

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE A. MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunication

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Présenté par

KERDJA Kamila

MAY Naima

Thème

***Etude de l'influence des paramètres antennaires
sur la couverture radio LTE***

Soutenue le : 14 juin 2018

Devant le Jury :

Président	M. BERRAH.S
Examineur	Mme. ACHOUR.L
Encadreur	M. KHIREDINE.A
Co-Encadreur	M. OUAMRI.M.A

Année Universitaire : 2017/2018

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1	4
Généralités sur les réseaux cellulaires.....	4
1.1.Introduction.....	4
1.2.Concept des réseaux cellulaires.....	4
1.3.Concept de réutilisation de fréquence.....	5
1.4. Elément d'un réseau cellulaire	7
1.5. Phénomène de propagation	7
1.5.1. La réfraction	8
1.5.2.La réflexion	8
1.5.3. Diffraction.....	8
1.5.4. Diffusion	8
1.6. Evolution des réseaux cellulaires	9
1.7. Technique d'accès	12
1.7.1. Accès multiple par répartition de temps (TDMA).....	13
1.7.2. Accès multiple par répartition en fréquence (FDMA).....	14
1.7.3. Accès multiple à répartition en code à large bande	15
1.7.4. Accès à répartition en fréquences orthogonales.....	16
1.8. Duplexage	17
1.8.1. FDD.....	17
1.8.2. TDD	17
1.9. Conclusion	18
CHAPITRE 2	19
La planification des réseaux cellulaires	19
2.1.Introduction.....	19
2.2. Mobilité dans un réseau cellulaire (Handover).....	19
2.2.1. Handover intracellulaire.....	20
2.2.2. Handover intercellulaire.....	20

2.3. Interférence.....	21
2.3.1. L'interférence intercellulaire	21
2.3.2. L'interférence intracellulaire	23
2.4. Les modèles de propagation.....	25
2.4.1. Le modèle d'Okumura Hata.....	25
2.4.2. Le modèle COST 231 Hata	26
2.4.3. Le modèle COST 231 walfish ikegami.....	27
2.5. La planification de réseau cellulaire.....	29
2.5.1. La planification de couverture.....	30
2.5.2. La planification de la capacité	33
2.5.3. La planification de point de vue économique	34
2.6. Conclusion	35
CHAPITRE 3	36
Modélisation mathématique et algorithme génétique	36
3.1. Introduction.....	36
3.2. Problématique de planification	36
3.3. Les paramètres antennaires	36
3.3.1. Type d'antennes	36
3.3.2. Puissances de transmission	38
3.3.3. La hauteur de l'antenne de la station de base	39
3.3.4. L'azimut.....	39
3.3.5. Le Tilt.....	40
3.4. L'intensité du champ.....	40
3.5. Représentation du trafic et des stations de base	42
3.6. Objectives et contraintes.....	42
3.6.1. Maximisation de la couverture.....	42
3.6.2. Contrainte du Handover.....	43
3.6.3. Contrainte de capacité.....	44
3.7. La fonction objective (fitness).....	44
3.8. Algorithme génétique.....	45
3.8.1. Représentation du chromosome	46
3.8.2. Le codage.....	47
3.8.3. La sélection.....	47
3.8.4. Le Croisement.....	48

3.8.5. La mutation	49
3.9. Conclusion.....	50
CHAPITRE 4	51
Simulation et interprétation	51
4.1. Introduction.....	51
4.2. Principe de la simulation	51
4.2.1. Cas réel de l'optimisation des paramètres.....	52
4.2.2. Application de l'algorithme génétique.....	58
4.3. Placement des stations de base.....	59
4.4. Evaluation de la fonction fitness	62
4.5. Variation du Handover en fonction de la couverture	62
4.6. Conclusion.....	63
Conclusion générale	65
Bibliographie	67

Liste des figures

Figure 1. 1 : Cluster d'un réseau mobile.	5
Figure 1. 2: Concept de réutilisation de fréquence.	6
Figure 1. 3: La distance des motifs cellulaires.	6
Figure 1. 4: Evolution de la station de base en fonction des générations mobiles.	7
Figure 1. 5 : Environnement de propagation.	9
Figure 1. 6 : Architecture générale d'un système de première génération.	9
Figure 1. 7 : Architecture du réseau GSM.	10
Figure 1. 8 : Architecture de du réseau UMTS.	11
Figure 1. 9 : Architecture du réseau LTE.	12
Figure 1. 10 : Exemple d'un système TDMA.	13
Figure 1. 11 : Exemple de trois canaux FDMA.	15
Figure 1. 12 : Etalement et désétalement.	16
Figure 1. 13 : Technique de Duplexage FDD.	17
Figure 1. 14: Technique de Duplexage TDD.	18
Figure 2. 1 : Handover intracellulaire.	20
Figure 2. 2 : Handover intercellulaire.	21
Figure 2. 3 : Interférence intercellulaire descendante.	22
Figure 2. 4 : Interférence intercellulaire montante.	23
Figure 2. 5 : Intracellulaire descendant.	24
Figure 2. 6: Intracellulaire montant.	24
Figure 2. 7 : Paramètres du modèle Cost 231 Walfish-Ikegami.	29
Figure 2. 8 : Chevauchement entre sites.	31
Figure 2. 9 : La respiration de la cellule. La situation dans laquelle la station b est plus chargé que la station c.	33
Figure 3. 1 : Antenne omnidirectionnelle.	37
Figure 3. 2 : Antenne directionnelle.	38
Figure 3. 3 : La couverture du signal pour deux différentes hauteurs d'antenne.	39
Figure 3. 4 : Illustration de l'Uptilt du Downtilt.	40

Figure 3. 5 : Angle d'incidence entre l'utilisateur (UE) et la station de base (SB).	41
Figure 3. 6 : L'intensité de champ lors de la procédure du Handover.....	44
Figure 3. 7 : L'organigramme d'un Algorithme Génétique.	46
Figure 3. 8 : Représentation d'un chromosome.	46
Figure 3. 9 : Exemple des types de croisement.	49
Figure 3. 10 : Représentation schématique de la mutation.....	50
Figure 4. 1 : Un mauvais niveau de signal détecté dans la zone couverte par la cellule encerclé (a) et le zoom de la région (b).	52
Figure 4. 2 : Amélioration de la couverture après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).	53
Figure 4. 3 : La qualité du signal de la région couverte par le site encerclé (a) et l'amélioration de la qualité du signal après le réglage des paramètres de l'antenne de ce site (b).	53
Figure 4. 4 : Le débit de la ligne descendante de la région couverte par le site encerclé (a) et l'amélioration du débit après le réglage des paramètres de l'antenne de ce site (b).	54
Figure 4. 5 : Un mauvais niveau de signal détecté dans la zone couverte par la cellule encerclé (a) et le zoom de la région (b).	54
Figure 4. 6 : Amélioration de niveau de signal après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).....	55
Figure 4. 7: Amélioration du débit de la ligne descendant après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).	55
Figure 4. 8 : Amélioration de la qualité du signal après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).....	56
Figure 4. 9 : L'effet d'overshooting au niveau du secteur 4A06X003_10.....	56
Figure 4. 10: L'élimination de l'effet d'overshooting dans les niveaux de couverture de L.RA.TA.UE.Index5 et L.RA.TA.UE.Index6 et L.RA.TA.UE.Index7 à partir de 24/04/2018	57
Figure 4. 11 : Distribution des utilisateurs.	59
Figure 4. 12 : Emplacement des stations de base à la 500 ^{ème} génération.	60
Figure 4. 13 : Emplacement des stations de base à la 800 ^{ème} génération.	61
Figure 4. 14 : Emplacement des stations de base à la 1500 ^{ème} et 2000 ^{ème} génération.	61
Figure 4. 15 : variation de la fonction fitness.....	62
Figure 4. 16: Variation du handover en fonction de la couverture.	63

Liste des tableaux

Tableau 4. 1: La distance de chaque niveau de couverture ainsi que leur range et distance....	57
Tableau 4. 2 : Paramètres de simulation.....	58
Tableau 4. 3 : Paramètre de l’algorithme génétique.	59

Remerciements

Ces quelques lignes ne pourront jamais exprimer la reconnaissance que nous éprouvons envers tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements ou leurs amitiés à l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à remercier et à exprimer nos profondes reconnaissances à notre promoteur Mr. KHIRIEDDINE Abdelkrim et à notre Co-promoteur Mr. OUAMRI Mohamed Amine qui nous ont précieusement aidés et si judicieusement suivi durant la réalisation de ce modeste travail, qu'il trouve ici toute notre gratitude.

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur d'examiner et de juger notre travail.

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à toutes les équipes de Djezzy et Huawei et en particulier notre encadreur Mr. TAKH Samir ainsi que Mr. Hamza SI AHMED et M. BENMIMOUNE Lamya qui nous ont beaucoup aidé, offert une agréable ambiance de travail et nous ont garanti la meilleure formation possible afin d'effectuer ce projet dans les meilleurs conditions.

Dédicace2

Louange à Dieu, le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être.

Je dédie ce travail :

*A mes parents pour leurs sacrifices, leur encouragement continu et leur dévouement
inconditionnel*

A ma grand-mère

A mes chers frères Nabil, Salah et sa femme

A mes sœurs Tiziri, Fatima

A mon fiancé Abid

A toute ma famille, du plus grand au plus petit

A ma camarade Kamila avec qui j'ai réalisé ce travail

A mes copines Massylia, Monia et Lynda

*A tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste
travail.*

MAY Naima

Dédicace1

Louange à Dieu, le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être.

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, que Dieu les protège et les garde pour moi

A mon frère Sabri, ma sœur Chaima et ma cousine Wissam

A mes copines Nassima, Monia et Lynda, pour leurs aides et leurs encouragements

A toute ma famille, du plus grand au plus petit

Je dédie aussi ce travail à tous mes camarades et surtout mes amis et en particulier ma camarade MAY Naima avec qui j'ai réalisé ce travail.

A tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

KERDJA Kamila

Liste des abréviations

1G	1ère Génération
2G	2ème Génération
3G	3ème Génération
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4ème Génération
AMRC	Accès Multiple par Répartition en Code
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Préfixe Cyclique
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSN	Gateway GPRS Support Node
GSM	Global System For Mobile
HBA	Height Base Antenna
IMT-2000	International Mobile Telecommunication 2000
IP	Internet Protocol
IS-136	Interim Standard-136

IS-95	Interim Standard-95
KPI	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution
MAPL	Maximum Allowable Path Loss
ME	Mobile Equipment
MS	Mobile Station
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDC	Personal Digital Communications
RLB	Radio Link Budget
RNC	Contrôleur de Réseau Radio
RSS	Receive Signal Strength
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
SB	Station de Base
SGSN	Serving GPRS Support Nod
TDD	Time Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipement
UMTS	Universel Terrestrial Mobile System
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WMSC	Centre de Commutation Mobile à large bande CDMA

Introduction générale

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu plusieurs évolutions liées aux progrès par le développement de la technique mobile et l'accroissement du nombre du trafic, d'où le déploiement de plusieurs générations.

La 1G (première génération) reposait sur un système de communications mobiles analogique d'inconvénient sur la limitation des services offerts et l'incompatibilité.

La 2G (deuxième génération) ou bien la GSM (Global System for Mobile) nous a permis de passer de l'analogique vers le numérique avec l'introduction du système numérique TDMA (Time Division Multiple Access), et de profiter des nouveaux services tels que le SMS (Short Message System).

Par la suite, il y a eu l'apparition du réseau 3G (troisième génération). L'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), un standard 3GPP (3rd Generation Partnership Project), le système de téléphonie mobile de la 3ème génération est basé sur la technique d'étalement du spectre (WCDMA), il est passé du niveau vocal à commutation de circuit au service de données par paquets mobiles. [1].

La nouvelle norme qui est LTE (Long Term Evolution) présente la quatrième génération (4G), elle est caractérisée par le passage à une structure IP (Internet protocole) pour la transmission des communications sous forme de paquet de données, et par l'utilisation de la technique d'accès OFDM. Dans ce réseau, des modifications sont effectuées au niveau du réseau cœur, des émetteurs radio et des équipements mobiles adaptés au réseau de la nouvelle génération.

La planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser d'une façon optimale, en respectant entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Le progrès du réseau cellulaire a mené à des nouveaux problèmes dans l'optimisation et sur la planification de ce réseau.

Notre projet de fin d'étude est organisé en quatre chapitres dans le but d'étudier l'influence des paramètres antennaires dans la couverture radio LTE, dans le but de trouver les meilleurs paramètres antennaires (position, puissance de transmission, tilt, hauteur de l'antenne) pour une maximisation de la couverture.

Dans le premier chapitre nous avons parlé sur des généralités sur le réseau cellulaire dans lequel nous tentons de parler sur le concept de réseau cellulaire, la réutilisation de fréquence, le phénomène de propagation, l'évolution des réseaux cellulaires ainsi que leurs techniques d'accès et le duplexage.

Le deuxième chapitre est réservé pour la planification des réseaux cellulaire. Dans le réseau LTE, la tentative d'optimisation se base sur une planification convenable afin de garantir une meilleure couverture et une grande capacité de la zone spécifiée. Cette planification consiste à positionner et à paramétrer des émetteurs du réseau cellulaire (LTE dans notre cas) en étudiant des quelques modèles de propagation. Ce processus se réalise sous la contrainte de capacité pour déterminer le nombre maximal de trafics qu'une antenne peut couvrir, et sous la contrainte de Handover pour permettre la mobilité, tout en minimisant un coût financier. Les critères de qualité de service sont regroupés en trois grandes catégories : les critères de couverture, les critères liés à la gestion de Handover et des interférences et les critères de capacité du réseau.

Le troisième chapitre constitue l'objet de ce mémoire qui est de répondre à des problèmes de planification en proposant d'utiliser une modélisation mathématique et un algorithme génétique pour optimiser la planification des réseaux cellulaires en choisissant le modèle d'Okumura Hata comme un modèle de propagation et l'antenne omnidirectionnelle.

Dans le dernier chapitre, nous avons effectué une simulation sur le logiciel U-Net utilisé pendant un stage au sein de l'entreprise Huawei à Alger qui consistait à la réalisation de la maximisation de la couverture optimale par l'ajustement des paramètres antennaires (la puissance de transmission, le tilt, la hauteur). D'autre part nous avons utilisé le logiciel de programmation Matlab dans le but d'avoir une meilleure couverture du réseau LTE en choisissant la génération qui contient les meilleurs paramètres antennaires les meilleures positions possibles de la station de base.

Nous terminons par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE 1

Généralités sur les réseaux cellulaires

1.1. Introduction

Les dernières années ont vu une croissance phénoménale de l'industrie du réseau sans-fil, à la fois en termes de technologie mobile et d'abonnés. Les opérateurs de réseaux mobiles et les fournisseurs ont reconnu l'importance des réseaux efficaces avec des processus tout aussi efficaces. Cependant, concevoir un réseau cellulaire est indubitablement le défi le plus ambitieux de toute la téléphonie mobile. D'autre part, les réseaux cellulaires ont connu un développement phénoménal partant de la première génération appelée GSM jusqu'au D2D actuellement.

Ce chapitre donne un aperçu des réseaux mobiles. Nous commençons par introduire le concept des réseaux cellulaires ainsi que les éléments constituent le réseau. Ensuite, nous étudions les phénomènes de propagations des ondes radio dans un réseau cellulaire et leur importance dans ce dernier. Nous élaborons l'évolution de chaque génération ainsi que les techniques qui leur différencient. Enfin, une conclusion pour aborder l'importance des aspects qui nous semble nécessaire à notre travail.

1.2. Concept des réseaux cellulaires

Un téléphone cellulaire permet d'avoir une communication vocale et des données bidirectionnelles avec une couverture régionale ou internationale dans laquelle un abonné a une connexion sans fil d'un téléphone mobile à un émetteur relativement proche. L'étendue de couverture de l'émetteur est appelée une cellule. Les systèmes cellulaires ont été initialement conçus pour les terminaux mobiles à l'intérieur des véhicules avec une antenne montée sur le toit du véhicule [2].

Aujourd'hui, ces systèmes ont évolué pour prendre en charge des terminaux mobiles légers fonctionnant à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, tant pour les piétons que pour les véhicules. Le réseau cellulaire doit être conçu de manière à satisfaire tous les utilisateurs en termes de couverture et aussi en termes de mobilité. En effet, un utilisateur qui se localise dans le réseau exige de se déplacer d'une cellule à une autre sans coupure de la connexion.

Généralement une cellule est desservi par une entité appelé station de base. Elle représente l'élément majeur du réseau. Une cellule est représentée par un hexagone comme illustré dans la figure 1.1 pour simplifier la planification et la conception d'un système cellulaire car elle s'approche d'une forme circulaire qui est la zone de couverture idéale de la station de base. La taille des cellules sur le territoire dépend principalement du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone, de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, ...), de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, ...) et aussi de la densité des constructions.

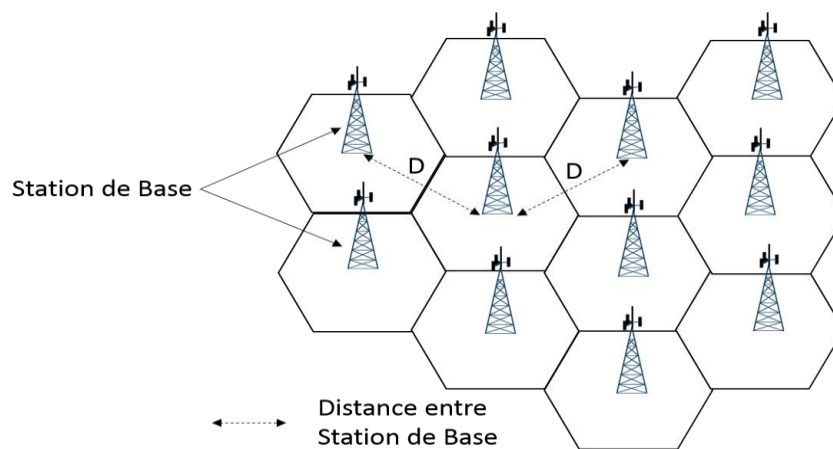


Figure 1. 1 : Cluster d'un réseau mobile.

1.3. Concept de réutilisation de fréquence

Les réseaux de téléphonie cellulaire utilisent la réutilisation des fréquences. Dans le concept de réutilisation cellulaire, les fréquences allouées au service sont réutilisées dans un modèle régulier de zones, appelées "cellules", chacune couverte par une station de base. Pour s'assurer que l'interférence mutuelle entre les utilisateurs reste inférieure à un niveau nuisible, les cellules adjacentes utilisent des fréquences différentes. Cependant, dans les cellules qui sont séparées plus loin, les fréquences peuvent être réutilisées. En d'autres termes, le processus de conception de la sélection et de l'attribution des groupes de canaux pour toutes les stations de base cellulaires d'un système est appelé réutilisation des fréquences.

Le concept de réutilisation des fréquences cellulaires est clairement illustré à la figure 1.2. Sur la figure, les sept cellules ombrées nommées A à G forment un groupe de cellules. Ce groupe de cellules est répété sur toute la zone de couverture. Les canaux disponibles totaux sont

également répartis entre les cellules d'un groupe de cellules. Les cellules avec le même nom signifient qu'elles utilisent le même ensemble de canaux. Le nombre total de cellules dans un cluster défini en tant que taille de cluster est égal à 7 pour le scénario illustré [3] [4].

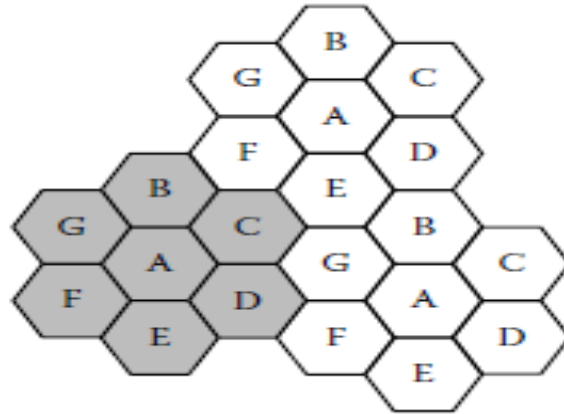


Figure 1. 2: Concept de réutilisation de fréquence.

Il est nécessaire d'évaluer la distance minimum qui doit séparer deux cellules utilisant la même fréquence pour qu'aucun phénomène perturbateur n'intervienne. La distance de réutilisation est égale à :

$$D = R\sqrt{3} K \quad (1.1)$$

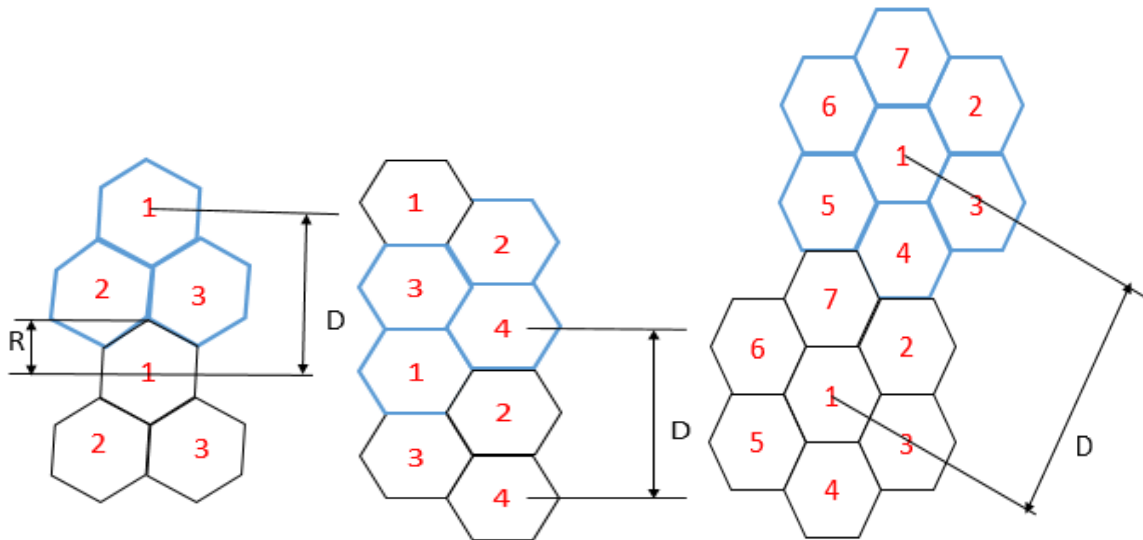


Figure 1. 3: La distance des motifs cellulaires.

1.4. Élément d'un réseau cellulaire

L'objectif principal du réseau est de fournir une meilleure qualité de service aux abonnés. Le réseau doit couvrir des zones géographiques importantes. Cette couverture est assurée par une entité appelée une station de base (Base Station). Constituée d'une ou plusieurs antennes, elle a pour objectif de relier les informations vers et depuis une unité d'émission / réception, telle qu'un téléphone portable. Souvent désignée sous le nom de site cellulaire, une station de base permet aux téléphones mobiles de fonctionner dans une zone locale, à condition qu'il soit dans la zone de couverture de la station [5].

Un mobile ou bien utilisateur est un équipement d'interconnexion qui permet les échanges de données avec la station de base. Équiper d'une antenne intégrée, le téléphone mobile qui se localise dans le réseau peut communiquer avec la station de base dans les deux sens Uplink et DownLink. Les mobiles ont évolué au fil du temps, chaque génération de réseaux mobiles définit un modèle téléphonique différent et il est amélioré par rapport à la génération précédente. Avec les évolutions des réseaux mobiles la station de base se diffère d'une génération à une autre comme illustré dans la figure 1.4.

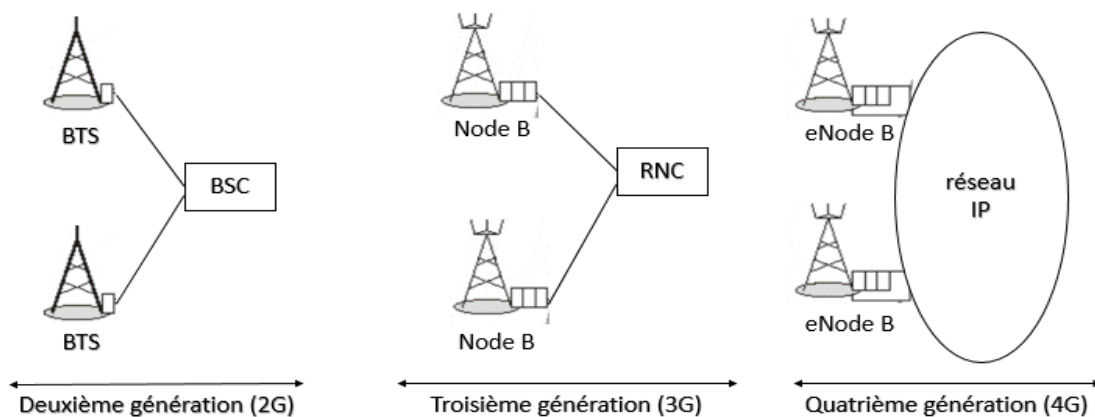


Figure 1. 4: Evolution de la station de base en fonction des générations mobiles.

1.5. Phénomène de propagation

Afin de comprendre le comportement du système dans différents environnements. Il est important d'étudier la caractéristique des milieux de propagation. Il y a rarement visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur, une onde peut subir plusieurs altérations : diffractions, réflexions et diffusions. Les trajets de l'émetteur au récepteur peuvent être multiples. Dans les

télécommunications sans fil, les trajets multiples sont le phénomène de propagation qui se traduit par des signaux radio atteignant l'antenne de réception par deux voies ou plus. Dans les réseaux cellulaires, les trajets multiples peuvent provoquer des erreurs et affecter la qualité des communications. Cette section présente les différents phénomènes de propagation d'une onde radio [2] [6].

1.5.1. La réfraction

La réfraction c'est la flexion des ondes lorsqu'elles passent d'un milieu à un autre dans lequel la vitesse de propagation est différente. Cette flexion, ou changement de direction, est toujours vers le milieu qui a la plus faible vitesse de propagation. C'est un facteur très important dans le dimensionnement des sites macro-cellulaires, à cause de la variation de l'indice de réfraction de l'atmosphère, les ondes radio qui se propagent suivant des courbes, pour cela la zone de couverture effective d'un émetteur est plus large que celle calculée [7].

1.5.2. La réflexion

La réflexion se produit lorsque le signal rencontre une surface qui est grande par rapport à la longueur d'onde du signal. Les ondes radio peuvent être réfléchies par diverses substances ou objets qu'elles rencontrent pendant le trajet entre les sites d'émission et de réception.

La quantité de réflexion dépend du matériau réfléchissant. Les surfaces métalliques lisses de bonnes conductivités électriques sont des réflecteurs efficaces des ondes radio. La surface de la Terre elle-même est un assez bon réflecteur [7].

1.5.3. Diffraction

La diffraction est provoquée dans le cas où la dimension de l'obstacle est petite devant la longueur d'onde incidente, c'est-à-dire que la surface de l'obstacle est un angle comme le bord, les toits des bâtiments...etc. Elle permet d'atteindre les zones non couvertes par le réseau de s'y propager normalement dans les zones d'ombre ; c'est pour cela qu'en absence de visibilité directe l'onde peut arriver au récepteur [7].

1.5.4. Diffusion

Elle apparaît s'il existe un obstacle de surface non plane sur le trajet de l'onde, c'est-à-dire une zone dense d'objets de transmission de même ordre de grandeur ou inférieur à la longueur d'onde ou bien une surface rugueuse avec des irrégularités suffisamment petites, ce qui provoque la réémission dans toutes les directions de l'espace d'une fraction minime de l'énergie.

Ces obstacles peuvent être considérés comme un inconvénient si l'émetteur et le récepteur sont en ligne directe puisque dans ce cas la réflexion perturbe la liaison. Par contre pour un canal qui n'est pas en ligne de vue, la diffraction et la diffusion présentent un avantage pour la continuité de la liaison [7].

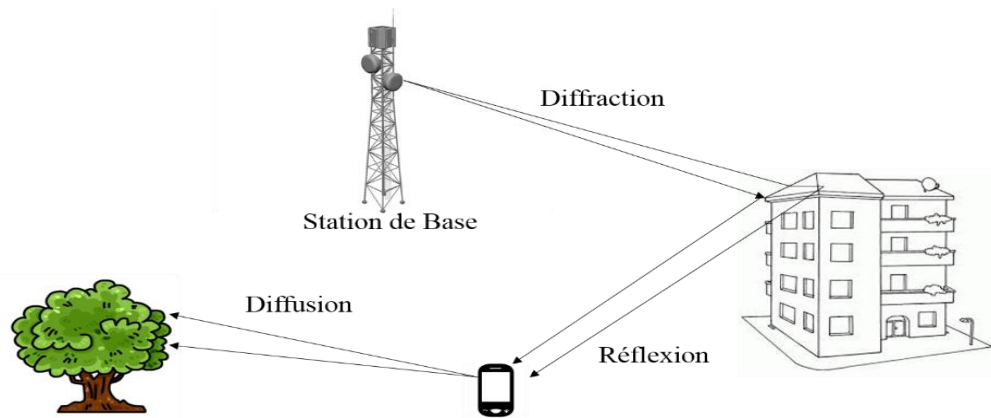


Figure 1. 5 : Environnement de propagation.

1.6. Evolution des réseaux cellulaires

La technologie sans fil progresse rapidement d'où l'introduction du mot « génération » qui différencie les réseaux mobiles, en tant que : « première génération », « deuxième génération », etc. Ainsi, les systèmes mobiles de première génération étaient des normes analogiques introduites au début des années 1980. Ils ont offert essentiellement des services de discours et des services connexes. Cependant, leurs principaux inconvénients étaient les services limités offerts et l'incompatibilité. L'architecture de cette génération (1G) est relativement simple. Cette simplicité est due à leur fiable capacité, au faible nombre de fonctions qu'ils assuraient ainsi que les coûts élevés des équipements.

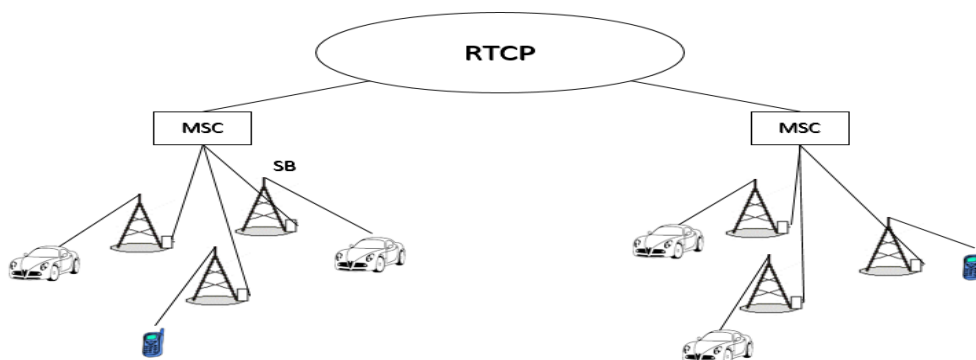


Figure 1. 6 : Architecture générale d'un système de première génération.

Dans les années 90, la nécessité croissante d'un système de restauration pour les besoins de la communication mobile en termes de qualité de service pour offrir une grande compatibilité, a entraîné la naissance des systèmes mobiles de deuxième génération. Le GSM (Global System For Mobile) est la première norme téléphonique cellulaire qui est passé de l'analogique vers le numérique. C'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles développés à la fin des années 80 et donnaient accès aux services voix, SMS et également le transfert des données à faibles débits avec une transmission en mode circuit. Le réseau GSM son rôle est de se communiquer entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). la figure 1.7 suivante présente l'architecture du réseau GSM [5].

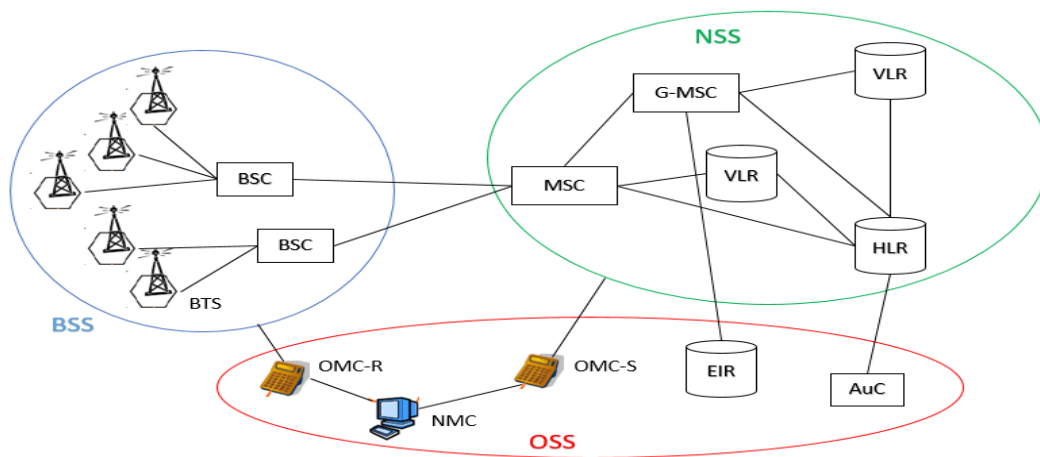


Figure 1. 7 : Architecture du réseau GSM.

Dans EDGE, il était possible d'effectuer un grand volume de données, mais le transfert de paquets sur l'interface radio se comporte toujours comme un appel de commutation de circuit. Ainsi, une partie de cette efficacité de connexion de paquet est perdue dans l'environnement de commutation de circuit [3]. De plus, les normes pour développer les réseaux étaient différents pour différentes parties du monde. Par conséquent, il a été décidé d'avoir un réseau qui fournit des services indépendants de la plate-forme technologique et dont les normes de conception de réseau sont les mêmes au niveau mondial.

Ainsi, la 3G est née. En Europe, il s'appelait UMTS (Universal Terrestrial Mobile System), qui est piloté par l'ETSI. IMT-2000 est le nom de l'UIT-T pour le système de troisième génération, alors que cdma2000 est le nom de la variante 3G américaine. WCDMA est la technique d'interface radio pour l'UMTS. Les composants principaux comprennent BS (station de base) ou le nœud B, RNC (contrôleur de réseau radio) en dehors de WMSC (centre de commutation

mobile à large bande CDMA) et SGSN / GGSN. Cette plate-forme offre de nombreux services basés sur Internet, ainsi que la téléphonie vidéo, l'imagerie, etc. [8] [9].

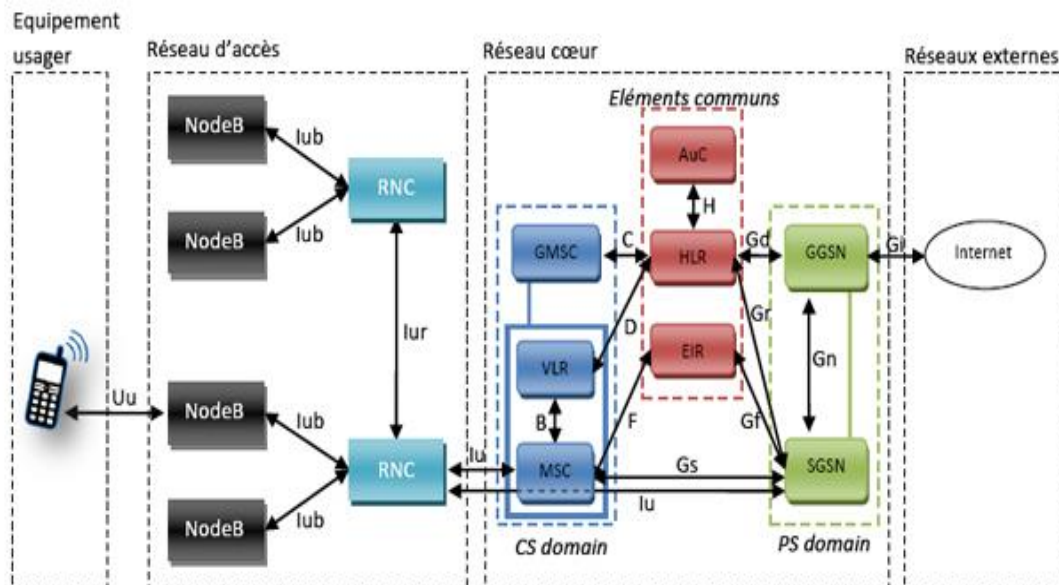


Figure 1. 8 : Architecture de du réseau UMTS.

La 4G est la quatrième génération de téléphonie mobile. Elle est marquée par l'arrivée de la nouvelle technologie LTE (Long Term Evolution), permettre le transfert des données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieure et une latence plus faible. Avec la 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations par IP. La raison fondamentale de la transition vers le tout-IP est d'avoir une plate-forme commune pour toutes les technologies qui ont été développées jusqu'à présent et de s'harmoniser avec les attentes des utilisateurs concernant les nombreux services à fournir. La différence fondamentale entre le GSM / 3G et All-IP est que la fonctionnalité du RNC et du BSC est maintenant distribuée au BTS et à un ensemble de serveurs et de passerelles. Cela signifie que ce réseau sera moins cher et le transfert de données sera beaucoup plus rapide.

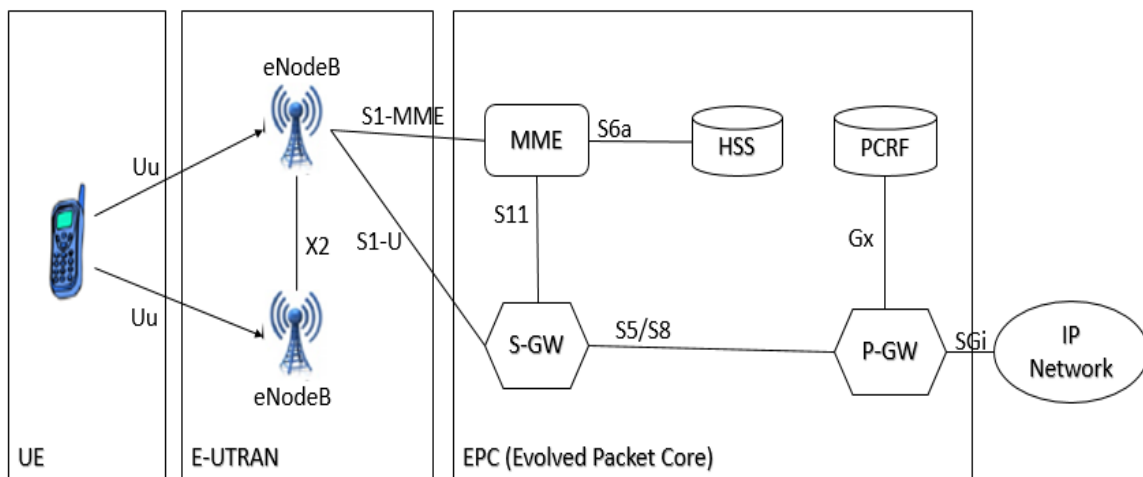


Figure 1. 9 : Architecture du réseau LTE.

L'architecture du réseau LTE est constituée en trois parties principales à savoir UE qui désigne la station mobile dans le réseau 4G, il peut s'agir d'un smartphone, d'une tablette tactile ou d'un ordinateur portable équipé d'une clé 3G ou 4G. De plus, une partie qui permet à l'utilisateur d'accéder et d'acheminer les informations vers le réseau cœur du réseau LTE. Cette partie est communément appelée E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). Elle est composée d'une station de base E-Node-b qui communique avec ses voisines via une interface protocolaire X2. Une partie appelée réseau cœur (Evolved Packet Core) dont le but est de contrôler et router les informations via un réseau IP.

1.7. Technique d'accès

Un accès multiple avec conflit (ou sans conflit) implique la division des ressources système (c'est-à-dire, le support d'accès) en canaux fixes, qui sont ensuite réservés par des paires d'émission / réception pour la communication. De cette façon, les utilisateurs sont garantis un canal pour la durée de leur communication. Ce type d'accès multiple est particulièrement intéressant pour les applications nécessitant un accès continu et régulier à un canal, comme la voix ou la vidéo. Cependant, pour les sources de données éclatées, un tel schéma est inefficace car le canal est très souvent inutilisé tant qu'il est réservé. La principale différence entre les types d'accès multiple sans contention réside dans la façon dont les canaux sont définis. Dans cette section nous expliquons la différence entre les techniques d'accès utilisées dans les réseaux cellulaires [10].

1.7.1. Accès multiple par répartition de temps (TDMA)

Les systèmes TDMA (Time Division Multiple Access) définissent les canaux en fonction du créneau temporel. En d'autres termes, le temps système est défini comme une série d'intervalles répétés à temps fixe (souvent appelés trames) qui sont divisés en un nombre fixe de périodes plus petites appelées intervalles. Lorsqu'une paire transmission / réception est autorisée à communiquer, un intervalle de temps spécifique lui est affecté. Chaque trame de temps, chaque paire d'émission / réception peut communiquer pendant son emplacement. Un exemple est donné à la figure 1.10 pour quatre intervalles de temps.

Généralement, tous les utilisateurs ont la possibilité de transmettre une fois pendant une trame. Ainsi, la trame totale est composée de K tranches d'utilisateurs et de K heures de garde où K est le nombre d'émetteurs accédant activement au support ou de manière équivalente le nombre de canaux. Les temps de garde sont insérés pour éviter les collisions dues à une synchronisation imparfaite. Le débit de l'utilisateur est une fonction du débit de transmission global du système et du nombre de créneaux temporels disponibles (c'est-à-dire la fraction de temps qu'ils sont autorisés à transmettre).

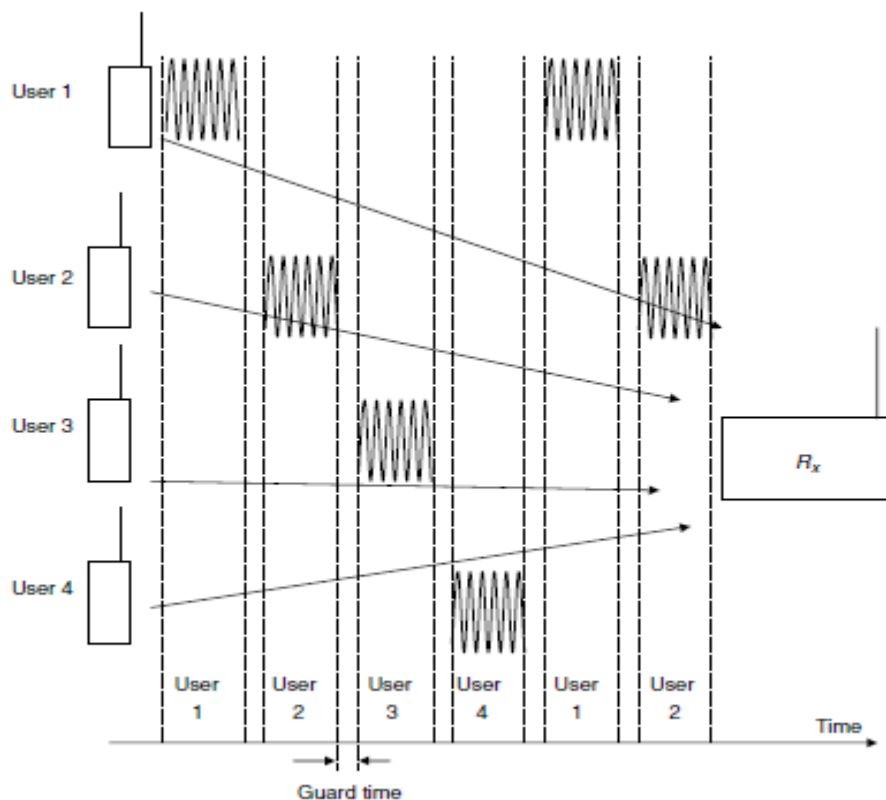


Figure 1. 10 : Exemple d'un système TDMA.

Dans un système pur TDMA, chaque émetteur occupe toute la bande passante lors de la transmission. Le débit binaire du système R_b^s est le débit auquel chaque utilisateur transmet lorsqu'il accède au canal. En comparant les temps de garde, le débit de données par utilisateur est $R_b = R_b^s/K$, où K est le nombre de tranches de temps par trame. Si les temps de garde sont inclus, la relation est un peu plus compliquée. Le temps alloué par canal est simplement égal à $\frac{T_f}{k} - T_g$ où T_f est la durée de la trame, K est le nombre de créneaux temporels (c'est-à-dire, les canaux), et T_g est le temps de garde. Le débit de données par canal est égal au nombre de bits transmis par utilisateur divisé par la durée de la trame [11]. Ainsi,

$$R_b = \frac{\left(\frac{T_f}{k} - T_g\right) R_b^s}{T_f} \quad (1.2)$$

1.7.2. Accès multiple par répartition en fréquence (FDMA)

Le deuxième type majeur d'accès multiple sans contention est le FDMA (Frequency Division Multipl Access) dans lequel les canaux sont définis en fonction de l'attribution de fréquences. Ainsi, tous les émetteurs sont actifs simultanément mais occupent différents segments du spectre RF en d'autres termes, son principe est de diviser le spectre fréquentiel en plusieurs sous-bandes est alloué à un utilisateur qui affecte un appel pendant la période où la communication a lieu comme illustré à la figure 1.11. [12] Dans un système FDMA, la bande passante par utilisateur est simplement liée au débit de données et au schéma de modulation utilisé. La bande passante totale du système est :

$$B_s = K \times B \quad (1.3)$$

Où K est le nombre de canaux et B est la bande passante par canal en ignorant les bandes de garde.

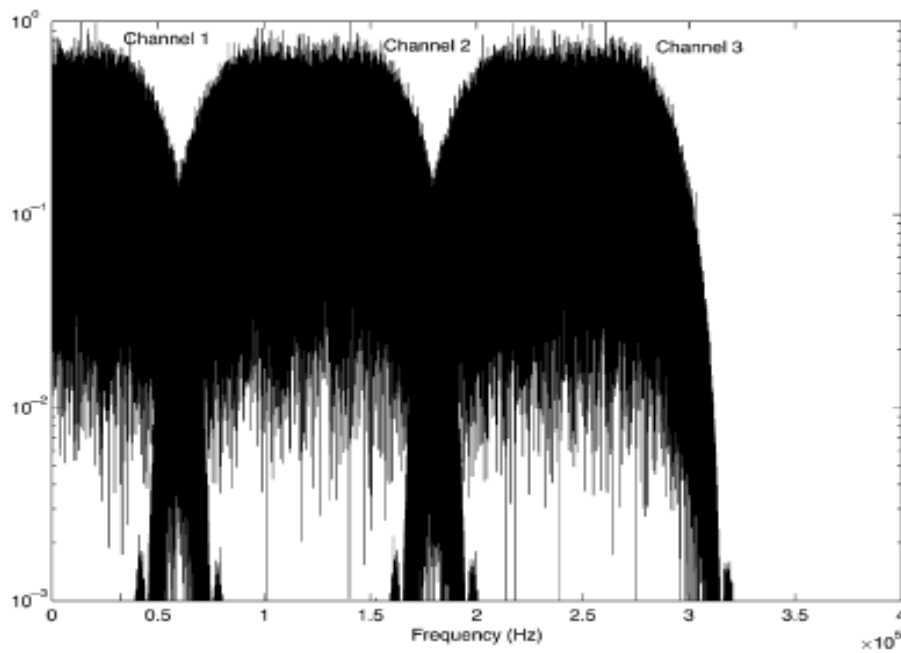


Figure 1. 11 : Exemple de trois canaux FDMA.

1.7.3. Accès multiple à répartition en code à large bande

La normalisation des systèmes de communication mobile de troisième génération progresse rapidement dans toutes les grandes régions du monde. Ces systèmes qui relèvent du nom ITU des IMT-2000 et de l'ETSI en tant que système universel de télécommunications mobiles (UMTS) étendront les services fournis par les systèmes actuels de deuxième génération (GSM, PDC, IS-136 et IS-95) à capacités de données à haut débit. L'application principale pour ces services de données à haut débit sera le transfert de paquets sans fil, par exemple, pour un accès sans fil à Internet. Cependant, l'UMTS prendra également en charge les services à commutation de circuits à haut débit tel que la vidéo.

L'accès multiple par répartition en code à large bande (WCDMA) a été choisi comme technologie d'accès radio de base pour l'UMTS / IMT-2000 en Europe et au Japon. Comparée à l'AMRC à bande étroite de deuxième génération, l'interface radio WCDMA offre des améliorations significatives, en plus de la prise en charge de services à plus haut débit. Le WCDMA est basé sur l'utilisation des codes tout comme le CDMA, ces codes sont appelés Streamings code. La figure 1.12, décrit les opérations de base d'étalement et de dés étalement pour un système WCDMA. Les données de l'utilisateur sont supposées ici être une séquence de bits modulées en BPSK du débit R , les bits de données de l'utilisateur prenant les valeurs de

± 1 . L'opération d'étalement, dans cet exemple, est la multiplication de chaque bit de données utilisateur avec une séquence de 8 bits de code, appelés Chips.

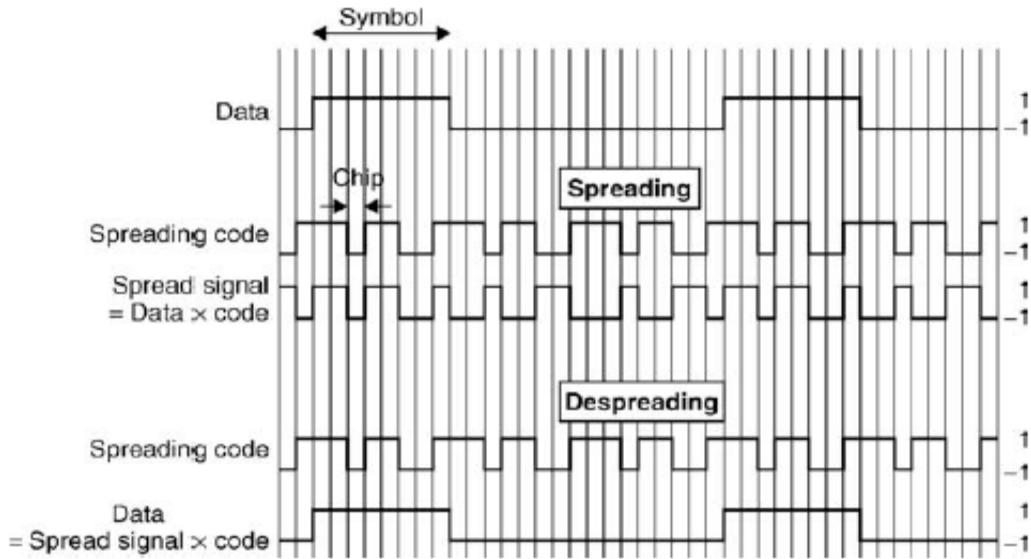


Figure 1. 12 : Etalement et désétalement.

1.7.4. Accès à répartition en fréquences orthogonales

La technique OFDM a la grande particularité de transformer un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajets très simples à égaliser. De plus, l'utilisation ingénieuse de redondance cyclique à l'émission permet de réduire la complexité des terminaux grâce à l'utilisation d'algorithmes à base de FFT rapides. C'est un préfixe cyclique qui est ajouté entre symboles OFDM afin d'assurer l'orthogonalité entre sous-porteuses dans le domaine fréquentiel et que le signal reçu sur une sous-porteuse contient une contribution du symbole émis sur cette même sous-porteuse sans contribution des symboles émis sur les sous-porteuses adjacentes.

Dans le domaine temporel, le CP (préfixe cyclique) sert à la récupération du signal utile porté par chaque trajet du canal dans la fenêtre de la FFT [13]. D'autre part, dans le domaine fréquentiel les symboles se chevauchent par contre dans le domaine temporel ils sont séparés par un intervalle de garde. Pour un intervalle de temps, $T_u < t < (m + 1)$, un signal OFDM $x(t)$ est exprimé par l'équation suivante :

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a^k e^{j2\pi\Delta f t} \quad (1.4)$$

Avec $x(t)$: k^{me} sous-porteuse modulé avec la fréquence $f_k = k \times \Delta f$. A_k représente les symboles de modulation, complexe en général, appliqué à la k^{me} sous-porteuse durant l'intervalle m du symbole OFDM. Δf est la différence entre les sous-porteuses tel que : $\Delta f = \frac{1}{T_s}$ pour que les sous-porteuses seront orthogonales. T_s est la durée d'un symbole OFDM [14] [15].

1.8. Duplexage

La voie de communication se divise en deux types suivant le sens de transmission entre l'UE et la station de base. Pour cela on distingue : La voie montante pour une transmission de l'UE vers la station de base, et la voie descendante si la transmission se fait de la station de base vers l'UE. Pour une séparation entre les deux voies, on utilise la technique de duplexage FDD et TDD.

1.8.1. FDD

Une méthode du type full-duplex pour un duplexage en fréquence. La transmission et la réception se font simultanément dans deux bandes de fréquences différentes indépendantes, et dans le but d'éviter l'interférence entre les deux voies, FDD requiert une bande de garde entre les deux bandes. En général et dans un réseau LTE, la trame est divisée en 10 sous-trames dont chacune est de 1 ms, chaque UE est allouée d'un intervalle de temps de transmission élémentaire (TTI) qui est constitué d'une sous-trame. Dans le mode FDD, la trame est constituée de 20 slots puisque chaque sous-bande est subdivisée elle-même en deux slots de 0.5 ms pour chacune.

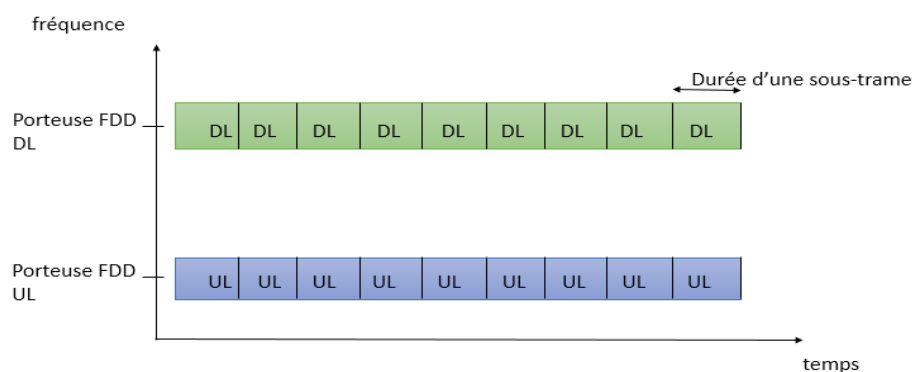


Figure 1. 13 : Technique de Duplexage FDD.

1.8.2. TDD

Cette méthode n'est pas full-duplex aux sens stricts de terme, car dans cette technique les deux communications (transmission et réception) opèrent sur les mêmes fréquences mais à des

instants différents. Tel que la technique FDD, la TDD aussi requiert une période de garde pour minimiser l'interférence entre les deux voies (la transmission et la réception).

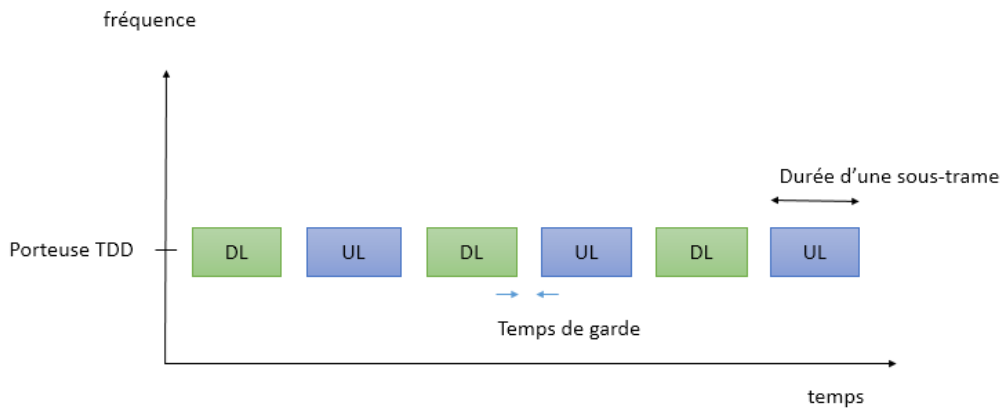


Figure 1. 14: Technique de Duplexage TDD.

1.9. Conclusion

Ce chapitre donne un aperçu global sur les réseaux cellulaires. Nous avons commencé par définir les éléments de conception du système cellulaire. Ensuite, nous avons introduit les aspects et les phénomènes de propagations qui peuvent être enregistrés. L'évolution chronologique des réseaux cellulaires est présentée en comparant entre les générations. Enfin, les techniques d'accès ainsi que les techniques de duplexage sont introduit pour voir leur intérêt. Dans le chapitre suivant, nous traitons la question de planification des réseaux cellulaires, qui est une tâche importante pour le bon déploiement et fonctionnement du réseau en termes de qualité de service.

CHAPITRE 2

La planification des réseaux cellulaires

2.1. Introduction

La communication dans les réseaux cellulaires doit être assurée à tout moment et dans tous les endroits géographiques avec une bonne qualité de service en considérant les mouvements de mobilité de l'utilisateur. Pour cela on s'intéresse à étudier dans ce chapitre les phénomènes de Handover et d'interférences du type intracellulaire et intercellulaire.

Le déploiement des stations de base (SB) a pour but d'assurer l'interface entre les stations mobiles (SM) et les interférences du réseau de communication, et le nombre de SB radio à déployer est choisi selon le type de la géographie du terrain.

Afin de mieux comprendre les procédures de planification, notre étude s'intéresse ainsi sur les types de la planification :

- La planification de couverture.
- La planification de capacité.

La planification d'un réseau correspond à l'élaboration des données obtenues dans la phase de dimensionnement (rayon de la cellule, modèle de propagation).

2.2. Mobilité dans un réseau cellulaire (Handover)

La structure cellulaire, si elle offre le principal avantage de pouvoir desservir des densités d'abonnés importantes, a pour principal inconvénient de devoir assurer les transferts des communications entre cellules.

Le mécanisme qui assure cette fonction est appelé « le Handover » est l'ensemble des fonctions et des opérations mises en œuvre entre une ou plusieurs stations de base et une station mobile, pour permettre à cette dernière de changer de canal ou de cellule.

Le déplacement de mobile est la principale cause de déclenchement du ce mécanisme se produit lorsque le raccordement n'est plus satisfaisant entre le mobile et la station de base, qui est due généralement au manque de qualité du signal ou du niveau du trafic pour une station de base.

Le Handover est la procédure la plus critique exécutée au cours de communication puisqu'elle doit assurer la continuité de l'appel, soit à l'intérieur d'une même cellule (Handover intracellulaire) ou bien entre deux cellules (Handover intercellulaire) [16].

2.2.1. Handover intracellulaire

Sur le point de vue du réseau, c'est le type le plus simple de Handover car il se produit lorsque le mobile reste connecté à la même station de base tout en changeant le canal radio ou lorsque l'utilisateur se déplace d'un secteur à un autre dans la même cellule (cas des cellules sectorisées).

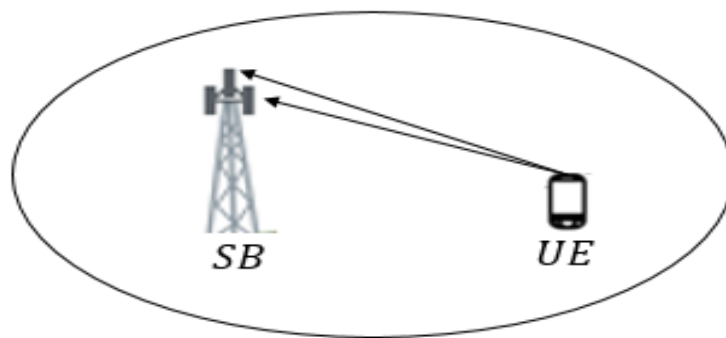


Figure 2. 1 : Handover intracellulaire.

2.2.2. Handover intercellulaire

C'est le deuxième type de Handover, il se crée lorsque le mobile se change d'une cellule à une autre qui bénéficie des services d'une autre cellule au lieu de l'ancienne (le changement d'une station de base à une autre).

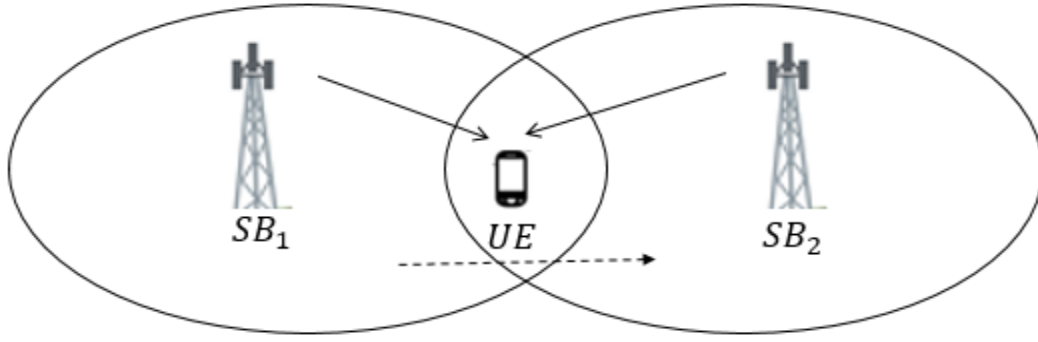


Figure 2. 2 : Handover intercellulaire.

2.3. Interférence

En plus des dégradations résultantes des phénomènes de trajets multiples, on note les détériorations dues aux signaux parasites qui sont émis avec la même fréquence d'un signal utile, cela provoque le phénomène d'interférences où le signal utile va être superposé par ce signal parasite ce qui nous donne un signal dégradé. Ce phénomène peut venir d'une source externe ou interne par rapport au réseau.

L'interférence due à la réutilisation de fréquence se divise par deux types : l'interférence co-canal et l'interférence dues au canal adjacent.

2.3.1. L'interférence intercellulaire

Aussi appelé l'interférence co-canal, elle est due à l'utilisation des mêmes ressources temps-fréquence entre deux cellules adjacentes par différents équipements (UE) dans un système cellulaire utilisant TDMA ce qui crée un brouillage des différents signaux émis ou bien reçu.

Notant que le mobile m_i est attaché à une station de base d'indice B, ce phénomène se crée lors de l'interférence du signal reçu par le mobile m_i (sens descendant) avec les signaux provenant des autres stations de base du réseau [17]. Dans ce cas, l'interférence est donnée par l'équation suivante :

$$I_{inter}^{DL} = \sum_{b \neq B} \frac{p_b^{tot}}{Aff(b, m_i)} \quad (2.1)$$

Tel que :

p_b^{tot} : Est la puissance d'émission totale de la station de base d'indice b.

$Aff(b, m_i)$: Affaiblissement du signal entre la station de base d'indice b et le mobile m_i .

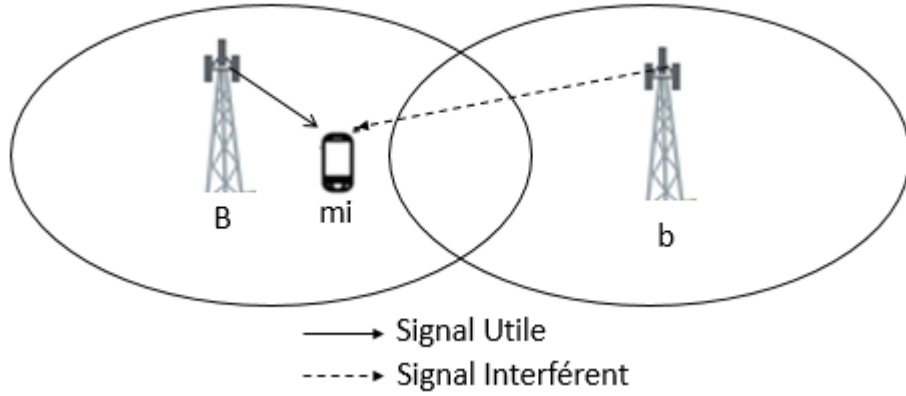


Figure 2. 3 : Interférence intercellulaire descendante.

L'interférence se crée aussi dans le sens montant par l'émission des mobiles des stations de base d'indice b et le signal perturbant le mobile m_i est donné comme suit :

$$I_{inter}^{UL} = \sum_{j \neq B} \frac{p_j}{A_{ff}(B, m_j)} \quad (2.2)$$

Tel que :

p_j : La puissance d'émission d'un mobile d'indice j, attaché à une station de base autre que B.

$A_{ff}(b, m_j)$: Affaiblissement du signal entre la station de base d'indice b et le mobile m_j .

Dans le réseau cellulaire, la qualité du signal reçue (qualité du canal) dépend du rapport signal sur interférence et bruit (Signal to Interference and Noise), qui est défini comme suit :

$$SINR = \frac{C}{I+N} \quad (2.3)$$

Tel que :

C : est la puissance du signal utile.

I : est l'ensemble des interférences, on peut considérer que $I \gg N$ surtout dans les systèmes urbains [17] ce qui nous donne :

$$SINR = \frac{C}{I} \quad (2.4)$$

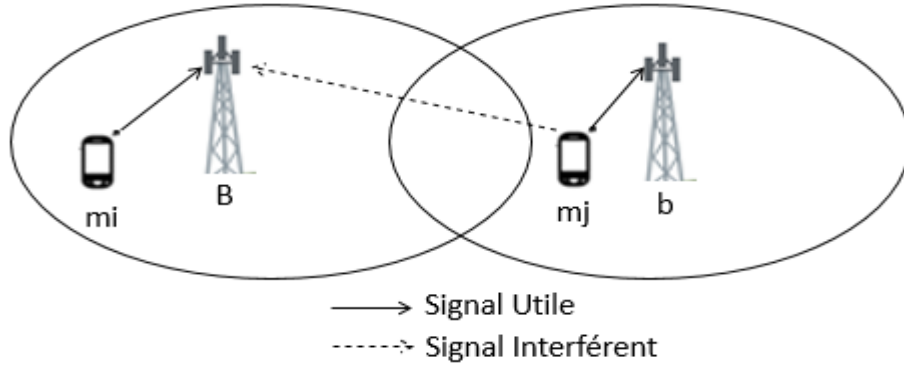


Figure 2. 4 : Interférence intercellulaire montante.

2.3.2. L'interférence intracellulaire

La communication d'un mobile peut subir des interférences intracellulaires. Dans la ligne descendante le mobile peut recevoir la somme des signaux orthogonaux destinés aux autres mobiles dans la même cellule.

On définit un facteur d'orthogonalité qui mesure le niveau d'orthogonalité, car ce dernier se diminuera à la réception. Soit un mobile m_i qui reçoit le signal d'interférence [17], l'expression de ce signal est donné comme suit :

$$I_{intra}^{DL} = \frac{\alpha_{orth}(\sum_{j \neq i} P_j^{TCh} + P_{CCh} - P_{Sch}) + P_{Sch}}{Aff(b, m_i)} \quad (2.5)$$

D'où :

$\alpha_{orth} \in [0 \ 1]$: Facteur d'orthogonalité.

Si $\alpha_{orth} \rightarrow 0$, l'orthogonalité est parfaite, et Si $\alpha_{orth} \rightarrow 1$, l'orthogonalité est nulle.

P_j^{TCh} : La puissance d'émission de la SB vers m_j avec $j \neq 1$.

P_{CCh} : La puissance d'émission des canaux communs (constante) ou les balises qui servent à diffuser la signalisation dans la cellule.

P_{Sch} : La puissance de canal de synchronisation (un canal commun particulier non orthogonal avec les autres canaux).

$Aff(b, m_j)$: Affaiblissement du signal entre la station de base d'indice b et le mobile m_j .

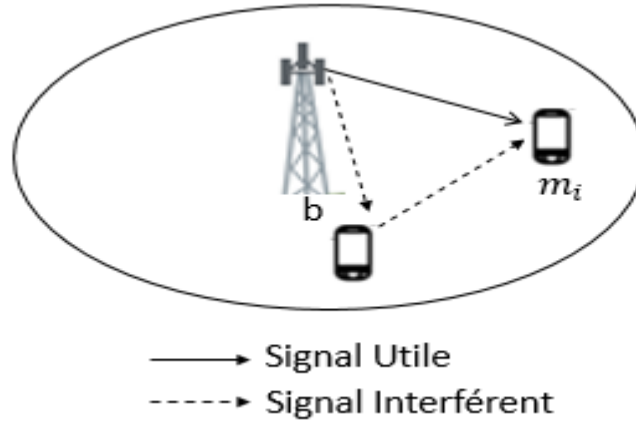


Figure 2. 5 : Intracellulaire descendant.

Pour la ligne montante le mobile émet un signal qui sera interféré par les signaux provenant d'autres mobiles qui sont considérés comme du bruit blanc de la cellule qui ne sont pas synchronisés [17]. Dans ce cas l'expression de l'interférence est donnée par l'expression suivante :

$$I_{intra}^{UL} = \sum_{j \neq i} \frac{P_j}{Aff(b, m_j)} \quad (2.6)$$

Tel que :

P_j : La puissance d'émission du mobile m_j avec $j \neq i$.

$Aff(b, m_j)$: L'affaiblissement du signal entre la station de base d'indice b et le mobile m_j .

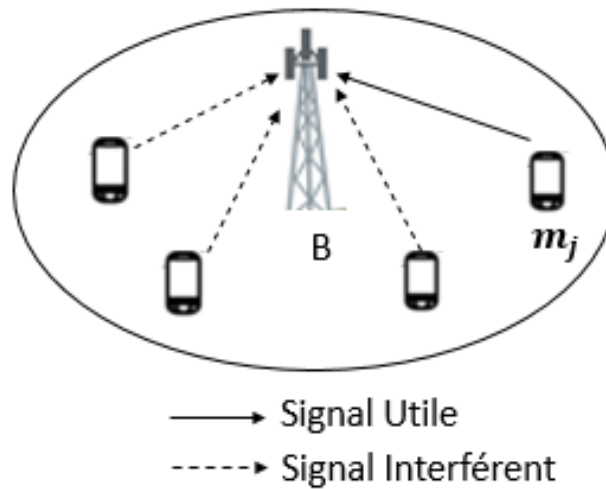


Figure 2. 6: Intracellulaire montant.

2.4. Les modèles de propagation

Les modèles de la propagation ont été développés afin d'estimer la propagation des ondes radio, qui sont réalisées pour différents environnements de propagation à savoir suburbaine, urbaine, rurale dans le but de déterminer la partie de chemin entre la station de base et le mobile [10].

2.4.1. Le modèle d'Okumura Hata

C'est le modèle le plus utilisé, il est basé sur des mesures réalisées par Okumura qui sont effectuées sur des grands cellules de rayon $R > 1$ Km, La formule empirique de ce modèle était définie par Hata dans les régions de Tokyo en fonction de ces mesures qui est utilisée pour une prédiction de propagation au niveau des outils de planification cellulaire.

Le modèle Okumura-Hata peut être appliqué pour tous les types de terrain, ce qui signifie les différentes zones morphologiques [10]. La formule du modèle Okumura-Hata prend en compte les paramètres suivants :

- f : fréquence comprise entre 150 MHz et 1500 MHz.
- h_b : hauteur de la station de base, comprise entre 30m et 200m.
- h_m : hauteur de la station de mobile, comprise entre 1m et 10m.
- d : distance station de base-mobile, entre 1 km et 20 km.

Le principe de base de la méthode d'Okumura-Hata consiste à calculer l'affaiblissement de propagation en espace libre et à y ajouter un facteur d'atténuation. Cet affaiblissement est précisé dans en tenant compte des degrés d'urbanisation.

• Une zone urbaine

L'affaiblissement l_u qui est défini comme le rapport entre la puissance émise et la puissance reçue est donnée par la formule suivante :

$$l_u[dB] = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82B \log_{10}(h_b) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) - a(h_m) \quad (2.7)$$

Le facteur de correction pour la hauteur de l'antenne du mobile $a(h_m)$ est calculé comme suit :

- Pour une petite ou moyenne ville :

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8) \quad (2.8)$$

- Pour une ville de grande taille :

$$a(h_m) = 8.29[\log_{10}(1.54 \times h_m)]^2 - 1.1 \quad f \leq 200\text{Mhz} \quad (2.9)$$

$$a(h_m) = 3.2[\log_{10}(11.75 \times h_m)]^2 - 4.97 \quad f \geq 400\text{Mhz} \quad (2.10)$$

- **Une zone suburbaine**

La formule d'affaiblissement de propagation l_{su} est donnée par :

$$L_{su}[dB] = L_u - 2 \left[\log_{10} \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 \quad (2.11)$$

- **Une zone rurale** (espace quasi ouvert)

L'affaiblissement de propagation L_{rqo} est donné comme suit :

$$L_{rqo}[dB] = L_u - 4.78 [\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 35.94 \quad (2.12)$$

- **Une zone rurale** (espace ouvert avec peu de masque)

L'affaiblissement de propagation L_{ro} est donnée par :

$$L_{ro}[dB] = L_u - 4.78 [\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 40.94 \quad (2.13)$$

2.4.2. Le modèle COST 231 Hata

Appelé aussi « Hata Model PCS Extension », est l'un des modèles de propagation radio largement utilisé, il a été conçu en Europe. Cependant, ce modèle couvre un plus large éventail de fréquences. De plus, sa simplicité et sa disponibilité le rendent applicable aux zones urbaines, suburbaines et les zones rurales [18].

L'équation d'affaiblissement pour ce modèle est formulée comme suit :

$$l[dB] = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + c \quad (2.14)$$

- $c = 0dB$, pour les zones urbaines et suburbaines de taille moyenne.
- $c = 3dB$, pour les zones métropolitaines.
- f : Fréquence de transmission, tel que $1500\text{MHz} < f < 2000\text{MHz}$.
- h_b : hauteur effective de l'antenne de la station de base, tel que $30\text{m} < h_b < 200\text{m}$.

- d : distance de liaison, tel que $1Km < d < 20Km$.
- h_m : Hauteur effective de l'antenne de la station mobile, tel que $1m < h_m < 10m$.
- $a(h_m)$: Facteur de correction de la hauteur de l'antenne de la station mobile.

- Pour les zones suburbaines et rurales :

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)h_m - 1.56 \log_{10}(f) - 0.8 \quad (2.15)$$

- Pour les zones urbaines :

$$a(h_m) = 3.2(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 \quad (2.16)$$

2.4.3. Le modèle COST 231 walfish ikegami

Ce modèle est plus complexe que le modèle Okumura-Hata, il est proposé par le groupe COST 231 combinés avec le modèle walfish et ikegami et il est plus adapté aux petites macros cellules dans les zones urbaines ou bien des micros cellules où l'antenne est placée au niveau des toits.

C'est un modèle empirique qui prend en compte la perte de propagation en espace libre, la perte par diffraction et la perte par réfraction entre les toits des bâtiments voisins ce qui lui permet d'offrir une bonne précision. La figure 2.7 illustre les paramètres liés au modèle, On notera que b est la valeur moyenne pour la séparation des bâtiments, elle est calculée à partir deux centre d'un bâtiment au centre d'un autre bâtiment et est également donné en mètres. La hauteur moyenne des bâtiments qui est notée par h_{toit} et la valeur moyenne de l'espacement qui est notée par w nécessite que le terrain convient mieux à la zone suburbaine [19].

Ce modèle fait la distinction entre les cas de visibilité directe (LOS) et de non-visibilité directe (NLOS).

- Pour le LOS : l'affaiblissement est donné par l'équation :

$$l(dB) = 42.6 + 26 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (2.17)$$

- Et pour NLOS :

$$l(dB) = 32.4 + 26 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + l_{rst} + l_{msd} \quad (2.18)$$

Avec L_{rst} est l'effet de diffraction et de perte de dispersion du toit à la rue, donné par :

$$l_{rst} = -16.9 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(\Delta h_m) + l_{cri} \quad (2.19)$$

$$l_{cri} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \text{pour } 0 \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) & \text{pour } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55^\circ) & \text{pour } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (2.20)$$

l_{msd} Est la perte de diffraction à plusieurs niveaux donnés par :

$$l_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \log_{10}(d) + k_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(d) \quad (2.21)$$

Avec :

$$l_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 + h_b - h_{toit}) & \text{pour } h_b > h_{toit} \\ 0 & \text{pour } h_b \ll h_{toit} \end{cases} \quad (2.22)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{pour } h_b > h_{toit} \\ 54 - 0.8 \times (h_b - h_{toit}) & h_b < h_{toit} \text{ et } d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8 \times (h_b - h_{toit}) \times \left(\frac{d}{0.5}\right) & h_b \leq h_{toit} \text{ et } d < 0.5 \end{cases} \quad (2.23)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{pour } h_b > h_{toit} \\ 18 - 15 \times \left(\frac{h_b - h_{toit}}{h_{toit}}\right) & \text{pour } h_b \leq h_{toit} \end{cases} \quad (2.24)$$

- Pour les villes de taille moyenne et les centres de banlieue avec une densité d'arbre modérée :

$$k_f = -4 + 0.7 \times \left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (2.25)$$

- Pour les centres métropolitains : $k_f = -4 + 1.5 \times \left(\frac{f}{925} - 1\right)$ (2.26)

Avec :

Fréquence de porteuse (f_c) = 800 – 2000Mhz

Hauteur de l'antenne $BS(h_b) = 4 - 50m$

Hauteur du mobile $MS(h_m) = 1 - 3m$

Distance $d = 0.02 \text{ km}$

Le schéma de ce modèle est représenté comme suit :

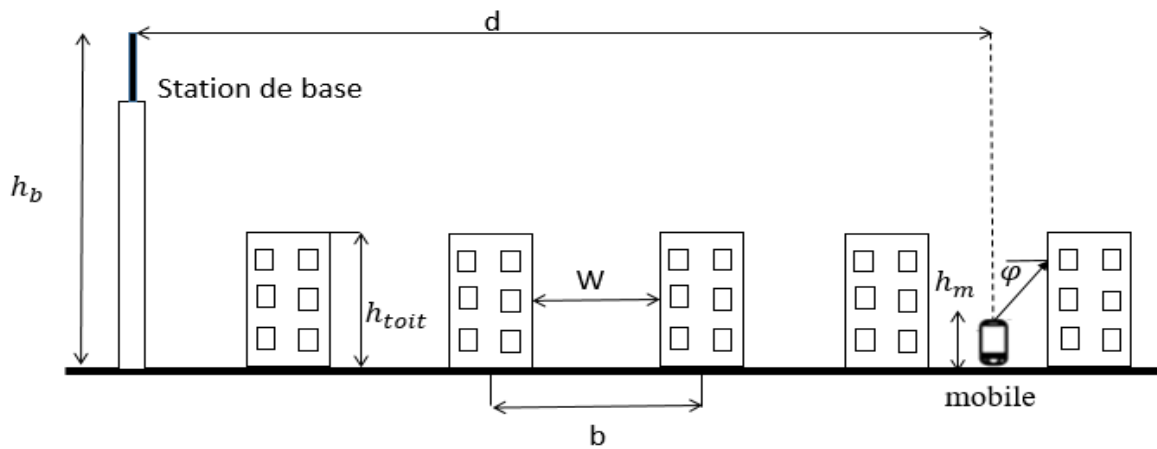


Figure 2. 7 : Paramètres du modèle Cost 231 Walfish-Ikegami.

2.5. La planification de réseau cellulaire

En général, la zone de couverture est divisée en des petites régions. Dans ces centres, se trouvent les points de tests pour une simulation de trafic et une détermination des performances du réseau.

Après avoir choisi les paramètres de déploiement du réseau, la planification du réseau a pour objectif de trouver les meilleurs emplacements pour eNodeB pour construire une couverture continue selon les exigences.

Elle a deux phases indépendantes qui sont la planification de capacité et la planification de couverture. Ce processus consiste à déterminer, positionner et interconnecter l'ensemble des composants matérielles et logicielles de ce système et de les utiliser d'une façon optimale. Sa phase finale a pour but de définir la conception du réseau.

La planification est affectée grandement par les facteurs environnementaux, les objectifs de la planification et le critère de modulation varient en fonction de la zone à planifier.

Par conséquent, la planification du réseau suivra des objectifs différents en fonction de la zone à planifier, c'est-à-dire que l'objectif en zone urbaine ou suburbaine est d'assurer une capacité en trafic suffisante, alors que l'objectif en zone rurale ou dans les zones à faible densité d'abonnés est d'assurer la couverture la plus complète possible sans nécessité de capacité élevée.

2.5.1. La planification de couverture

La planification de la couverture définit la configuration du réseau. Son objectif est d'exploiter les résultats obtenus dans le processus de dimensionnement qui prend compte de la hauteur moyenne de l'antenne de la station de base et des configurations basées sur le bilan de liaison (les calculs du budget de puissance), pour minimiser le nombre des sites de SB.

Ce bilan RLB (Radio Link Budget) permet de déterminer l'affaiblissement maximal admissible MAPL (Maximum Allowable Path Loss), pris comme entré pour les modèles de propagation qui aboutit à la détermination du rayon maximal de la cellule et par suite le nombre de sites requis.

La liaison sur l'interface radio est bidirectionnelle, d'où il est nécessaire d'établir un bilan pour la liaison montante (Uplink) et pour la liaison descendante (Downlink) comme suit :

Uplink:

$$MAPL[dB] = EIRP_{UL} - S_{eNB} - LNF - IM_{UL} - L_{pen} - L_{body} + G_{eNB \text{ antenne}} + G_{eNB} \quad (2.27)$$

Downlink:

$$MAPL[dB] = EIRP_{DL} - S_{UE} - LNF - IM_{DL} - L_{pen} - L_{body} + G_{UE \text{ antenne}} \quad (2.28)$$

- EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) : est appelée aussi (PIRE) Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente, elle correspond à la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour obtenir le même champ à la même distance, elle a l'expression suivante :

$$EIRP_{UL}[dB] = P_{UE} + G_{UE} - L_{body} - LF_{MS} \quad (2.29)$$

$$EIRP_{DL}[dB] = P_{eNB} + G_{eNB} - LF_{eNB} \quad (2.30)$$

- P_{UE}, G_{UE} : la puissance et le gain de mobile.
- P_{eNB}, G_{eNB} : la puissance et le gain de l'eNodeB.
- L_{body} : Perte due au corps de l'utilisateur.
- LF_{MS} : Pertes dans les câbles d'alimentation de l'antenne du mobile.
- LF_{eNB} : Pertes dans les connecteurs et les feeders.
- Srx : La sensibilité « S » est le niveau de puissance minimal de la réception pour éviter la coupure du lien radio.
- LNF : Log Normal Fading margin.
- IM : Marge d'interférence.

- L_{pen} : perte de Pénétration dans un milieu

❖ La définition des sites de station de base

L'optimisation des sites de BS s'applique sur une zone spécifique et l'utilisation de ces configurations se fait en tenant compte des restrictions environnementales (hauteur des bâtiments, collines...). Ainsi, il est nécessaire d'ajuster le modèle de prédiction et la propagation radioélectrique afin de définir les sites de BS hypothétiques.

Les paramètres de l'affaiblissement de propagation sont calculés dans le bilan de la liaison de la zone de couverture qui est pris comme entrée pour la détermination du modèle de propagation,

En se basant sur les paramètres d'affaiblissement avec les caractéristiques de ce modèle, on peut déterminer la valeur du rayon maximale de la cellule lors de dimensionnement, et par suite le nombre des sites requis.

❖ Choix de la distance intersites

La distance intersites est déterminée selon une transaction entre la probabilité de couverture, et le large recouvrement pour le Handover intracellulaire d'une part, et la minimisation des interférences entre les cellules d'autre part.

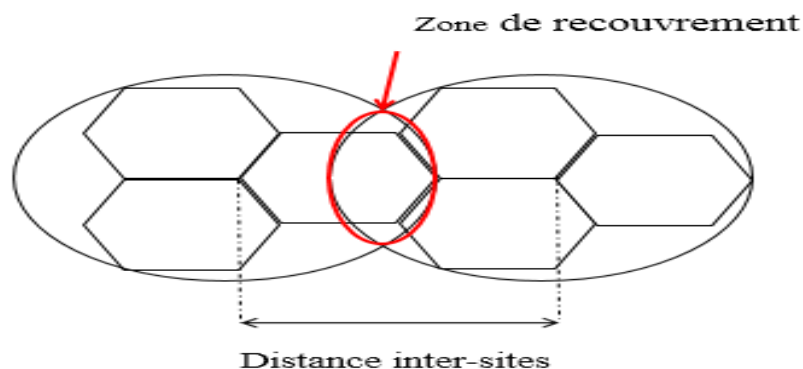


Figure 2. 8 : Chevauchement entre sites.

❖ Estimation du rayon de la cellule

La taille d'un site dépend de sa configuration et des tailles des cellules, et pour simplifier la représentation et la planification du réseau cellulaire, la forme de la cellule doit être faite en hexagonale, ce qui permet la juxtaposition des cellules [20].

Le rayon de la cellule soit calculé en utilisant les paramètres d'affaiblissement de propagation calculé dans le bilan de liaison de la zone de couverture dans le but de définir le modèle de propagation à utiliser afin d'aboutir à la détermination du rayon maximal de la cellule lors de dimensionnement et par suite le nombre des sites requis.

❖ La couverture d'un mobile

Le mobile soit couvert par le réseau de couverture si les conditions suivantes sont vérifiées :

- ✓ Le décodage des informations sur le réseau par le mobile est réalisé.
- ✓ La puissance de DL (ligne descendante) et UL (ligne montante) doivent être inférieure à la puissance maximale, autrement dit que le mobile soit couvert dans le sens montant et descendant.

❖ La respiration de la cellule

La couverture du mobile dépend de la distribution du trafic dans le réseau qui est calculé dans le phénomène d'interférence. Ainsi dans le cas où la cellule est beaucoup plus chargée, des mobiles ne seront pas couverts par la SB de cette cellule,

La station SB sert à réduire sa zone de couverture d'un côté et d'augmenter la zone de couverture de la cellule voisine pour que cette dernière puisse couvrir ces mobiles non couverts. Ce phénomène s'appelle la respiration des cellules.

Dans le cas où le trafic augmente encore, le recouvrement des cellules voisines deviendra insuffisant ce qui provoquera le rejet des appels à cause de l'apparition des trous de couverture, pour cela et afin d'éviter ces trous, des algorithmes de contrôle d'admission sont mis en œuvre.

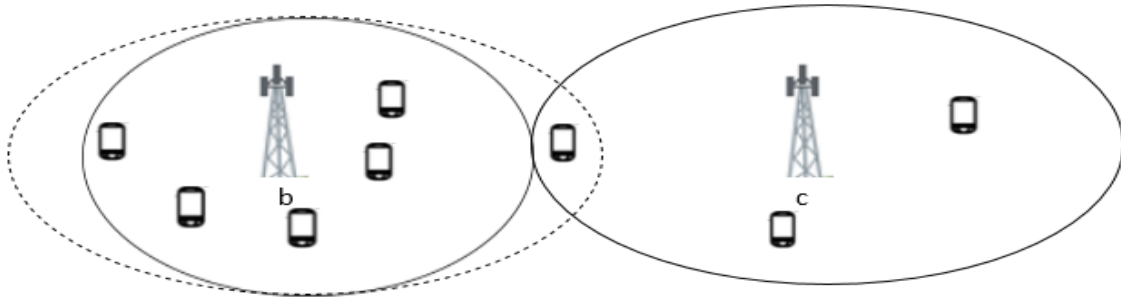


Figure 2. 9 : La respiration de la cellule. La situation dans laquelle la station b est plus chargé que la station c.

❖ La zone de couverture

Les paramètres requis permettent de définir :

- La puissance de transmission,
- La planification de couverture radio est calculée pour la direction descendante (de la BS à MS) après la définition de la puissance d'émission de BS,
- La hauteur, la direction, le gain et l'inclinaison d'antenne ainsi que les pertes de la ligne d'antenne. Ensuite et après la vérification et le réglage du modèle de prédiction de propagation radio, la zone de couverture de la BS doit être calculée à l'aide des paramètres d'entrée, modèle de prédiction et carte numérique.

La dernière étape de la planification consiste à définir la couverture finale, les zones de couverture ainsi que les seuils qui peuvent être définis en fonction du budget de puissance et les marges de cette planification.

2.5.2. La planification de la capacité

La capacité est le trafic maximum que peut écouler une cellule, elle est spécifiée comme le débit écoulé dans le réseau. Le trafic étant fonction du nombre moyen de personnes qui communiquent et de la durée moyenne d'une communication.

Le but de la planification de la capacité est de fournir le meilleur résultat possible en utilisant la configuration du réseau radio requis dans la phase de dimensionnement.

Les étapes de cette planification sont :

- La sélection des sites de SB doit être prise en compte ou bien peut être suivi directement par la planification, elle se fait par l'atteinte des zones de couverture de BS (chevauchement), ce qui permet de minimiser les interférences dans le réseau radio.
- La définition des seuils qui est définie par la distance moyenne maximale entre deux sites de BS ou par l'intensité du champ qu'un mobile peut recevoir de la station de base. Elle dépend de l'environnement de la planification et de la hauteur de la station de base.
- Faire une extension d'un réseau, une analyse plus détaillée est nécessaire pour comprendre les besoins réels en capacité dans le réseau radio. Cette analyse doit être faite sur une zone et en fonction des mesures de la circulation du réseau radio.
- Dans le cas où le système cellulaire offre plusieurs services, la capacité est exprimée par le débit écoulé dans le réseau.
- La collection du trafic totale à partir de la zone spécifique.
- L'introduction de la hauteur moyenne de l'antenne qui est inversement proportionnelle avec la valeur de la capacité du réseau, tel que si cette hauteur est élevée, la distance de parcours du signal de transmission augmente, dans ce cas l'interférence s'augmente, et puis la capacité du réseau se diminue.

2.5.3. La planification de point de vue économique

L'augmentation de nombre des stations de base sert à l'amélioration du réseau cellulaire en termes de couverture, mais présente un problème financier à cause du coût élevé dans le déploiement des stations de base. D'autre part le coût financier du réseau est liée au type d'antenne utilisé ainsi que les puissances d'émission de chacune, en effet plus la puissance de transmission est élevée plus la valeur économique du réseau s'augmente.

Dans la planification, le vrai but visé par les opérateurs du réseau mobile est d'une part de maximiser la couverture radio mais en parallèle de minimiser le coût financier du réseau, et d'autre part de lui associer du critère de qualité de service.

2.6. Conclusion

Un réseau radio mobile a pour but de permettre un grand nombre d'utilisateurs d'accéder à ce réseau. En effet, dans ce chapitre nous avons défini le principe de la planification radio en se basant sur les différents modèles de propagation ce que nous permet d'avoir une meilleure optimisation du réseau cellulaire et de couvrir ensuite le maximum possible d'utilisateurs.

Ces modèles calculent la puissance des signaux reçus en tout point de l'espace, et aux contraintes de protections contre les phénomènes d'interférences et de Handover, où nous avons parlé sur les différentes étapes de planification (planification de couverture, planification de capacité, planification de point de vue économique) qui représentent la démarche procédée durant la réalisation de ce projet.

Dans le chapitre suivant, on va s'intéresser à la maximisation de la couverture radio LTE en utilisant un algorithme génétique.

CHAPITRE 3

Modélisation mathématique et algorithme génétique

3.1. Introduction

L'une des phases les plus importantes de la planification stratégique d'un réseau cellulaire est le processus de choix des paramètres antennaires. Dans cette phase, des études sur la capacité et la couverture pour déterminer la portée maximale des cellules. La complexité du processus dépend principalement du type de technologie à déployer qui détermine les interrelations possibles entre couverture d'autres paramètres à optimiser. L'analyse de couverture dans le processus de planification des cellules nécessite un choix judicieux des paramètres antennaires.

Dans ce chapitre, nous présentons un modèle mathématique d'optimisation de la couverture avec la contrainte du Handover et de capacité, ce modèle consiste dans notre cas à un algorithme génétique simple. Tout d'abord nous donnons la représentation du trafic dans le réseau. Ensuite, nous expliquons les modèles des objectifs et contraintes. En fin, nous donnons l'algorithme génétique étudié pour une résolution de notre problème quasi optimale.

3.2. Problématique de planification

Le réseau radiocommunication connaît une augmentation vertigineuse de la demande en trafic. Dans le but de répondre aux besoins des utilisateurs dans le réseau LTE et d'augmenter les performances du système en proposant une méthodologie pour régler certains paramètres antennaires (tilt, azimut, puissance de transmission, hauteur d'antenne) jusqu'à ce qu'on aura un réglage d'ajustement de ces paramètres afin d'assurer une meilleure couverture de la zone à couvrir.

3.3. Les paramètres antennaires

3.3.1. Type d'antennes

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner et de capter des ondes électromagnétiques, se caractérise par son gain et son diagramme de rayonnement qui définit la façon dont l'antenne rayonne dans les différentes directions. On site :

- Les antennes omnidirectionnelles :

Les antennes omnidirectionnelles reçoivent et transmettent des signaux dans toutes les directions, ils sont faciles à installer et leur rayonnement s'effectue sur 360 degrés comme illustre à la figure 3.1 [21] avec un gain qui varient jusqu'à 15 dB. On a utilisé ce type d'antennes pendant le processus de notre étude car c'est le choix de la plupart des opérateurs lorsque la zone couverte est une zone urbaine.



Figure 3. 1 : Antenne omnidirectionnelle.

- Les antennes directionnelles :

Sont des antennes dont leur rayonnement est directif tel qu'elle est montrée sur la figure 3.2 [21], pour couvrir des zones de grande distance, ils sont mieux adaptés pour des zones rurales car ils sont plus puissants par rapport à des antennes omnidirectionnelles. On site deux types d'antennes :

- ✓ L'antenne high gain : qui rayonne avec un petit angle d'ouverture $\alpha \leq 45^\circ$ et qui est caractérisée par un grand Gain ($30^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$ et G est environ de 24 dB pour l'antenne utilisé à Djedzy).
- ✓ L'antenne directive standard : qui rayonne avec un grand angle d'ouverture $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ et qui est caractérisé par un petit gain par rapport à la première ($\alpha \leq 45^\circ$ et le gain G est environ de 17 à 18 dB à Djedzy).



Figure 3. 2 : Antenne directionnelle.

3.3.2. Puissances de transmission

Représente la puissance rayonnée converti à partir d'une puissance électrique par une antenne, elle est transportée par une onde électromagnétique qui se propage dans différentes directions de l'espace et qui assure la transmission d'énergie de l'onde électromagnétique vers le récepteur.

La puissance est centrée dans un ou plusieurs « lobes », un lobe principal qui correspond à la direction privilégiée de rayonnement et les lobes secondaires dits ainsi parasite et qu'on cherche à les atténuer.

Plus la puissance de transmission est élevée plus le nombre d'utilisateurs qui capte le signal est plus grande en prend en considération le type d'antenne utilisé qui influe lui-même sur cette puissance, et puis la dimension du territoire couvert par cette antenne augmente plus et inversement.

On notera P_t la puissance d'émission, elle est exprimée souvent en dBm (décibel par milliwatt) et elle doit être étudiée de sorte qu'elle ne dépasse pas une certaine limite afin d'éviter l'effet d'overshooting entre les SBs et les problèmes environnementaux en variant la puissance de transmission P_t . On notera que P_t est la puissance d'émission et que :

$$P_t[dBm] = 10 \log_{10}(P_t[mw]) \quad (3.1)$$

Cette puissance est contrôlée par la station de base dans la voie descendante, elle est subite d'atténuations dues aux effets de masques (shadowing) provoqués par les obstacles de la trajectoire du signal, à l'évanouissement (fading) dû aux nombreux effets induits par le

phénomène de multi trajets, à l'affaiblissement de parcours (pathloss), et aux brouillages dus aux interférences créées par d'autres émissions.

3.3.3. La hauteur de l'antenne de la station de base

La hauteur d'antenne du réseau cellulaire dépend avant tout de la hauteur de base d'antenne (HBA) qu'on souhaite obtenir. Le HBA définit la hauteur entre le sol et le bas d'antenne, il se diffère d'une zone à une autre à savoir le nombre de trafic et le type de la surface. La hauteur d'antenne soit définie lors de dimensionnements du réseau (25m pour l'antenne de l'opérateur de Djezzy) et elle est très rarement changeable lors de détections d'une mauvaise couverture de la zone, elle dépend de la fréquence et de la polarisation.

La hauteur de HBA influe sur la distance de propagation de signal de transmission comme le montre la figure 3.3 par conséquent plus l'antenne est haute, plus la zone de couverture sera beaucoup plus étendue.

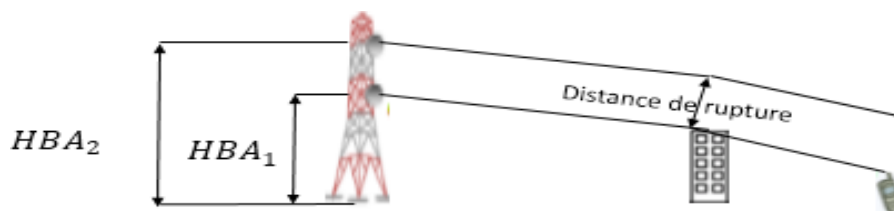


Figure 3.3 : La couverture du signal pour deux différentes hauteurs d'antenne.

3.3.4. L'azimut

L'azimut s'exprime en degrés et désigne l'angle entre le nord géographique et la direction préférentielle de l'antenne dans le plan horizontal [22]. Elle correspond à l'orientation du lobe principal de l'antenne dans le plan horizontal [17].

La direction préférentielle d'une antenne est définie par la puissance d'émission maximale [22].

Idéalement, dans un site tri-sectoriel, l'orientation des antennes est séparée de $\frac{2\pi}{3}$. Une modification de l'angle d'azimut peut être utile à un effet de masque lié au paysage ou à des bâtiments, qui peuvent causer des réflexions et des interférences indésirables.

Il faudra également faire attention à l'azimut de l'antenne afin de s'assurer qu'elle couvre aussi la région toute proche d'elle.

3.3.5. Le Tilt

Le tilt est l'angle d'inclinaison d'une antenne dans un plan vertical. Il est mesuré en degrés, et il prend une valeur nulle (0°) dans le cas où la direction du faisceau principale est parallèle au sol. Lorsque le faisceau se dirige vers le haut, le tilt prend des valeurs négatives (Uptilt), et lorsque le faisceau se dirige vers le bas, le tilt prend des valeurs positives (Downtilt) voire la figure 3.4.

Le tilt est un paramètre qui influe sur la couverture LTE. Si on augmente l'angle du tilt, la zone de couverture de l'antenne diminue et l'intensité de la puissance moyenne reçue par l'utilisateur dans la même cellule augmente. Le réglage du tilt peut être mécanique ou bien électrique à distance.



Figure 3. 4 : Illustration de l'Uptilt du Downtilt.

3.4. L'intensité du champ

L'intensité du champ ou bien la force du signal reçu (RSS : Receive Signal Strength) est une mesure de la puissance en réception d'un signal radio reçu d'une antenne d'UE.

[23] [24].

Plus la distance à proximité de la SB augmente plus l'intensité du champ augmente d'une façon non linéaire. Elle dépend de l'emplacement des stations de base tel qu'elle augmente avec l'augmentation de la distance à proximité immédiate de ces stations de base.

Dans notre étude, nous proposons une mesure de la force de champ qui est basée sur le modèle de propagation d'Okumura-Hata, son calcul est utilisé dans la définition des points de tests et des pertes du diagramme de l'antenne. On note cette force par FS_{UE}^{SB} , ces mesures sont données par l'équation suivante :

$$FS_{UE}^{SB}(x, y) = P_t + G_{ant} - SB_{Loss} - l_u - AVDL(\beta - \theta) \quad (3.2)$$

Où

P_t : est la puissance de transmission.

G_{ant} : est le gain d'une antenne.

SB_{Loss} : Les pertes des câbles.

l_u : Le modèle de propagation d'Okumura-Hata calculé par l'équation (2.7) dans le chapitre 2.

θ : est l'inclinaison d'une antenne (title).

$AVDL$: Les pertes de diagramme vertical de l'antenne, qui est déterminée à l'aide de l'inclinaison θ entre le mobile et l'antenne. $AVDL$ peut être calculé en utilisant l'équation suivante :

$$AVDL = -\min\left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right), SLA_v = 20dB\right] \quad (3.3)$$

SLA_v : est l'atténuation des lobes latéraux et $\theta_{3dB} = 4.4^\circ$.

β : définit le calcul d'incidence verticale entre la SB et l'UE tel qu'elle est montrée sur la figure 3.5 en utilisant l'équation ci-dessous :

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{H_{SB} - H_{UE}}{D} \right) \quad (3.4)$$

La valeur calculée de FS est donnée en dBm et elle prend des valeurs négatives de 0 dBm à -110 dBm, elle est soumise de l'effet de la puissance de transmission et des pertes de diagramme vertical.

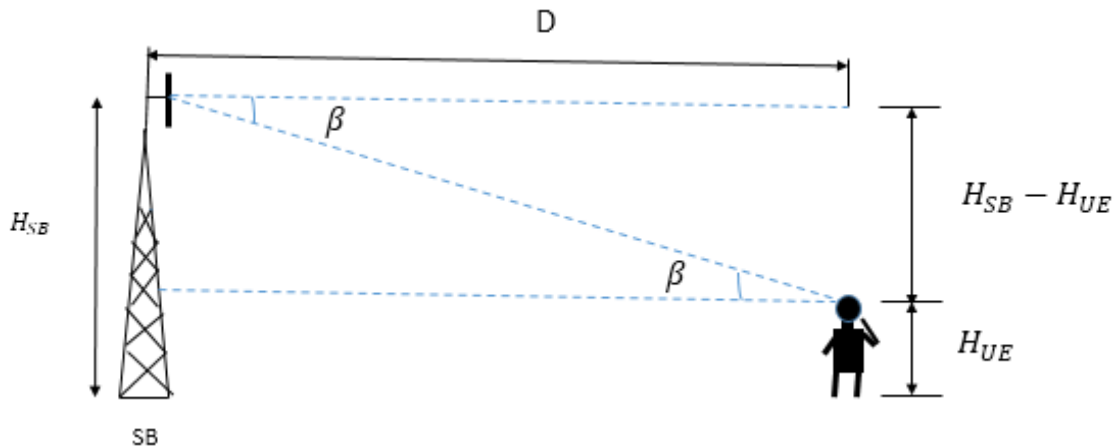


Figure 3. 5 : Angle d'incidence entre l'utilisateur (UE) et la station de base (SB).

3.5. Représentation du trafic et des stations de base

En premier lieu, nous devons déployer nos utilisateurs (trafic) à gérer d'une manière aléatoire. Pour ce faire il faut avoir un modèle de distribution des utilisateurs. Deux types de trafic peuvent être considéré à savoir dynamiques et statiques.

Le premier modèle, très réaliste mais inadapté à notre problème car pour optimiser la couverture d'un mobile il nous faut un modèle de mobilité c'est-à-dire que les clients peuvent se déplacer d'un site à un autre.

Le second modèle, est un modèle statique des utilisateurs, représenté par des points de tests immobiles (fixes). Chaque point de test est utilisé pour permettre la mesure de l'intensité du signal, où la qualité du signal reçu doit être supérieure au seuil de qualité qui est de $FS \geq -92dBm$.

L'ensemble des points de tests est donné par $TP = \{UE_1, UE_2, UE_3 \dots \dots UE_m\}$ avec m est le nombre total des points de test.

D'autre part, une liste des stations de base est conçue qui sera optimisée en termes de paramétrage. Le paramétrage commence par le choix de l'antenne qui est omnidirectionnel en fonction de son diagramme de rayonnement, puis par le réglage de ses paramètres c'est-à-dire son tilt, sa puissance et sa hauteur.

Le choix des sites candidats doit être le plus réaliste que possible afin de construire un réseau fiable et atteindre les objectifs de services. Il faut tenir compte des volumes du trafic réparti sur la surface, si le nombre de clients est élevé, il faut prévoir une densité de sites plus importante [25].

3.6. Objectives et contraintes

Dans cette section nous introduisons les objectifs tracés pour la planification d'un réseau LTE. Notre objectif est de voir l'influence des paramètres antennaires sur la couverture du réseau, tout en maximisant cette fraction sous les contraintes du Handover et de la capacité d'un site.

3.6.1. Maximisation de la couverture

Pour garantir une bonne couverture radio cellulaire, il est préférable de choisir des paramètres judicieux qui couvrent la totalité de la surface étudiée. Cependant, pour la planification de la couverture l'idée est de trouver des emplacements optimaux pour que les stations de base afin

d'établir une couverture continue conformément aux exigences de planification. En particulier dans le cas d'un réseau à couverture limitée. Dans notre cas, la couverture sera étudiée en fonction d'un nombre de tests déployé sur une surface aléatoirement. Un point de test typique est dit couvert si l'intensité de champs qui reçoit à son niveau est de $FS \geq -92 \text{ dBm}$ [26].

Nous définissons une variable de décision binaire $y_{j,UE}^k$ qui représente la connexion d'un point de test à une station de base. La variable $y_{j,UE}^k$ égale à 1 si le point de test est connecté à la station de base d'indice j avec une configuration k , 0 s'il n'y a pas de connexion [27].

$$y_{j,UE}^k = \begin{cases} 1 & \text{UE}_i \text{ est couvert par BS}_j \text{ avec une configuration } k \\ 0 & \text{Si non} \end{cases} \quad (3.5)$$

Dans notre cas la fonction objective étudiée est

$$MAX \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m y_{j,UE}^k \quad (3.6)$$

3.6.2. Contrainte du Handover

L'une des principales caractéristiques d'un réseau cellulaire, contrairement à un réseau téléphonique public commuté traditionnel, est la mobilité des abonnés. Ceci implique que lorsqu'un abonné se déplace d'une cellule à une autre, l'appel en cours doit être transféré d'une station de base à une autre pour assurer la continuité du service. Si aucun canal n'est disponible dans la cellule adjacente, l'appel peut être interrompu et abandonné. D'un point de vu radio, Si l'utilisateur s'éloigne d'une station de base à une autre, la puissance de signal est automatiquement réduite en dessous de la sensibilité requise. À ce moment-là, l'utilisateur recherche le signal de bonne qualité d'une autre station de base proche pour se connecter comme le montre la figure 3.6 [10].

La condition pour le bon fonctionnement du Handover d'un point de vu radio est donnée par l'équation suivant :

$$Hand = \{UE_i: UE_i \in C_j \text{ et } \exists j' \neq j \text{ tell que } |FS_j(UE_i) - FS_{j'}(UE_i)| \leq 7dB\} \quad (3.7)$$

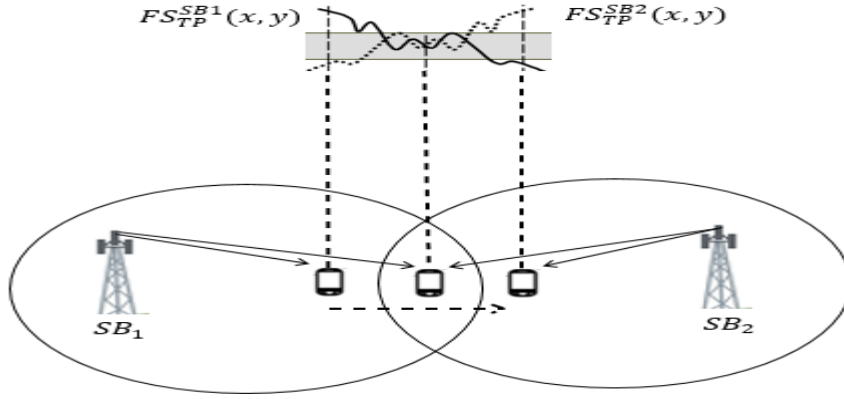


Figure 3. 6 : L'intensité de champ lors de la procédure du Handover.

3.6.3. Contrainte de capacité

Une première manière relativement simple et naturelle pour modéliser la capacité d'une station de base sous forme de contrainte consiste à limiter le nombre des clients associés à chaque station de base. La demande du trafic désigne le nombre d'abonnés qui peuvent se communiquer à une station de base. Il est donné en fonction du nombre d'émetteurs. L'estimation de trafic dans le réseau est donnée en termes d'Erlang. Cependant, en fonction de la capacité de transfert de charge maximale par un émetteur une station de base peut gérer jusqu'à 43 Erlang [28].

$$\forall j \in J, \sum_{i \in I} y_{j,UE}^k \leq m_{max} \quad (3.8)$$

Avec m_{max} est le nombre maximal des utilisateurs.

3.7. La fonction objective (fitness)

La fonction objective (fonction d'adaptation) représente l'un des éléments-clés de l'algorithme génétique. À l'aide de cette fonction, l'algorithme génétique sera en mesure de classer les individus d'une population selon leurs pertinences. Elle est une partie inséparable de l'algorithme génétique car elle représente sous forme mathématique le problème à résoudre [26].

Dans notre cas la fonction d'adaptation représente le problème de maximisation de la couverture sous la contrainte du Handover et de capacité. Le chromosome est évalué suivant la fonction objective ci-dessous :

$$f = \frac{\text{Max} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m y_{j,UE}^k}{n} \quad (3.8)$$

n : Nombre des utilisateurs totaux.

3.8. Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques font partie des algorithmes évolutionnistes. Leurs buts sont d'obtenir à partir d'une approximation de la solution d'un problème par un mécanisme d'optimisation. Dans notre cas, cet algorithme est utilisé pour trouver la solution au problème de maximiser la couverture dans les réseaux radio LTE. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle développée par Darwin et appliquée à une population [30].

Nous commençons par générer d'une façon itérative la population initiale, qui est dans notre cas un ensemble de stations de base où chaque station est appelée un chromosome, et puis c'est l'évolution d'une génération à une autre, en utilisant les trois opérations (sélection, croisement et mutation).

Dans un premier temps, la population initiale P_0 passe par l'opérateur de sélection où il va ne prendre que les meilleurs chromosomes. Après, nous appliquons un croisement aux paires des chromosomes pour produire des nouveaux chromosomes. Ensuite, un opérateur de mutation est également appliqué aux nouveaux chromosomes qui vont être insérés après dans la nouvelle population P_1 . Enfin, si les nouveaux chromosomes sont satisfaits, le critère de maximisation de la couverture sera terminé, sinon il répète les mêmes étapes. La figure 3.7 suivante montre l'organigramme de fonctionnement d'un algorithme génétique [31].

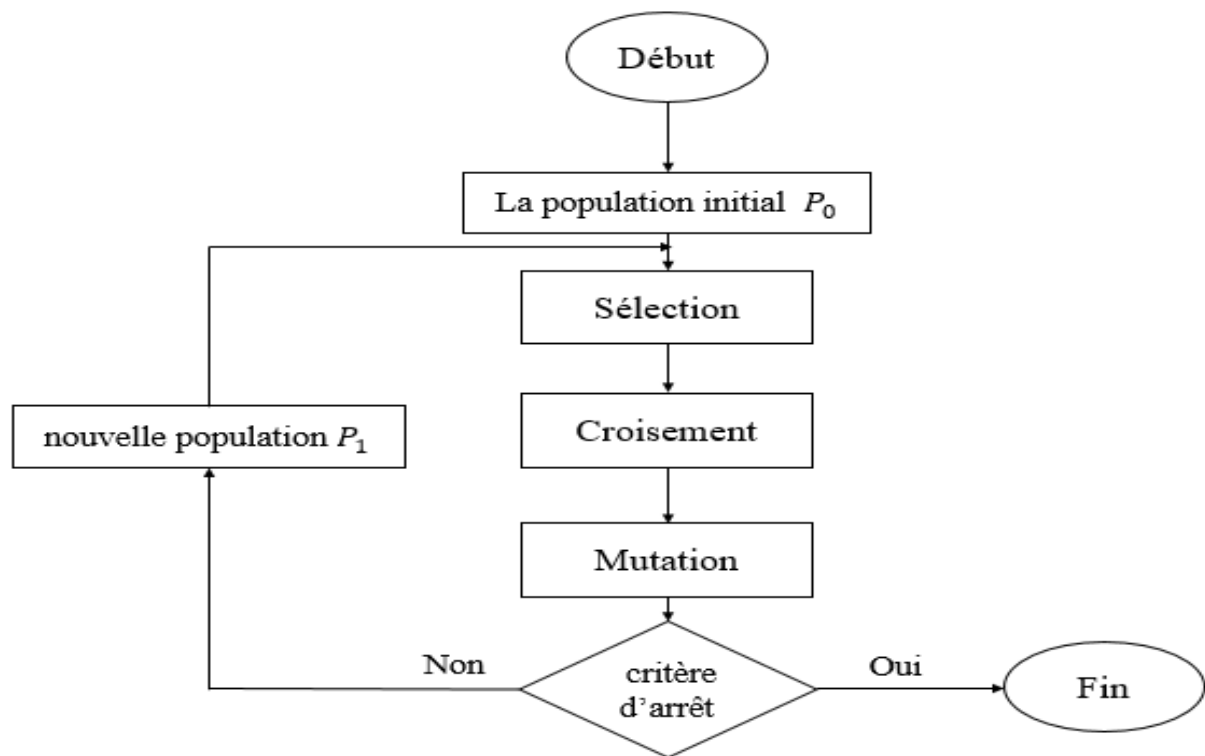


Figure 3. 7 : L'organigramme d'un Algorithme Génétique.

3.8.1. Représentation du chromosome

Un individu de l'algorithme génétique est représenté par un chromosome qui correspond à une station de base (SB). Chaque chromosome est constitué de plusieurs gènes et chaque gène est associée à un paramètre antenne comme illustré dans la figure suivante.

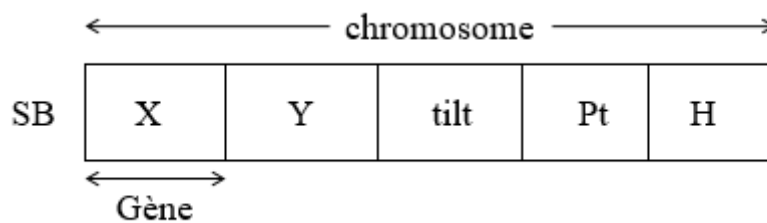


Figure 3. 8 : Représentation d'un chromosome.

Tel que :

- *X* : représente la position de l'antenne selon l'axe horizontal.
- *Y* : représente la position de l'antenne selon l'axe vertical.
- *tilt* : représente l'inclinaison de l'antenne.

- P_t : représente la puissance de transmission de l'antenne.
- H : représente la hauteur de l'antenne.

3.8.2. Le codage

Pour les algorithmes génétiques un des facteurs les plus importants est la façon dont sont codées les solutions ce que l'on a nommé les chromosomes, plus précisément les gènes qui sont correspondent aux paramètres antennaires. Il utilise principalement deux types de codage le codage binaire et le codage réel et on peut facilement passer d'un code à l'autre [32].

▪ Le codage binaire

Dans ce type de codage le chromosome représente simplement une suite de 0 et de 1. Le codage binaire est également indépendant des opérateurs génétiques (croisement et mutation) du moment où ces derniers ne nécessitent aucune spécification.

En effet, toute manipulation d'un chromosome donne naissance à un nouveau chromosome valide. Cependant, ce type de codage n'est pas toujours bon, il est parfois très difficile de coder des solutions de cette manière. En outre, dans certains cas la taille mémoire requise peut devenir prohibitive [31].

▪ Le codage réel

Dans ce type de codage, chaque chromosome est un vecteur dont les composantes sont les paramètres antennaires qui correspondent à des valeurs réelles. Par exemple, si on cherche le code de la première station de base (SB_1) on aura le chromosome suivant :

$$SB_1(X_1, Y_1, tilt_1, P_t, H_1) = (50Km, 70Km, 2^\circ, 28dBm, 7m)$$

Avec ce type de codage, la procédure d'évaluation des chromosomes est plus rapide [31].

3.8.3. La sélection

Une opération de sélection est nécessaire pour pouvoir choisir ou favoriser les chromosomes qui garantissent une amélioration en termes de couverture. La sélection est un processus qui consiste à choisir parmi tous les chromosomes de la population, ceux qui vont participer à la construction d'une nouvelle population. Ce choix est relié directement à l'efficacité de chromosome (qui porte des meilleurs paramètres antennaires) au sein de sa population.

Nous citons quelques méthodes utilisées pour la sélection des chromosomes :

- **Sélection par Rang**

Le principe de cette méthode est de garder les meilleurs chromosomes selon leurs fonctions objectives (fitness) d'une population initiale pour ensuite les introduire dans la prochaine population. C'est une façon de protéger des solutions potentielles de la disparition lors de l'étape de sélection [32] [29].

- **Sélection par roulette**

Cette méthode consiste à copier les chromosomes de la population dont les performances sont relativement bonnes.

Pour un chromosome dont sa fonction objective est (chi), la probabilité (chi) avec laquelle il sera copié dans la nouvelle population de taille N est :

$$p(ch_i) = \frac{f(ch_i)}{\sum_1^N f(ch_i)} \quad (3.9)$$

L'inconvénient de cette méthode réside dans la présence probable d'un super chromosome. Qui est le chromosome dont la probabilité de sélection est très supérieure à celle des autres chromosomes, il risque alors d'être toujours choisi.

On préfère souvent d'utiliser des méthodes qui n'autorisent en aucun cas l'apparition de super-chromosome. Par exemple la sélection par tournoi qui nous aide à trouver une solution de notre problème [32] [29].

- **Sélection par Tournoi**

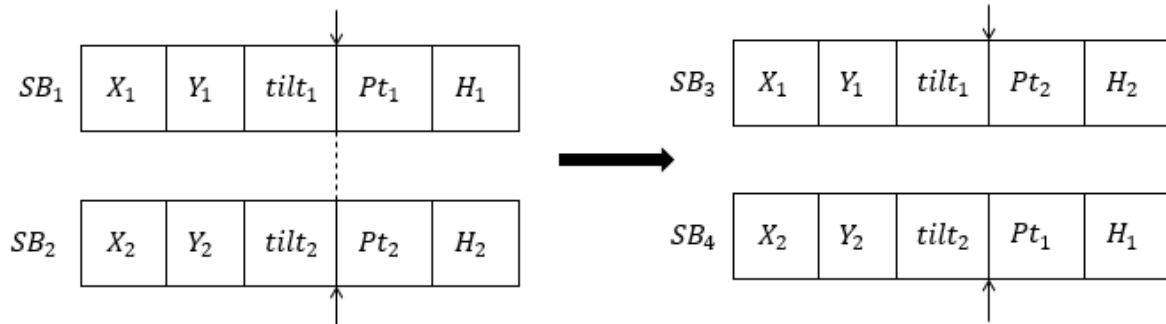
Cette sélection consiste à comparer un pair de chromosome choisis au hasard, où le meilleur de ces deux est gagnant et sera déclarée sur le tournoi, avec une population de N chromosomes, on forme $N/2$ paires de chromosomes pour la reproduction.

L'avantage de cette méthode par rapport à la précédente est d'éviter d'avoir le super individu.

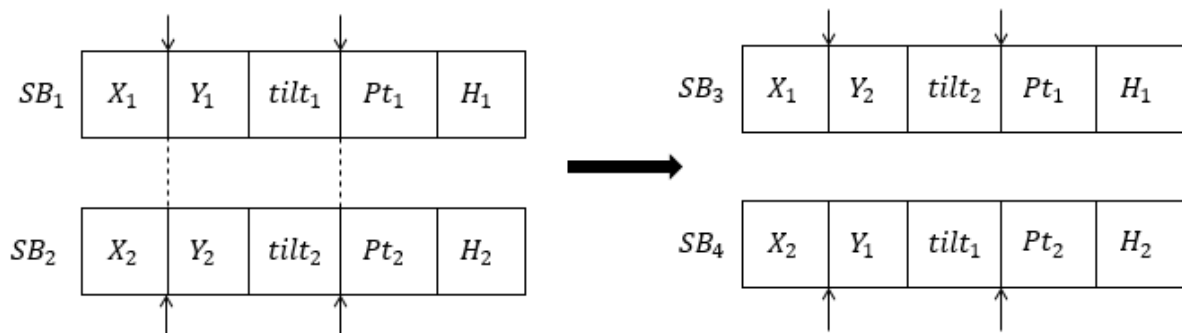
3.8.4. Le Croisement

Une fois l'opération de sélection est terminée, les chromosomes sont aléatoirement répartis en couple. Les chromosomes parents SB_1 , SB_2 pris au hasard de la population sont copiés en choisissant aléatoirement le point de croisement et recombinaison afin de modifier leurs gènes dans le but d'obtenir des nouveaux chromosomes SB_3 , SB_4 qui peut contenir des meilleurs paramètres antennaires.

Selon le nombre de points de croisement on définit le type de croisement comme il est montré dans la figure 3.8, il existe le croisement à un point et le croisement à deux points.



(1) Croisement à un point.



(2) Croisement à deux points.

Figure 3.9 : Exemple des types de croisement.

3.8.5. La mutation

L'opérateur de mutation prend en entrée un chromosome sélectionné pour la mutation et renvoie un chromosome mutant obtenu par la modification des gènes.

Un gène du chromosome sélectionné pour cette opération tire aléatoirement sa valeur qui est remplacée par une des autres valeurs possibles (tirée aléatoirement elle aussi), avec une faible probabilité de 0.01.

En général, la mutation ne permet pas l'obtention des meilleures solutions contrairement au croisement. La figure suivante montre un exemple de mutation.

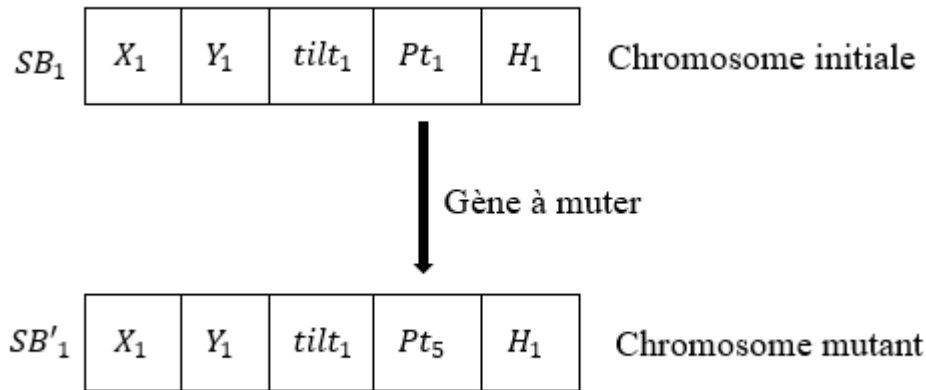


Figure 3. 10 : Représentation schématique de la mutation.

3.9. Conclusion

Durant ce chapitre nous nous sommes intéressés à la présentation d'une problématique de la planification du réseau LTE dans le but de la traiter et d'arriver à une solution optimale.

Nous avons proposé dans un premier lieu un modèle mathématique sur la distribution des clients du type statique.

Par la suite nous avons défini les paramètres antennaires qui sont considérés comme des variables à régler dans notre étude dans le but d'ajuster le paramétrage de nos stations de base (position de SB, puissance de transmission, le tilt, l'azimut et la hauteur du HBA) pour une meilleure couverture.

Notre objectif est présenté sous la contrainte d'Handover et de capacité en passant par le calcul de l'intensité de champ (RSS) de point de trafic de chaque station de base, ce qui nous mène à une résolution d'optimisation de notre réseau.

Enfin, afin d'avoir une solution de notre problème qui est de la maximisation de la couverture, nous avons défini un algorithme génétique et ses différentes étapes pour un choix convenable des paramètres antennaires qui permettent d'avoir une meilleure couverture de la zone de service considérée.

CHAPITRE 4

Simulation et interprétation

4.1. Introduction

L'optimisation du réseau LTE est travail quotidien continu, il fait principalement référence à la pré-optimisation et à l'optimisation continue avant et après le lancement du réseau. Les résultats d'optimisation et le niveau de travail d'optimisation du réseau sont directement liés à la performance future de la stabilité du réseau et de la couverture. Une bonne optimisation peut réduire le niveau d'interférence de réseau et les interruptions de service, améliorer les performances et la capacité de réseau, le débit de données et le taux de réussite des appels et de transfert.

Après la construction d'un réseau et avant sa mise en ondes, il est nécessaire d'effectuer l'optimisation avant le lancement où le processus commun consiste à diviser le réseau en groupes de sites (clusters) et à optimiser ces clusters. Les changements pendant l'optimisation avant le lancement sont principalement physiques (par exemple, les inclinaisons d'antenne et les azimuts) bien qu'ils puissent également inclure certains changements de paramètres dans le but d'optimiser la couverture et la qualité du réseau.

4.2. Principe de la simulation

Afin de vérifier la performance de la méthode utilisée une pratique réelle d'optimisation d'un réseau LTE est réalisée dans la région de Bejaia. Nous avons considéré une surface où les stations de base sont déployées avec un certain paramétrage. Notre but est de voir si les paramètres mis en place satisfont un certain pourcentage de couverture ou bien quelle situation de couverture donne le paramétrage utilisé. Des tests sont appliqués sur une seule station de base ensuite sur un réseau entier. Les résultats et leur interprétation sont donnés dans les sections suivantes. D'autre part, une simulation via U-Net dans le but d'une optimisation effectuée sur une région choisi dans la ville de Bejaia en réglant les paramètres antennaires jusqu'à ce que nous obtenions les meilleurs paramètres qui servent à l'optimisation de réseau

de cette région. D'autre part, une simulation via Matlab est effectuée. Nous considérons une surface géométrique donnée, dans cette surface les utilisateurs sont déployés d'une manière aléatoire tout comme les stations de base. L'objectif est de trouver le paramétrage convenable ainsi que la position optimale des stations de base pour maximiser la couverture. Les résultats obtenus sont expliqués ultérieurement.

4.2.1. Cas réel de l'optimisation des paramètres

La première simulation est basée sur l'application de réglage des paramètres antennaires sur quelque station de base qui couvrent la ville de Bejaia. Le but est de trouver les paramètres d'ajustement qui servent à l'amélioration de la couverture de cette zone.

Résultats et commentaires

I. Premier résultat

À l'aide de logiciel U-Net [33], nous avons pu réaliser des optimisations sur quelque site dans le but d'améliorer la couverture de la zone sélectionnée par un polygone dans la Mapp de Bejaia.

A. Sur le site 4A06x007, nous avons réalisé :

Le cas initial :

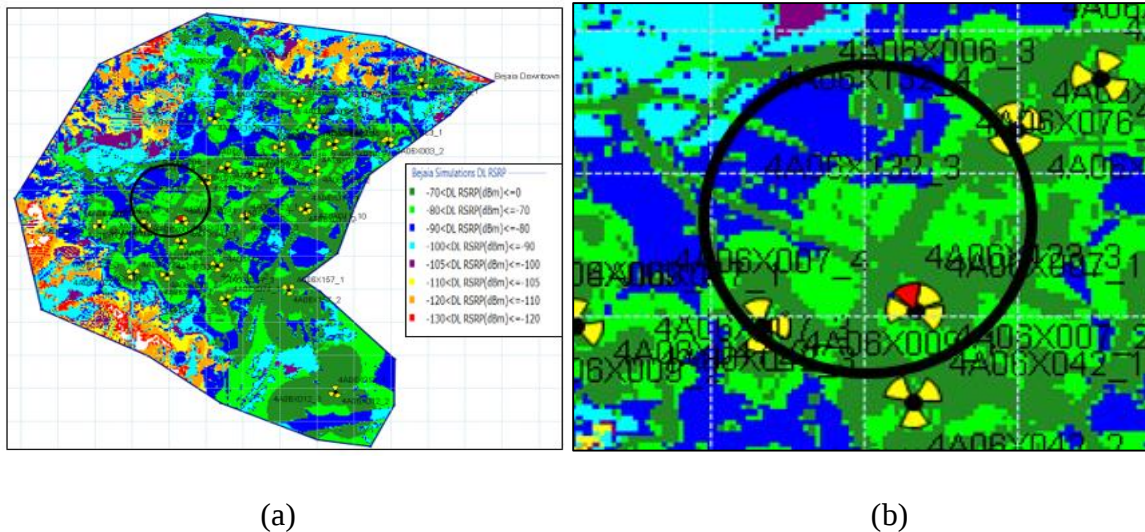


Figure 4. 1 : Un mauvais niveau de signal détecté dans la zone couverte par la cellule encerclé (a) et le zoom de la région (b).

Dans la figure 4.1 et au niveau du cercle noir se situe une zone d'altitude $z=26\text{m}$ devant le secteur 4A06x007_4 montré en rouge (tilt=6 degré, Pt=18.2 dBm). Nous avons diminué la valeur de tilt de la cellule 4A06X007_4 de 6 degrés à 2 degrés et augmenté sa puissance de

transmission de 18.2 dBm à 21.2dBm afin d'améliorer le niveau de signal (RSRP) représenté par la figure 4.2. Ainsi on remarque une amélioration au niveau de la qualité du signal (SINR) sur la figure 4.3 et de débit (Throughput) sur la figure 4.4.

Le cas après le réglage des paramètres :

Amélioration du niveau de signal :

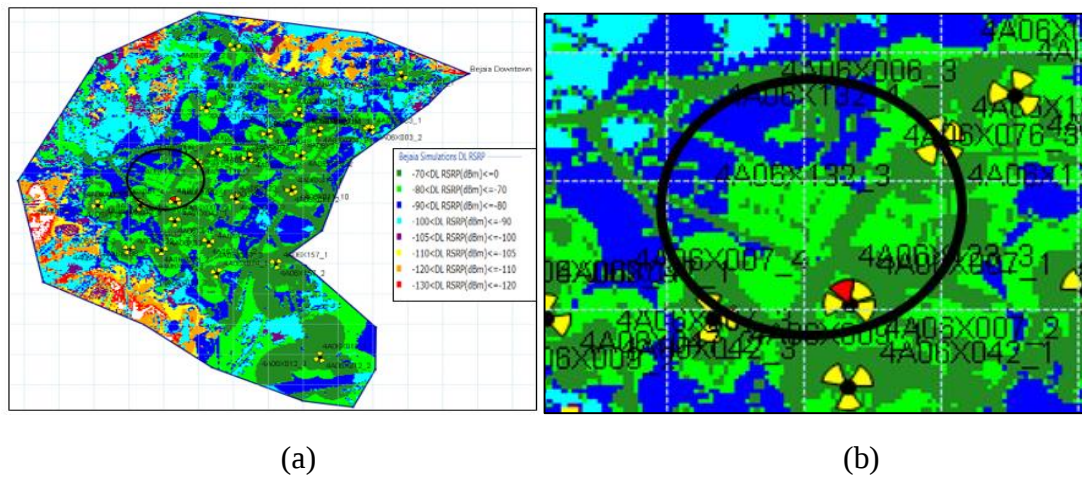


Figure 4. 2 : Amélioration de la couverture après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).

Amélioration de la qualité du signal :

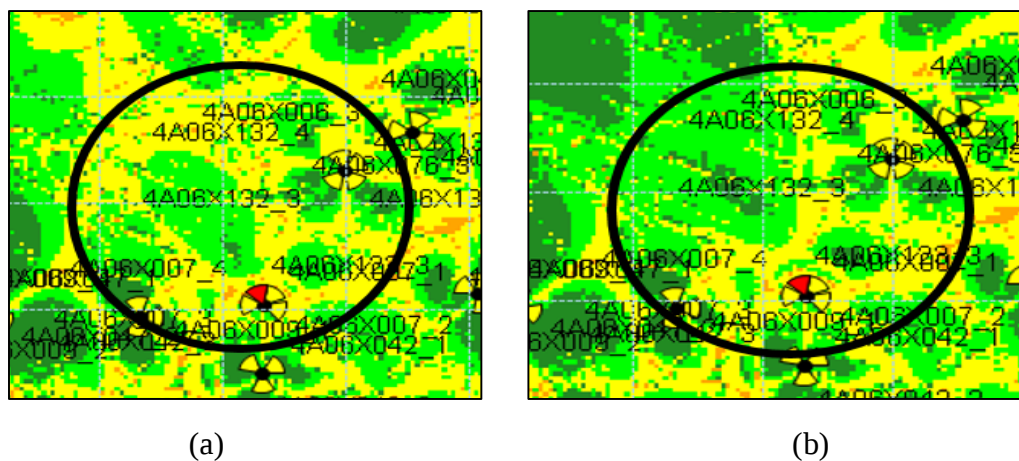


Figure 4. 3 : La qualité du signal de la région couverte par le site encerclé (a) et l'amélioration de la qualité du signal après le réglage des paramètres de l'antenne de ce site (b).

Amélioration du débit :

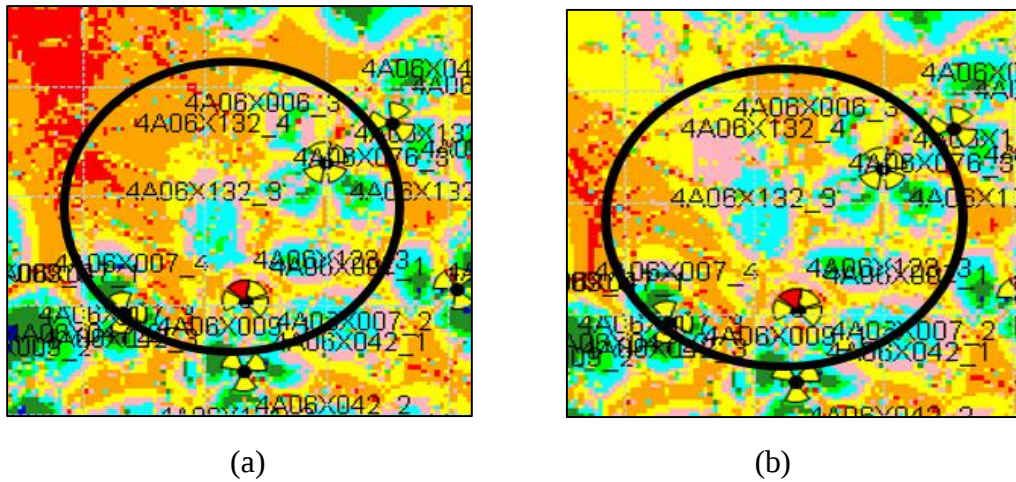


Figure 4. 4 : Le débit de la ligne descendante de la région couverte par le site encerclé (a) et l'amélioration du débit après le réglage des paramètres de l'antenne de ce site (b).

B. sur le site 4A06X006 :

D'autre part, nous avons appliqué un test sur la zone couverte par le site 4A06X006_1 qui porte les paramètres suivants : hauteur= 24m, tilt=2 degrés, puissance=18.2 dBm.

Le cas initial est :

Amélioration du niveau de signal :

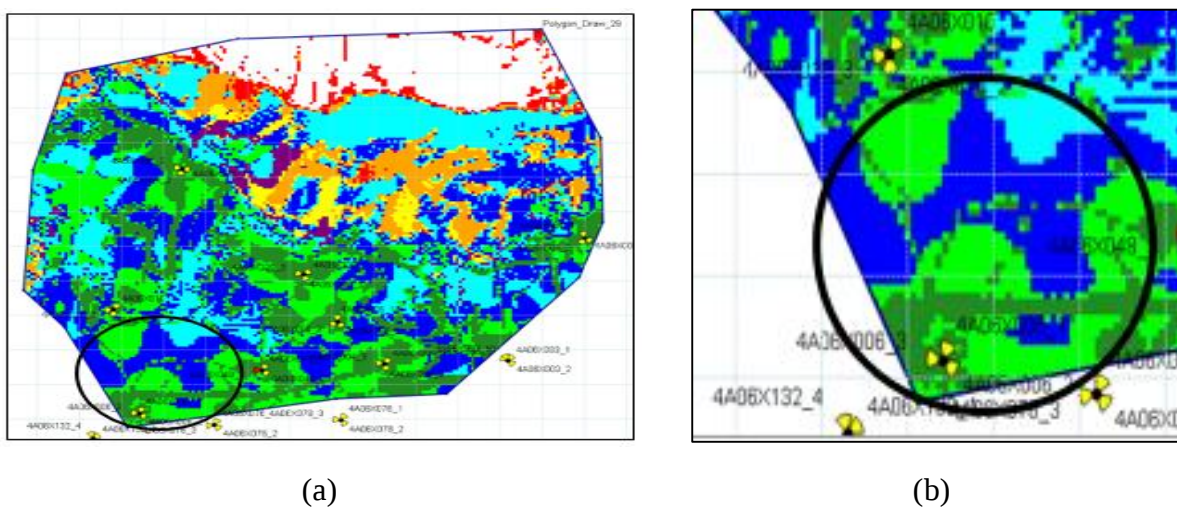


Figure 4. 5 : Un mauvais niveau de signal détecté dans la zone couverte par la cellule encerclé (a) et le zoom de la région (b).

Après le réglage de ces paramètres, le seul paramètre avec lequel nous avons pu augmenter le débit (DL throughput) illustré dans la figure 4.5 est la puissance de transmission par une augmentation de cette puissance de 18.2 dBm à 21.2 dBm, l'amélioration du SINR est montré sur la figure 4.7 ainsi que RSRP illustré dans la figure 4.8.

Amélioration du niveau de signal :

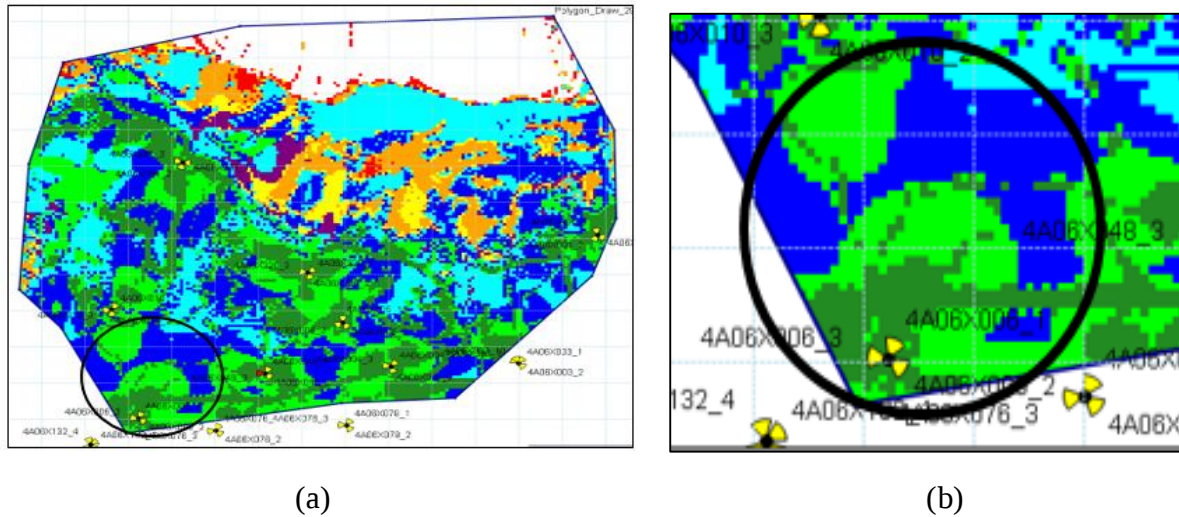


Figure 4. 6 : Amélioration de niveau de signal après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).

Amélioration du débit :

Avec le réglage des paramètres, nous avons obtenu sur le site étudié :

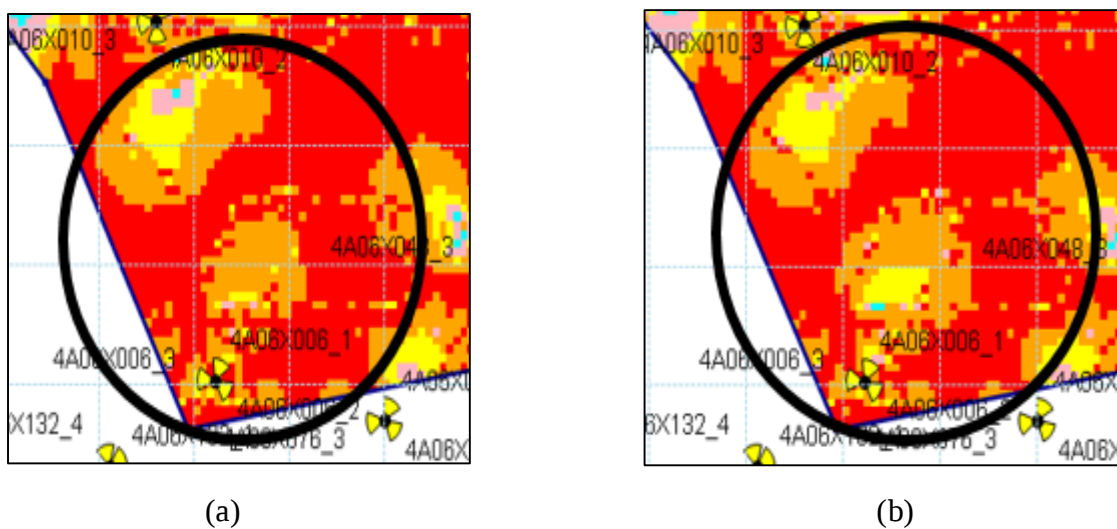


Figure 4. 7: Amélioration du débit de la ligne descendant après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).

Amélioration du rapport signal sur bruit SINR

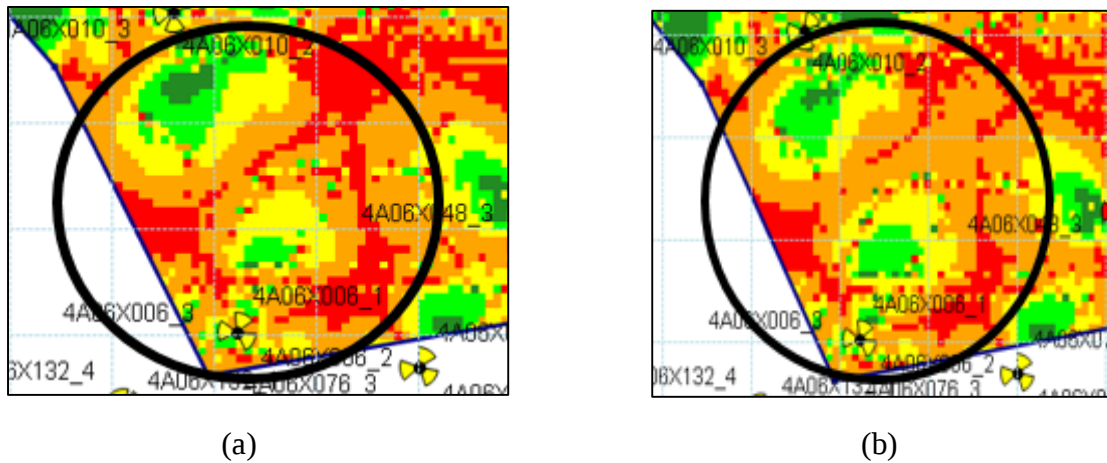


Figure 4.8 : Amélioration de la qualité du signal après le réglage des paramètres au niveau du site encerclé (a) et le zoom de la région (b).

C. Essai sur le site 4A06X003 :



Figure 4.9 : L'effet d'overshooting au niveau du secteur 4A06X003_10.

Dans la figure 4.9, on détecte un mauvais SINR qui est dû à l'effet d'overshooting (dépassement de couverture) de secteur 4A06X003_10 créant un conflit avec le secteur 4A06X078_3. Dans le but d'éliminer cet effet, nous avons diminué la puissance de transmission de secteur 4A06X003_10 de 18.2 dBm à 15.5 dBm.

II. Second résultat

A l'aide du logiciel U2000 et de PRS, nous pouvons effectuer une réalisation pratique dans le but d'éliminer l'effet d'overshooting sur la ville d'Alger au niveau du site A16X123.

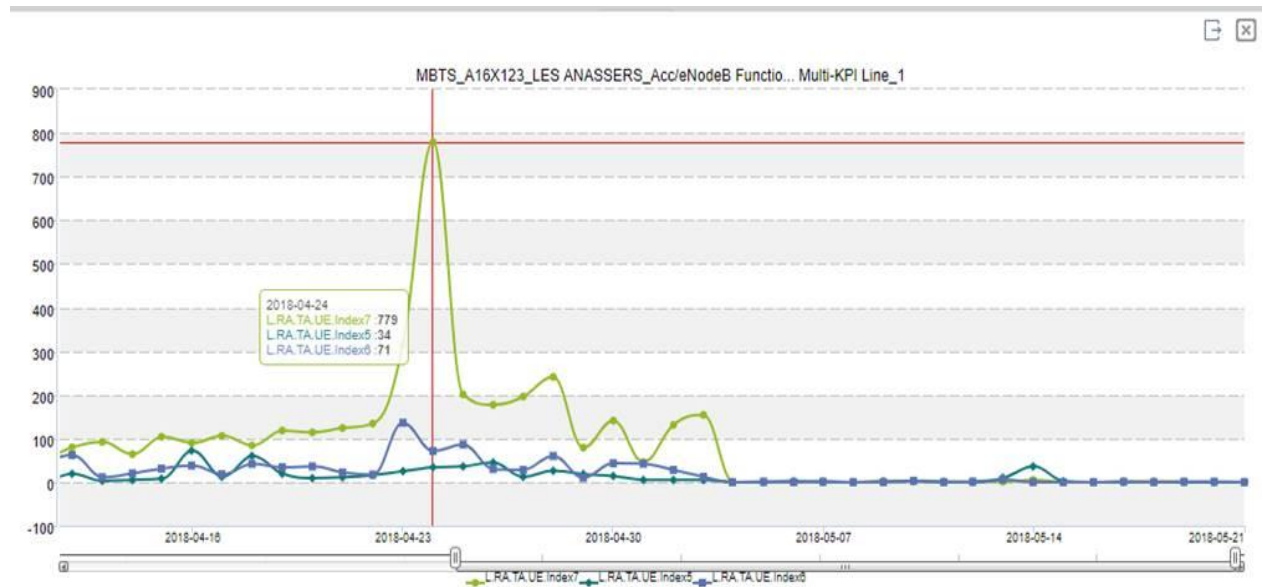


Figure 4. 10: L'élimination de l'effet d'overshooting dans les niveaux de couverture de L.RA.TA.UE.Index5 et L.RA.TA.UE.Index6 et L.RA.TA.UE.Index7 à partir de 24/04/2018

Les niveaux de couverture	Distance (m)
L.RA.TA.UE.Index0	0_156
L.RA.TA.UE.Index1	156_312
L.RA.TA.UE.Index2	312_624
L.RA.TA.UE.Index3	624_1092
L.RA.TA.UE.Index4	1092_2028
L.RA.TA.UE.Index5	2028_3588
L.RA.TA.UE.Index6	3588_6630
L.RA.TA.UE.Index7	6708_14508
L.RA.TA.UE.Index8	14508_30108
L.RA.TA.UE.Index9	30108_53508
L.RA.TA.UE.Index10	53508_76908
L.RA.TA.UE.Index11	≥76908

Tableau 4. 1: La distance de chaque niveau de couverture ainsi que leur range et distance.

Dans les niveaux de couverture L.RA.TA.UE. Index5 et L.RA.TA.UE. Index6 et L.RA.TA.UE.Index7, nous avons détecté un effet d'overshooting car leur distance est très grande. Pour cela nous avons changé la valeur du tilt de -2 degrés à -3 degrés et nous avons diminué la valeur de la puissance de transmission de 21.2 dBm à 18.2 dBm.

Ce qui permet de diminuer le nombre de trafic dans les trois niveaux de couvertures jusqu'à ce que tous les échantillons existants dans les trois régions se déconnectent complètement de ce site en se connectant à un autre site le plus proche.

4.2.2. Application de l'algorithme génétique

La seconde simulation est basée sur l'implantation de l'algorithme génétique simple. Le but est de trouver les positions avec les paramètres judicieux pour maximiser la couverture. Le tableau 4.2 suivant illustre les paramètres utilisés durant la simulation.

Description	Paramètres	Valeurs
Fréquence	f	900MHz
Seuil de qualité	S_q	-92dbm
Gain de l'antenne	G_{ant}	11.15db
Perte au niveau antenne	SB_{Loss}	7.2db
Trafic maximal	Trf_{Max}	43Erlang
Hauteur du mobile (PT)	h_{UE}	1.8m

Tableau 4. 2 : Paramètres de simulation.

La stratégie globale commence par initialiser la zone de travail avec l'environnement de simulation approprié. Les points de tests sont répartis sur la zone d'étude. L'installation des SB se fait selon les coordonnées (x, y) . Les valeurs de la puissance de la hauteur et du Tilt sont également réglées en conséquence. Ensuite, l'ensemble des points de tests couvert par les stations de base est déterminé en mesurant l'intensité du champ. Cependant, avant de mesurer cette valeur de l'intensité, la distance euclidienne, la perte de trajectoire et l'angle d'incidence sont calculés par rapport à chaque SB.

D'autre part, les paramètres de l'algorithme génétique à savoir la probabilité de croisement, la probabilité de mutation ainsi que le nombre de générations sont donnés dans le tableau 4.3.

Paramètres	Valeurs
Représentation (codage)	Réel
Probabilité de croisement	0.7
Probabilité de mutation	0.01
Nombres de génération	2000

Tableau 4. 3 : Paramètre de l'algorithme génétique.

4.3. Placement des stations de base

L'algorithme génétique exécute la procédure d'optimisation par itérations. Dans chaque itération, les individus sont évalués et améliorés pour atteindre les objectifs généraux. Ces itérations sont appelées générations. On s'attend à ce que l'augmentation du nombre de générations augmente les chances qu'un algorithme atteigne la solution désirée. Cependant, si l'algorithme a convergé, peu importe le nombre de fois que l'algorithme s'exécute, la solution reste la même. Les résultats optimaux des positions des stations de base sont donnés dans les figures suivantes pour chaque génération. Notant que chaque point rouge représente un ensemble d'utilisateurs dans une surface de $10Km \times 10km$.

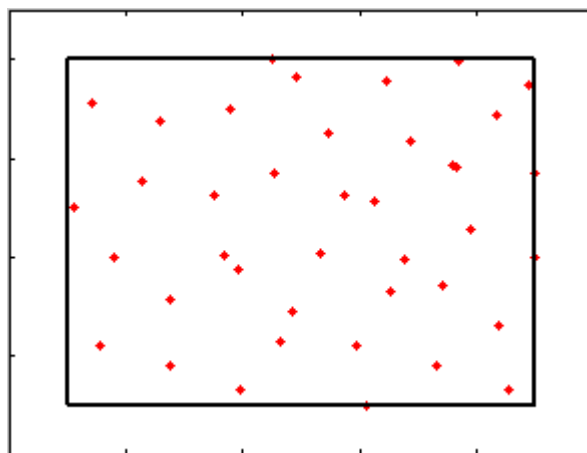


Figure 4. 11 : Distribution des utilisateurs.

L'observation s'est principalement concentrée sur l'emplacement des stations de bases, la couverture obtenue dans une génération particulière et si l'algorithme a pris en compte la demande de trafic d'un environnement de propagation pendant le processus de placement de la station de base. Afin d'illustrer clairement les emplacements des stations de base dans les différents environnements de propagation, les scénarios utilisés, incluaient la représentation d'environnements de propagation supposées être urbains. La figure 4.12 montre les sites de stations de base sélectionnés dans la première génération. Le cercle bleu indique les stations de base sélectionnées. On remarque aussi que plusieurs cercles sont superposés les uns sur les autres c'est-à-dire que des stations de base se trouvent très proches les unes des autres. La couverture à la 500^{ème} génération est de 44%. On remarque que plusieurs trous de couverture sont enregistrés qui sont dus au manque de stations de base dans ses zones ou bien à un mauvais paramétrage.

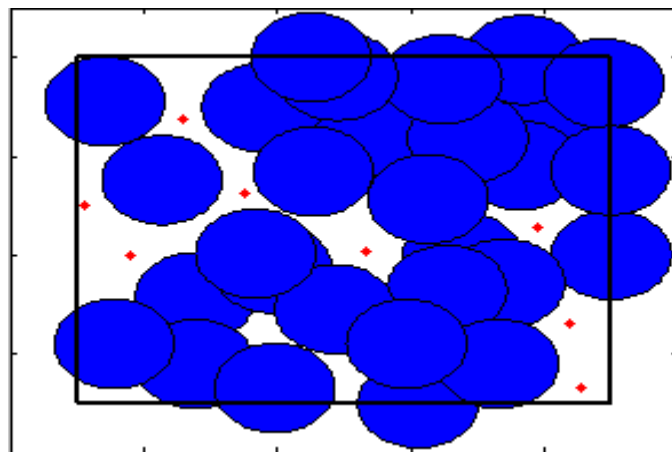


Figure 4. 12 : Emplacement des stations de base à la 500^{ème} génération.

La figure 4.13 illustre les nouvelles positions des stations de bases à la 800^{ème} génération. La couverture a augmenté jusqu'à 68% par rapport à la première génération. L'augmentation est due à un changement des positions des stations de base superposé et aussi à un changement de paramètres antennaires comme les deux stations de base située en haut à gauche de la surface. Une a augmenté sa puissance de transmission jusqu'à 47dBm et l'autre un changement de tilt vers -6° ainsi que sa position.

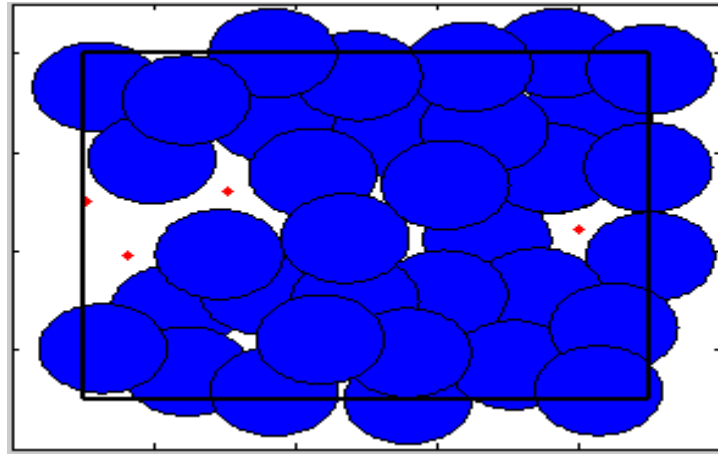


Figure 4. 13 : Emplacement des stations de base à la 800^{ème} génération.

Les figures 4.14 montrent le changement de la topologie du réseau à la 1500^{ème} et dernière génération. Les pourcentages de couverture ont atteint des valeurs maximales de 95%. Les mêmes remarques peuvent être dites sur le changement des paramètres. Les sites de stations de base sélectionnés vérifient aussi à la fin de la simulation la contrainte du Handover un pourcentage de 81% est enregistré à la fin de la génération. Ce pourcentage est dû à la présence de plusieurs stations de base proches. En effet, une présence de station de base adjacente non espacé augmente la couverture mais influe sur l'Handover car la contrainte n'est pas satisfaite.

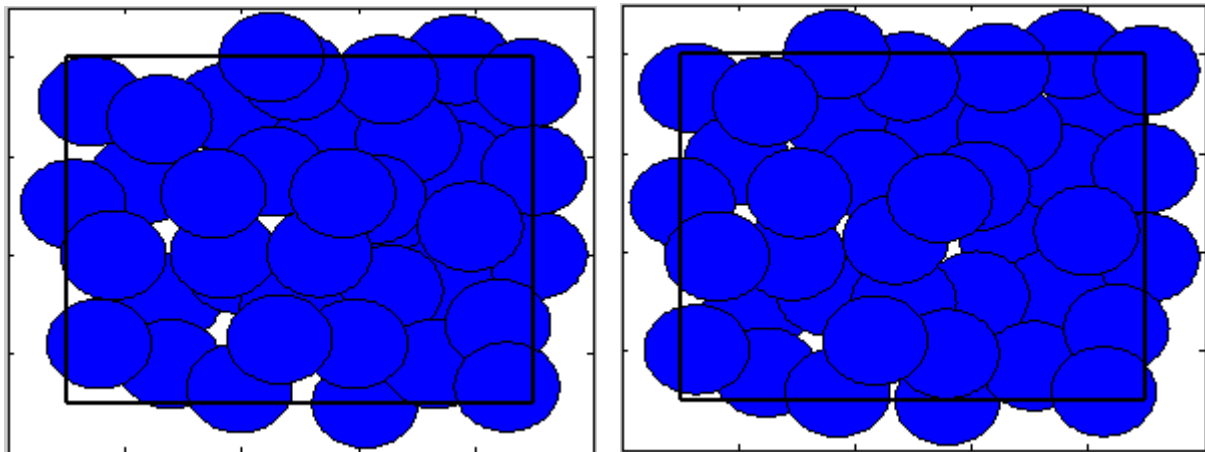


Figure 4. 14 : Emplacement des stations de base à la 1500^{ème} et 2000^{ème} génération.

4.4. Evaluation de la fonction fitness

La figure 4.15 ci-dessous représente la variation de la fonction fitness sur 2000 génération. On remarque que la finesse augmente d'une génération à une autre. En outre, lorsque les résultats indiqués dans les figures précédentes sont pris en compte, on a observé que la valeur du fitness était proportionnelle à la performance en termes de couverture. La valeur de la fonction objective la plus élevée a été trouvée à 95, atteinte vers la 1000^{ème} génération. La forme physique augmente progressivement avant de converger.

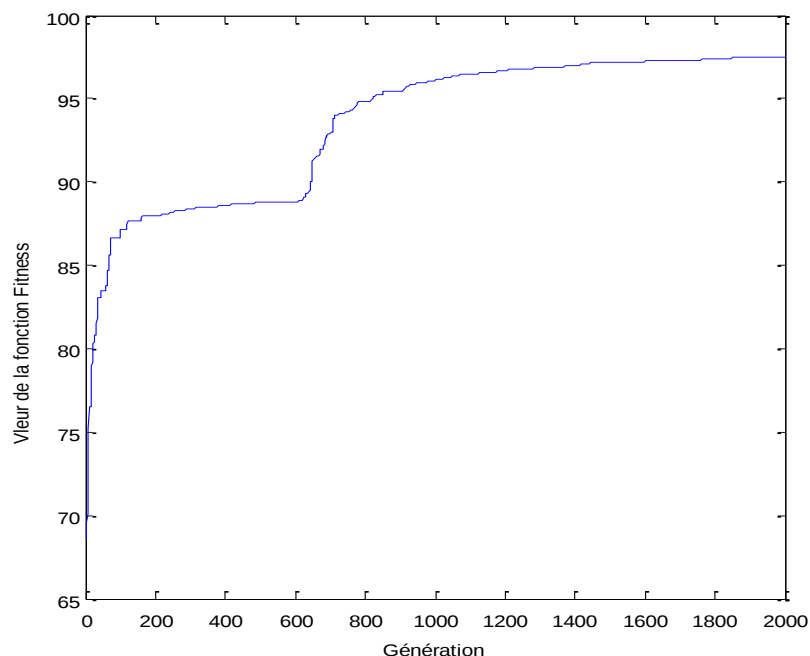


Figure 4. 15 : variation de la fonction fitness.

4.5. Variation du Handover en fonction de la couverture

L'optimisation nécessite de calculer préalablement la variation du Handover c'est-à-dire le taux de mobilité dans la zone de chevauchement. En effet cette contrainte est très importante dans la planification car elle nous permet de voir si les utilisateurs peuvent se déplacer librement sans coupure d'appel tout au long des stations de base déployées. D'après la figure 4.16, nous constatons que plus la couverture augmente plus la valeur du handover augmente. Au départ de la simulation le taux de handover était très faible (durant les premières générations), cette faible valeur est due principalement à un manque de chevauchement des stations de base car la

majorité au départ était superposée donc y a un manque d'intersection entre les stations de base. D'autre part, les paramètres antennaires qui sont choisis n'étaient pas très perfectionnés pour donner un taux élevé. La valeur maximale du handover que nous avons obtenue était de 81%. Une valeur néanmoins médiocre dans les réseaux cellulaires qui devrait atteindre une valeur de 99% (mobilité totale). Pour arriver à ses valeurs l'idéal est de minimiser le nombre de stations de base et augmenter la valeur de la puissance jusqu'à satisfaction de la condition du handover donné précédemment.

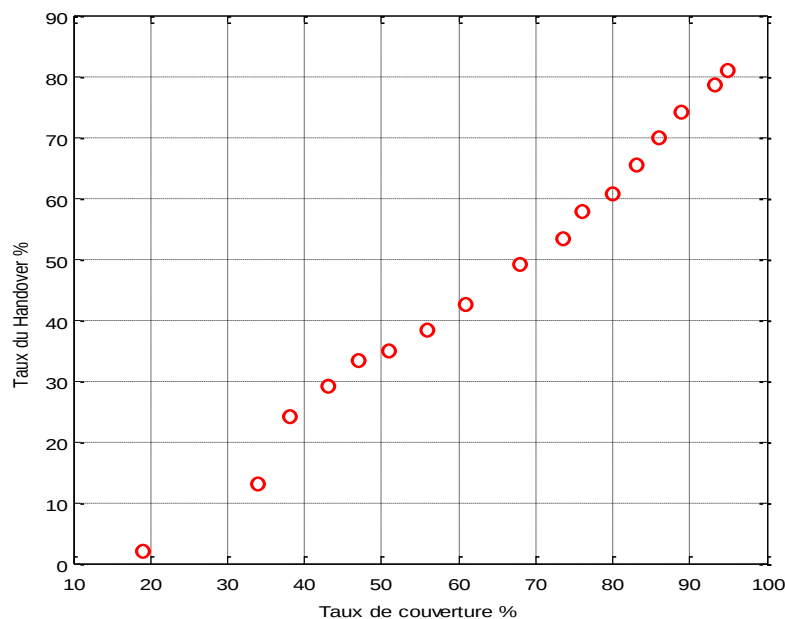


Figure 4. 16: Variation du handover en fonction de la couverture.

4.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu faire des essais sur l'amélioration de la couverture des zones couvertes par une station de base durant notre stage chez Djezzy, et nous avons pu obtenir des résultats performants, en ce qui concerne, l'augmentation du débit du signal, l'amélioration de sa qualité, un meilleur rapport SNRI.

Une autre simulation qui est réalisée sous Matlab par une programmation d'un algorithme génétique qui change les positions des stations de base et le paramétrage des antennes, en produisant des nouvelles générations jusqu'à l'obtention de la meilleure génération qui porte

les meilleurs paramètres dans le but de maximiser la couverture et améliorer le Handover d'une surface géométrique donnée.

Conclusion générale

Ce travail portait sur l'étude de l'influence des paramètres antennaires sur la couverture radio LTE (Long Term Evolution). Au départ, nous avons parlé sur le réseau LTE comme étant la nouvelle générale à la 3G, et en apportant des nouvelles applications, de nouveaux services, ainsi qu'une meilleure gestion.

Ce projet nous a permis de traiter notre problématique proposée dans l'introduction sur la planification du réseau 4G dans le but de maximiser la couverture radio LTE.

D'une part, nos études sont appliquées dans un cas réel sur la ville de Bejaia pour le profit de l'opérateur «Djezzy» à l'aide d'un logiciel de simulation qui s'appelle «U-NET», tel que cette période de stage nous a permis de nous familiariser avec le travail d'Ingénieur radio au sein de l'équipe, d'avoir un contact avec les équipements du réseau 4G, de profiter des outils logiciels disponibles ainsi que de l'expérience de l'équipe de planification et d'optimisation. L'application de dimensionnement de ce logiciel a été implémentée en tenant compte des règles de dimensionnement et de planification des réseaux 4G-LTE. Elle permet, grâce à ces interfaces bien structurées, pour le dimensionnement de couverture et de la capacité, une gestion efficace et une bonne sauvegarde des informations du dimensionnement. Et après le passage par plusieurs simulations, nous sommes arrivés à une amélioration sur la couverture de cette zone en choisissant les paramètres antenne optimale.

D'autre part, nous avons appliqué un algorithme génétique défini dans le chapitre 3 par une programmation Matlab, et la simulation de différents programmes nous a permis d'obtenir à la fin une nouvelle génération des stations de base qui portent des meilleurs paramètres antennaires et qui servent à une maximisation de la couverture d'une région bien définie.

En perspective à ce travail, d'autres travaux plus améliorés pourraient être réalisés. Nous proposons quelques orientations.

Dans notre travail, nous avons pris en considération que la distribution des utilisateurs était fixe, ce qu'on a appelé un modèle de distribution statique. Par contre dans notre cas, nous aurons pu travailler avec un modèle dynamique qui permet la mobilité de l'utilisateur dans la zone à couvrir (urbaine). Dans ce cas, nous allons étudier plus profondément l'aspect l'interférence.

Durant l'application de l'algorithme génétique, nous pourrions utiliser des antennes directionnelles au lieu des antennes omnidirectionnelles, mais dans une condition de prendre en considération le réglage de l'azimut. Comme nous pouvons aussi appliquer un algorithme génétique multi objectif au lieu de mono objectif qui nous permettra d'avoir un pourcentage de couverture plus élevé et de minimiser le coût d'installation du réseau. Un autre cas qui consiste à appliquer le processus de croisement pendant l'application de cet algorithme. Durant cette phase, l'utilisation du croisement à deux points nous permettra d'augmenter le nombre d'itérations, et du coût de doubler le nombre de génération résultantes.

D'autre part, une application des réseaux hétérogènes qui utilise la technique MIMO pour la transmission nous permet d'utiliser des stations de base et des relais plus grand.

Bibliographie

- [1] ZUBEIRI Iman, 'Etude de la capacité des réseaux LTE', Projet de Fin D'Etude, Université de Bejaia ,2014.
- [2] William C.Y, 'Mobile Communication design fundamentals', 2nd Ed, John Wiley & Sons, 1993.
- [3] Lars Ahlin, Jens Zander, 'Principles of Wireless communication', 2nd Ed, studentlitteratur, 1998.
- [4] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA for UMTS - HSPA Evolution and LTE, John Wiley and Sons Ltd, 2010.
- [5] Willian C.Y.Lee, 'Mobile Communications engineering', The Mc Graw-Hill companies 2nd Ed, 1998.
- [6] Jukka Lempiainen, Matti Manninen, 'UMTS Radio Network Planning, Optimization and QOS Management', European Communications Engineering', 2004.
- [7] Jukka Lempiainen, Matti Manninen, 'Radio Interface Planning For GSM/GPRS/UMTS', 2nd ed, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8] Stefano Rini, Shlomo Shamai, 'on the capacity of the dirty paper channel with fast fading and discrete channel states', IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), pp:1-4, 2016.
- [9] David J. Reader, William G. Cowley, 'Blind maximum likelihood sequence detection over fast fading channels', 8th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 1996), pp:1 -4, 1996.
- [10] Ajay R. Mishra, 'Advanced Cellular Network Planning and Optimisation, 2G,2.5G,3G, Evolution 4G', John Wiley & sons, 2007.
- [11] Yen-Hui Yeh, Sau-Gee Chen, 'An efficient fast-fading channel estimation and equalization method with self ICI cancellation', 12th European Signal Processing Conference, pp:449-452, 2004.

- [12] P. Olivier, J. Tiffon, 'Fast-fading characterisation in urban mobile propagation at 855 MHz in Paris', *Electronics Letters*, Volume: 21, Issue: 19, pp: 830 – 832, 1985.
- [13] P. DeGrab, 'Bill and keep at the central office as the efficient interconnection regime', *Federal Communications Commission, Office of Plans and Policy*, 2000.
- [14] A. Gamst, E. G. Zinn, R. Beck and R. Simon, 'Cellular Radio Network Planning', *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, pp: 8-11, 1986.
- [15] M. J. Withers, 'Single-receiver diversity system for reducing the effect of fast fading in mobile radio', *Electronics Letters*, Volume: 20, Issue: 4, Pages: 81 – 92, 1971.
- [16] Sami TAbbane, 'Réseaux mobiles', *Editions HERMES*, Paris, 1997.
- [17] Johann Dréo, Alain Pétrowski, Patrick Siarry, Éric Taillard, 'Méta heuristiques pour l'optimisation difficile', *Ouvrage coordonné par Patrick Siarry*, 2003.
- [18] Moe Rahnema, 'UMTS Network Planning, Optimization, and Inter-Operation with GSM', *John Wiley & Sons*, 2008.
- [19] Channel Models A Tutorial1, V1.0, February 21, 2007, url: https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/channel_model_tutorial.pdf
- [20] MOUSSAOUI Hayat, RAMDANI M.Charif, 'Etude de la planification radio d'un réseau umts' *Projet de Fin D'Etude*, Université Bejaia, 2015.
- [21] site web : http://www.wimo.com/gsm-antennes_f.html
- [22] Alexandre Gondran, 'Modélisation et optimisation de la planification des réseaux locaux sans fil', *Thèse de Doctorat*, Université de Technologie Belfort-Montbéliard, Université de Franche-comté, 2008.
- [23] site web : https://fr.wikipedia.org/wiki/Received_Signal_Strength_Indication
- [24] Sassan Ahmadi, 'LTE-Advanced: A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access technologies', 2013, url: https://books.google.dz/books?id=DTsTAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [25] Ouamri mohamed amine, Abdelkrim Khirdine, 'Base station placement optimization using genetic algortithm', *International journal of aided engineering and technologie*, 2017.

- [26] D. Juan Eulogio Sánchez García, ‘Cost Based Optimization for Strategic Mobile Radio Access Network Planning using Metaheuristics’, Thèse de Doctorat, Université de Alcalá, 2013.
- [27] Raisanen L, Whitaker R.M, ‘Comparison and evaluation of multiple objective genetic algorithms for the antenna placement problem’, Mobile Network and Applications, Vol. 10, pp.79–88, Springer, 2005.
- [28] Ouamri mohamed amine, Zenadji Sylia, Abdelkrim Khirdine, ‘Optimal base station placement in LTE using multi-objective genetic algorithm’, international journal of mobile network and computing, 2016.
- [29] BENHAMA Abdelouhab, BENKHELOUF Yacine, ‘étude comparative des algorithmes génétique multi-objectifs’, mémoire de fin de cycle, université de béjaia, 2014/2015.
- [30] AG algorithme génétique url : http://www8.umoncton.ca/umcm_cormier_gabriel/SystemesIntelligents/AG.pdf .
- [31] CH3 Introduction aux algorithmes génétiques url : https://elearn.univ-ouargla.dz/20132014/courses/INTRODUCTIONAUXMETHO/document/CH_3.pdf?cidReq=INTRODUCTIONAUXMETHO
- [32] chap3 Algorithmes génétiques multiobjectifs url : thesis.iniv-biskra.dz/2124/5/chapitre03.pdf.
- [33] U-Net V500R001C00, Network Planning System, 1999-2016 Huawei Technologies Co.,Ltd All Right Reserved, Product fanil support.huawei.com Feedback md-winss.huawei.com

Résumé

Le réseau de télécommunication connaît des différentes améliorations dans le but de servir au mieux les utilisateurs et répondre aux exigences de trafic. La planification du réseau cellulaire consiste à déterminer, positionner et interconnecter l'ensemble des composantes matérielles et logiciels de ce système, et de les utiliser d'une façon optimale. Son objectif est de définir le concept cellulaire ou bien une solution rentable pour le réseau radio en termes de couverture, de capacité et de qualité de service. Le processus de planification du réseau varie en fonction de la zone à planifier.

L'objectif de ce travail, après une étude théorique approfondie, est d'étudier l'influence des paramètres antennaires (la puissance de transmission et le tilt) et la position de la station de base sur la couverture radio LTE. Pour ce faire, nous proposons une étude d'optimisation du paramétrage dans un cas réel dans des cellules au niveau de la ville de Béjaia, en utilisant le logiciel U-Net dans le but d'améliorer la couverture de cette zone. Après nous appliquons la même étude sur une zone urbaine, en appelant à des modèles et algorithmes métaheuristique dans le contexte de l'optimisation par contrainte. Notre optimisation est appliquée à l'aide d'un algorithme génétique qui suit un ensemble de procédés par itérations, et qui résulte après un ensemble de solutions, d'où le choix de la meilleure solution qui consiste à une génération qui porte les meilleurs paramètres antennaires avec lesquelles nous pouvons atteindre une couverture maximale du réseau LTE. Dans notre cas, nous sommes arrivés à avoir une maximisation de couverture avec un pourcentage de couverture 97%.

Mots-clés : Planification, Optimisation, LTE, Capacité, 4G, Couverture, Antenne, Algorithme génétique.

Abstract

The telecommunication network is experiencing various improvements in order to better serve the users and meet the traffic requirements. The cellular network planning consists in determining, positioning and interconnecting all the hardware and software components of this system, and using them optimally. Its purpose is to define the cellular concept or a cost-effective solution for the radio network in terms of coverage, capacity and quality of service. The network planning process varies depending on the area to plan.

The objective of this work, is to study the influence of antenna parameters (transmission power and Tilt) and the base station position on the LTE radio coverage. However, we propose an optimization study of the parameterization in a real case in cells at the level of Bejaia city, using the U-Net software in order to improve the coverage of this area. After, we apply the same study on an urban area, calling on metaheuristic models and algorithms in the context of constraint optimization. Our optimization is applied using a genetic algorithm that follows a set of iterative processes, and that results after a set of solutions, hence the choice of best solution, which consists of a generation that carries the best parameters antennas with which we can reach maximum coverage of the LTE network. In our case, we managed to have a coverage maximization with a coverage percentage at 97%.

Keywords: Planning, Optimization, LTE, Capacity, 4G, Coverage, Antenna, Genetic Algorithm.

ملخص

شهد شبكة الاتصالات تحسينات مختلفة من أجل تقديم خدمة أفضل للمستخدمين وتلبية متطلبات الحركة. يتألف تخطيط الشبكة الخلوية من تحديد جميع المكونات المادية والبرمجيات لهذا النظام وتحديد وتوصيلها بالشبكة، واستخدامها على النحو الأمثل. والغرض منه هو تعريف المفهوم الخلوي أو حل فعال من حيث التكلفة للشبكة الراديوية من حيث التغطية والسعة وجودة الخدمة. تختلف عملية تخطيط الشبكة حسب المنطقة المراد التخطيط لها.

الهدف من هذا العمل، بعد دراسة نظرية شاملة، هو دراسة تأثير معلمات الهوائي (قدرة الإرسال و الميل) وموقع المحطة الأساسية على التغطية الراديوية للجيل الرابع. للقيام بذلك، نقترح دراسة تحسينية للمعلمات في حالة حقيقية في الخلايا على مستوى مدينة بجاية، باستخدام برنامج U-Net من أجل تحسين تغطية هذه المنطقة. بعد تطبيق نفس الدراسة على منطقة حضرية، داعيا نماذج خوارزمية الأدلة العليا وخوارزميات في سياق تحسين القيد. يتم تطبيق التحسين الخاص بنا باستخدام خوارزمية وراثية تتبع مجموعة من العمليات المتكررة، والتي تنتج بعد مجموعة من الحلول، وبالتالي اختيار أفضل الحلول التي تتكون من جيل يحمل أفضل المعايير هوأنيات يمكننا من خلالها الوصول إلى أقصى تغطية لشبكة الجيل الرابع. في حالتنا، تمكنا من الحصول على أقصى قدر من التغطية بنسبة تغطية 97%.

كلمات البحث: التخطيط، التحسين، LTE، القدرات، الجيل الرابع، التغطية، الهوائي، الخوارزمية الجينية.