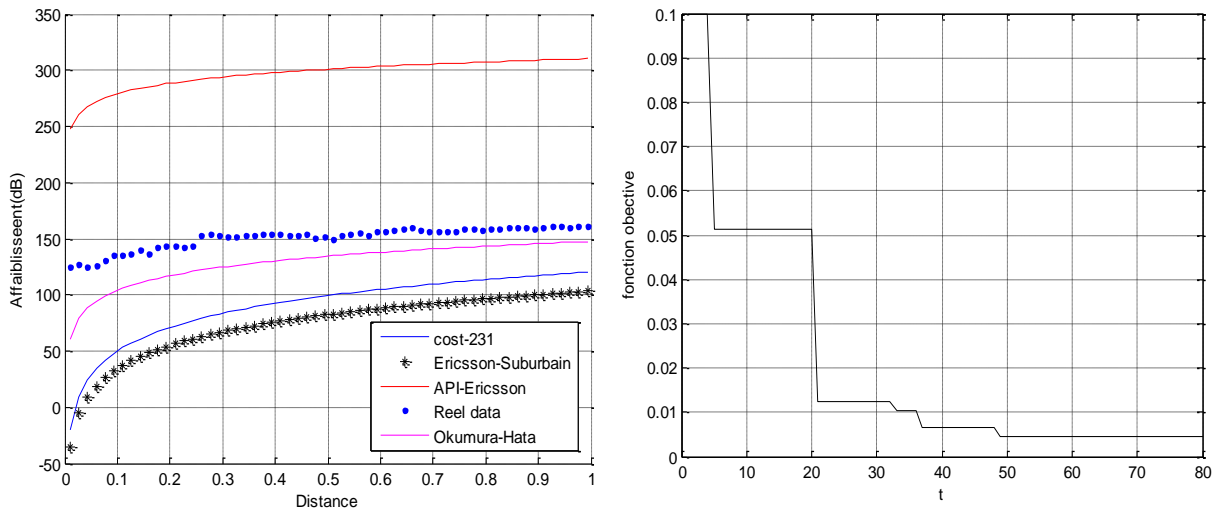


Figure III.6: Comparaison entre le modèle Ericsson ,Ericsson optimisée,Okomura-hata, Cost213 et les mesure réelles ainsi que la courbe de la fonction objective.

De la (figure III.6) nous pouvons voir que la courbe du modèle d’Okumura-Hata est la plus proche de la courbe des valeurs réelles. la courbe optimisée par l’algorithme API elle est très éloignée aux valeurs réelles. nous constatons que la fonction objective ne converge pas à 0. la valeur du RMSE = 150,0713.

❖ Test 2

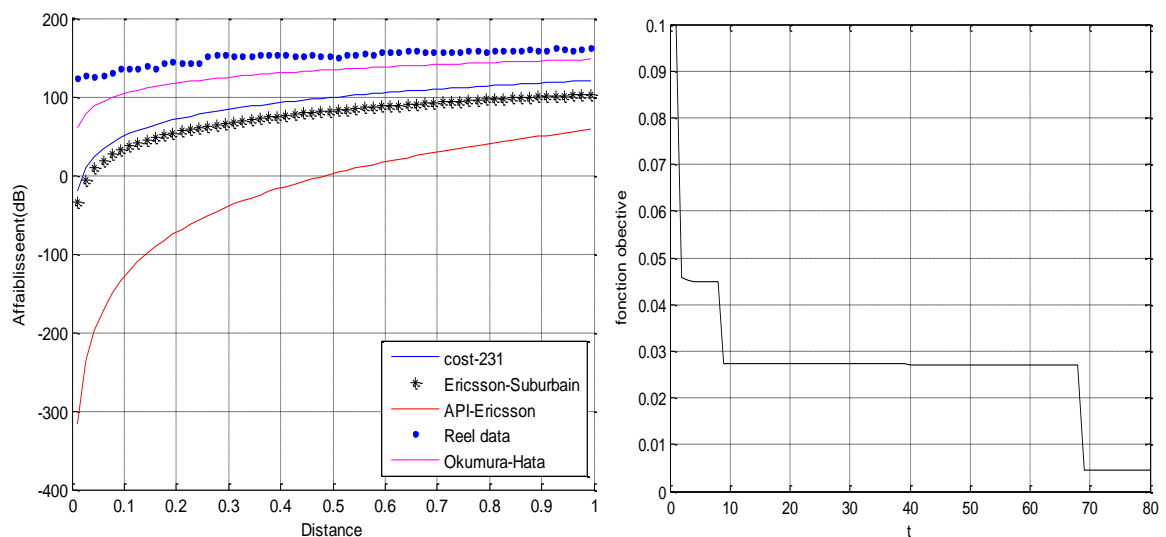


Figure III.7: Comparaison entre le modèle Ericsson, Ericsson optimisée, komura-hata, Cost213 et les mesure réelles ainsi que la courbe de la fonction objective.

À partir de la figure III.7, nous remarquons que la courbe de l'algorithme API (courbe rouge) est très éloignée de la courbe des valeurs réelles (points bleus), et la fonction objective a pris beaucoup de temps pour se rapprocher à 0. avec le $RMSE(API) = 165.7060$. Quant aux autres modèles, ils restent constants et ne changent pas.

❖ **Test 3**

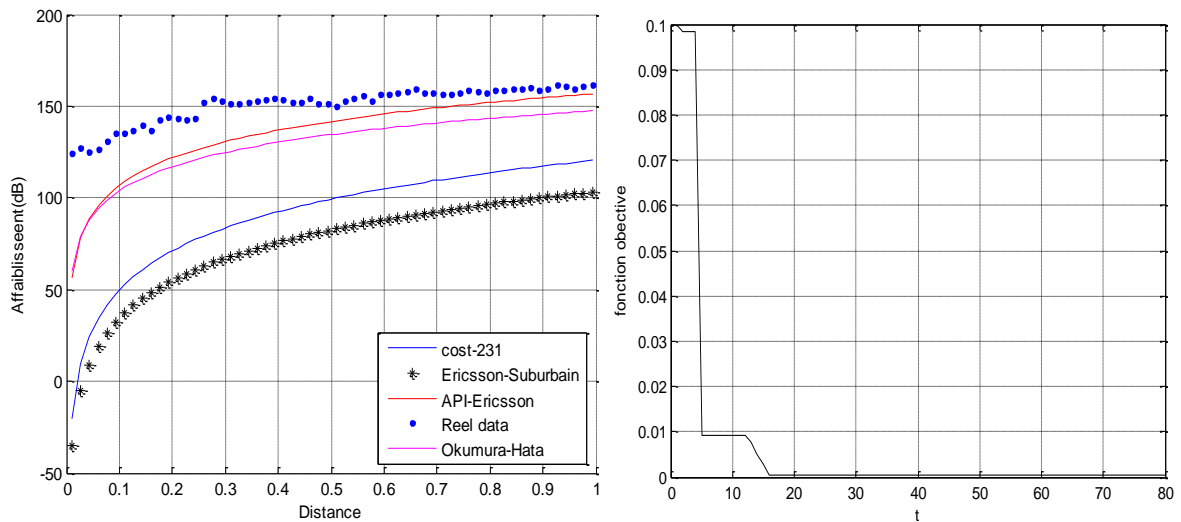


Figure III.8: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okomura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective

Selon la (figure III.8) nous pouvons voir que la fonction objectif converge à 0, la courbe du modèle optimisé par l'algorithme API a commencé à converger avec les valeurs réelles .avec le $RMSE(API) = 13.7556$.

❖ **Test 4**

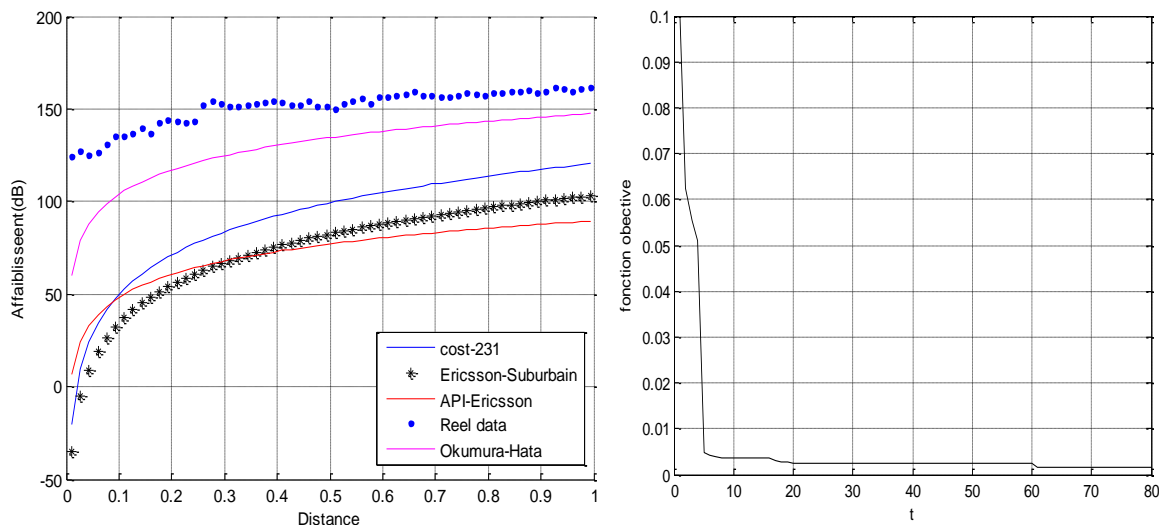


Figure III.9: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okumura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective

Dans cette figure III.9, nous pouvons remarquer que la courbe optimisée du modèle Ericsson ne converge pas aux valeurs réelles. avec le $RMSE(API) = 76.4937$.

❖ Test 5

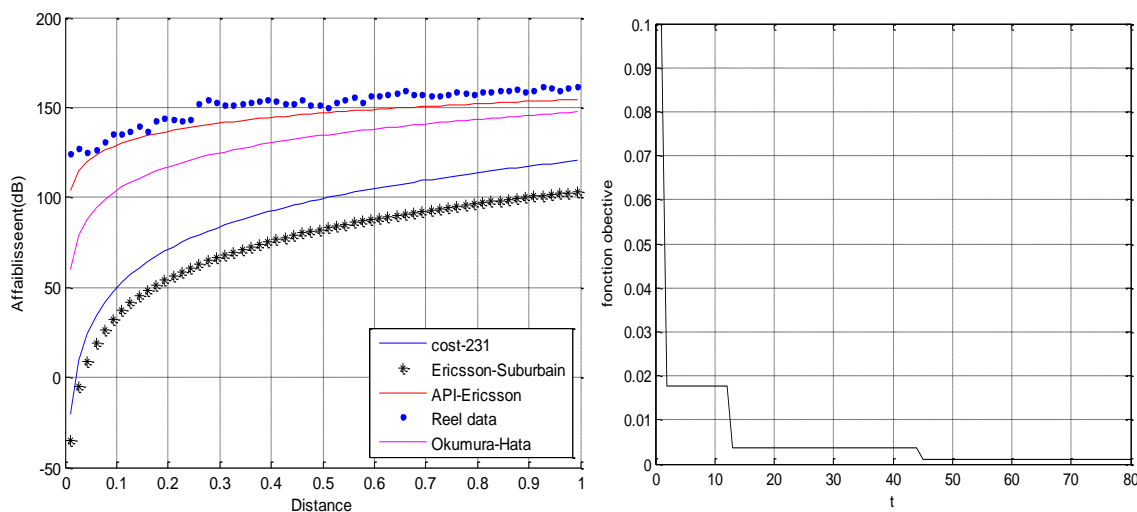


Figure III.10: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okumura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective

Par la figure III.10, nous pouvons voir que la courbe optimisé par l'algorithme API est très proche de la courbe des valeurs réelles avec le $RMSE(API) = 5.6207$. la fonction objective converge progressivement vers 0.

❖ Test 6

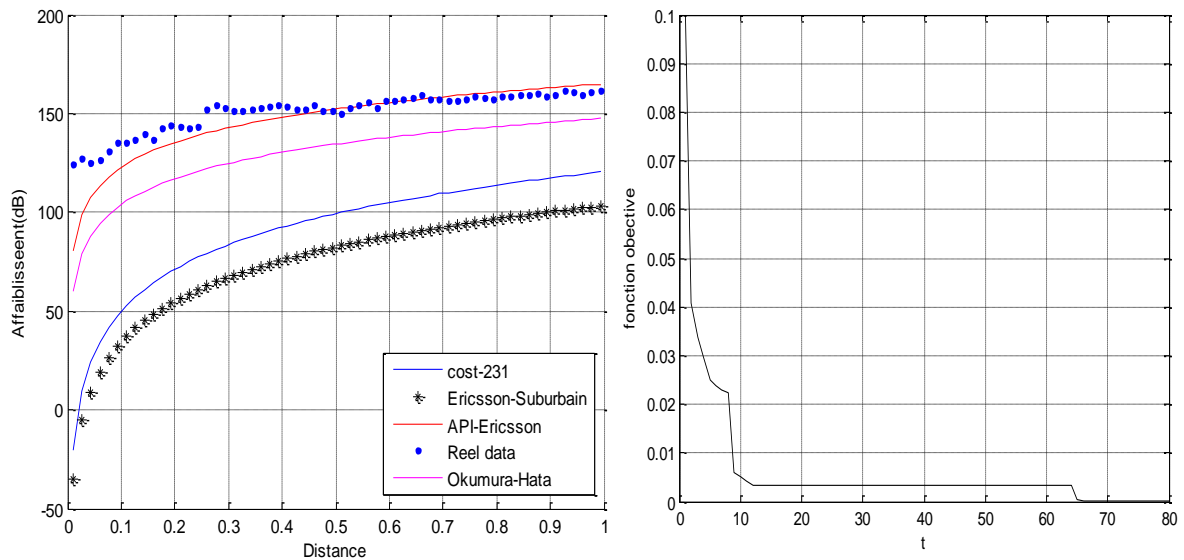


Figure III.11: Comparaison entre le modèle Ericsson et d'Ericsson optimisée d'okumura-hata et de modèle Cost213 et le mesure réelle. En plus du diagramme de fonction objective

Dans la figure III.11, nous voyons clairement que la courbe optimisé par l'algorithme API est quasiment identique à la courbe des valeurs réelles, la fonction objective était proche de 0 et au bout d'un certain temps elle converge à 0. Avec le $RMSE(API) = 5.4128$.

Nous montrons dans ce tableau les résultats de simulation obtenus à l'aide de l'algorithme (API) :

Tableau III.3: Résultats des tests d'optimisation d'Ericsson (zone suburbaine).

Ericsson optimisé	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
A ₀	251.1043	21.0907	92.2395	54.4874	62.4639	73.9056
A ₁	17.2662	162.4115	31.8517	35.6740	19.3240	25.0624
A ₂	11.5737	1.5090	13.9934	0.4181	26.6233	26.1528
A ₃	6.4900	11.4849	8.3891	2.5746	2.8029	7.8823
RMSE	150.0713	165.7060	13.7556	76.4937	5.6207	5.4128

D'après les résultats d'optimisation obtenus, nous concluons que le test 6 du modèle Ericsson optimisé donne de meilleurs résultats que les autres tests. nous pouvons également conclure que le modèle Ericsson optimisé est plus efficace que le modèles Ericsson non optimisé ainsi que le modèle l'okomura-hata et cost231hata.

III.5 Conclusion

Dans ce travail, nous avons appliqué l'algorithme d'optimisation API sur le modèle 'Ericsson pour la zone suburbaine , zone de Tébessa. Après avoir fait de nombreux tests pour réduire la fonction objectif de l'amélioration et aussi pour réduire l'écart quadratique moyen (RMSE), nous avons obtenu de nouveaux coefficients (A_0, A_1, A_2, A_3) pour le modèle Ericsson. les coefficients optimisés sont idéaux car ils donnent un meilleur modèle que le modèle Ericsson non amélioré, le modèle Okumura-Hata non amélioré et le modèle COST 231 non amélioré, où il s'est avéré que le modèle Ericsson amélioré montre le plus grand accord avec les valeurs réelles.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'optimisation des modèles de propagation de quatrième génération consiste à déterminer les paramètres des modèles de propagation LTE, comme l'affaiblissement, la qualité de service de propagation pour les adapter à des conditions particulières au réseau spécifique. cela permet d'optimiser les paramètres du modèle choisi. les techniques d'optimisation des modèles de propagation LTE permettent d'utiliser des mesures de terrain réelles et d'ajuster ces paramètres pour améliorer la précision de la prédiction de la couverture radio.

L'étude présentée dans ce travail est dédiée à l'amélioration de la couverture des réseaux 4G LTE à l'aide d'un algorithme méta-heuristique tout en donnant de nouveaux paramètres du modèle Ericsson adaptés à la zone choisie.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de première à la quatrième génération, leurs caractères, composants et fonctions et nous avons montré également les domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre, nous avons défini le concept de méta-heuristique et les caractéristiques de la résolution de problèmes d'optimisation. ces méthodes permettent de minimiser ou maximiser la fonction objective tout en choisissant et explorant le domaine de recherche et de solution correcte.

Notre application est présentée dans le troisième chapitre où nous évaluons les performances de l'algorithme API. l'algorithme méta-heuristique utilise généralement des opérations aléatoires pour explorer l'espace de recherche. c'est une méthode itérative où le même processus de recherche d'une solution est répété jusqu'à ce qu'un niveau optimal soit atteint.

L'algorithme API utilisé est inspiré du mécanisme biologique de la nature, les fourmis *Pachycondyla Apicalis*, comme outil d'optimisation pour réduire les erreurs en prenant en considération des spécificités de l'environnement dans une zone suburbaine en utilisant les mesures expérimentales réelles. le modèle de propagation a ensuite été optimisé sur la base du modèle d'Ericsson pour réduire l'erreur entre les données de perte mesurées et optimisées dans le réseau 4G LTE à l'aide de l'algorithme API. en conséquence, l'algorithme a subi certaines limites telles que la convergence vis-à-vis le choix de l'espace de recherche.

Ce travail ouvre l'axe à des recherches sur d'autres modèles ainsi que le travail sur les réseaux mobiles 5G.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] 2021, « <https://www.js2-sciences.com/blog/la-5g-le-reseau-du-futur-entre-enthousiasme> »
- [2] 2023, « <https://www.matooma.com/fr/definitions/gsm> »
- [3] 2023, « <https://www.marche-public.fr/Terminologie/Entrees/1G.htm> »
- [4] M.Bouchelkia,L.Ameziani,(2018),«La qualité de service dans les réseaux 4G LTE», Mémoire Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [5]B.Missoum,O.Said,(2020),«Implémentation d'un système de surveillance cellulaire de la consommation d'énergie basé sur (IOT Internet Of Things) », Mémoire Master, Université Akli Moand Oulhadj de Bouira.
- [6] M.Randriamitantsoa.Auguste,(2015),«Mecanisme pour fournir les qualites de services dans le réseau de quatrième génération», Mémoire Master, Université D'antananarivo,Ecole supérieure polytechnique,.
- [7] A.Rahil,(2015), « Gestion du Handover dans les Réseaux Hétérogènes Mobiles et sans Fil » dissertation Doctorat ,Université de Bourgogne.
- [8] H.Bouchentouf, S.Boudghene,(2013), «Etude Des Performances Des Réseaux 4G (LTE) » Mémoire Master, Université Abou bker blkaid deTlemcen .
- [9] M.Hocine, A.Didaoui,(2016), «Etude des mécanismes du Handover du réseau LTE». Mémoire Master, Université Dr.Tahar Moulay de Saida.
- [10] 2023, « <https://www.jechange.fr/telecom/mobile/guides/technologie-3g-3557> »
- [11]24/05/2023, « <https://www.servicesmobiles.fr/cest-quoi-le-hsdpa-et-le-hsupa-8823> »
- [12] Bouguen, Y, Hardouin, E, Wolff, F, Pujolle, G, et Maloberti, A.(2012),«LTE et les réseaux 4G»,Paris: Eyrolles.
- [13] <https://sznaty2.wixsite.com/efort3/tutorial>.
- [14] Documentation technique Orange Developer ,«Généralités et architecture de la 4G».

Bibliographie

- [15] 3GPP TR 23.882 V8.0.0, 3GPP,(2008),«System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions (Release 8)»,Pdf.
- [16] K.Hacini,R.Khelifi,(2019),«Transition 2G/3G/4G en communication mobile : cas site université d'ATM Mobilis»,Mémoire Master,Université Mohammed Seddik Benyahia de Jijel
- [17] I.Ben.CHaabane,(2013),«4G LTE Long term Evolution» ,Regional forum for ARAB Region: IMTSystems Techonology,Evolution and implementation de Tunis,Tunisia.
- [18] S.Tassadit,T.Thiziri,(2017),«Dimensionnement et planification d'un réseaux 4G/LTE» ,Mémoire Master, Université Mouloud mammeri de TIZI-OUZOU
- [19] N.Dahmouni,H.Takh,(2019), «Étude et amélioration de la (QoS) de la voix dans les réseaux 4G-LTE », Mémoire Master, Université de mohamed el-bachir el-ibrahimi de borj bou arreridj.
- [20] R.Hoceini,S.Boutaghou,(2018), «Étude du handover en LTE», Mémoire Master, Université de Ziane achour de Djelfra.
- [21] A.Benelhdjelloul,Z.Larbi,(2016), «Qualité de service (QoS) dans les réseaux mobiles 4G», Mémoire Master, Université d'Ibn khaldoum de Tiaret
- [22] 2023, « https://www.cisco.com/c/fr_ca/solutions/what-is-5g.html »
- [23] A.Zaiz,(2019), « Optimisation des modèles de perte dans un canal physique pour la communication mobiles », Mémoire Master, Université Echahid Hamma Lakhdar de EL-Oued.
- [24] M.S.A.Eby,(2021) « OPTIMISATION PARAMETRIQUE POUR ESTIMATION DES PERTES DANS UN RESEAU 4G », Mémoire Master , Université Larbi de,Tébessa
- [25] M.Alnatoor,S.Ghezali,(2017), « Modélisation des pertes des réseaux mobiles par les techniques d'intelligence artificielle », Mémoire Master, Université Abbes lghrou, kenchela.
- [26] S.Boukharouba,S.Mebarki,(2022), « Optimisation d'un modèle de propagation approprié pour la communication mobile », Mémoire Master, Université Mohamed boudiaf,M'sila.
- [27] 2003-2023, « <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/okumura-hata-model-hata-model-radio-propagation-model-predicting-path-loss-cellular-transm-q45529330> »

Bibliographie

- [28] A.Deme,D.Dajab, D.Nyap, (Computer Engineering and Intelligent Systems ISSN 2222-1719 (Paper) ISSN 2222-2863 (Online) Vol.4, No.9, 2013), «Computer Analysis of the COST 231 Hata Model and Least Squares Approximation for Path Loss Estimation at 900MHz on the Mountain Terrains of the Jos-Plateau, Nigeria», Journal, University of Jos, Jos-Nigeria, University Zaria – Nigeria., pp. 39-40.
- [29] Ajose, S.O. et Imoize, A.L. (2013) « Mesures et modélisation de la propagation à 1 800 MHz à Lagos au Nigeria », Journal Int. J. Informatique sans fil et mobile, Vol. 6, Non. 2, pp. 166–167.
- [30] Francine.Cássia ,José.Marcos,(2021),«A Comparative Study of Performance Analysis of Empirical Propagation Models for NB-IoT Protocol in Suburban Scenarios»,Santa Rita do Sabocai, Brasil
- [31] A.Bengawan , B.Taufik, A.Feby, H.Muhammad , «Path Loss Propagation Evaluation and Modelling based ECC-Model in Lowland Area on 1800 MHz»,Journal of Robotics and Control (JRC) Volume 1, Numéro 5, Septembre 2020 ISSN : 2715-5072 DOI : 10.18196/jrc.1534.
- [32] H.Moukhtari,(2010),« Modeles de propagation pour l'ingenierie radio cellulaire », conférences-journée (Draft), France
- [33]13/04/2009, « http://www.physique-quantique.wikibis.com/methode_quantique_semi-empirique.php »
- [34]I.Brahim,KH.Messaoud ,(2020),« Optimisation des périodes d'intervention sur les éléments d'une ligne de production industrielle », Mémoire Master, Université Ibn khaldoun de Tiaret .
- [35] 5December 2015,«https://www.researchgate.net/figure/Global-and-local-optima-in-a-search-space-R-n-The-position-on-the-X-and-Y-axis_fig2_309033247»
- [36] Prof.Delbecque,(2020), «Calcul différentiel A2020 ,Cours,Chapitre7(Problèmes d'optimisation)», pp. 153.
- [37] S.Bouri, (2007) ,« Optimisation de la production et de la structure d'énergie électrique par les colonies de fourmis », thèse de Doctorat ,Université de Jilali Liabès.

Bibliographie

- [38] F.Bekaddour,(2014),« Amélioration des Performances des Classifieurs à base de Métaheuristiques»,Memoire de Magister de l'informatique,Université Abou-bekr Belkaid de Tlemcen.
- [39] Y.Bouguerra,N.H.Tairat,(2022),« Etude comparative des algorithmes de colonies de fourmis pour Optimisation multi-objectifs », Mémoire Master ,Universite Mohamed Elbachir Al Ibrahimi de Bordj-Bou-Argeridj
- [40] A.H.Hoggas ,w.abidi,(2018),« Identification des paramètres d'un oscillateur chaotique par l'algorithmes metaheuristique API », Mémoire Master ,Université Abbas Laghur de Khenchela.
- [41] A.Tayeb,(2011), « Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique », Mémoire de Magister, Université d'Oran.
- [42] Dr. A.Lemouari ,(2014) , « Introduction aux Métaheuristiques » ,Support de Cours,Université de Jijel.
- [43] F.Maameri , (2019) , « Contribution à la modélisation et à l'identification des systèmes chaotiques par les méta-heuristiques Méthodes méta-heuristiques - Stabilité par la méthode de Lyapunové », thèse de doctorat ,Université Larbi ben m'hidi oum El Bouaghi.
- [44] A.Bendahame, (octobre 2011), « cour de Le recuit simulé », Université de Mohamed Boudiaf d'Oran
- [45] I.Boussaid,(2019), « Perfectionnement de méta-heuristiques pour l'optimisation continue », thèse de doctorat, Université paris.
- [46] Mr.M.Daoudi,(2012),« Approches de résolution par les méta-heuristiques de problèmes d'optimisation combinatoire NP-Difficiles », thèse de doctorat, Université de sciences et de la technologie Hpuari Boumedienne de Bab Ezzouar.
- [47] Costanzo.Andrea, LuongThé Van, MARILL Guillaume. « Optimisation par colonie de fourmis ». 19 mai 2006, pp. 04-05.
- [48] N. Monmarche, G. Venturini, and M. Slimane,(2000) , «On how pachcondyla apicalis ants suggest a new search algorithm », Fut. Gen. Comput. Syst, vol. 16, pp. 937–946,
- [49] N.Monmarché,(2000), « Algorithmes de fourmis artificielles :applications à la classification et à l'optimisation », Interface homme-machine [cs.HC]. Université François Rabelais - Tours, Français. NNT : tel-00005186.

Bibliographie

[50] M.H.Sadok,(2007),« API, Une Meta-heuristique pour l'optimisation difficile application a l'identification de la machine asynchrone », thèse de doctorat, ,Université Saad Dahlab de Blida

[51]H.A.Mokhtar,(2010),« Conception d'un système hybride entre la Méta-heuristique Electromagnétique et l'algorithme de colonie de fourmis pour la classification des images satellitaires »,Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf d'Oran.

[52] Y.Houbad,(2011), « Modélisation et Ordonnancement temps réel d'un Job shop à l'aide des métaheuristiques »,Mémoire de Magister,Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen.

[53]Z.Yahia , H.Jiri , M.Jiri,(2015), «Path Loss Measurements for Wireless Communication in Urban and Rural Environments», American Journal of Engineering and Applied Sciences Engineering Research Division, National Research Center, Dokki, P.O. 12622, Le Caire, Égypte Département des télécommunications, Université de technologie de Brno, Brno, République tchèque.