

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 : Télécommunications
Spécialité : Système des Télécommunications

Présenté par

AGUENIOU Sonia
HAMMADACHE Dalila

Thème

*Etude de l'influence de la puissance antennaire sur
la couverture dans un réseau LTE*

Soutenu le 28 juin 2018

Devant le Jury

Président	M. KHIREDDINE.A
Examinatrice	Mme. HAMZAOUL.D
Encadreur	M. TOUNSLM
Co-encadreur	M. OUAMRLM.A

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

Nous remercions "Dieu" le tout puissant, de nous avoir accordé le courage, la patience et la volonté pour mener à terme ce travail.

En témoignage de nos profondes reconnaissances, nous devons remercier toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Nous adressons nos reconnaissances et nos remerciements à nos encadreurs M OUAMRI.M.A et M TOUNSI.M de nous avoir honoré par leurs encadrement, pour leurs "disponibilité", leurs orientations et leurs précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions les membres du jury, M KHIREDINE et M^{me} D.HAMZAOUI d'avoir accepté de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi à nos familles et amis qui nous ont prodigué conseils et encouragements.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens, les prières et sacrifices dont ils ont fait preuve à mon égard.

A mes très chères sœurs Lamia, Ouarda, Kenza et ma très cher copine et sœur Sonia

A mon très chers frère Ouahab .

A ma nièce Amina et mon neveu Adam

A mes très chers grands parents

A mes amis qui m'ont toujours soutenu et étaient à mes cotés.

DALILA

Dédicaces

Ce travail est dédié

A la mémoire de ma mère, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours eu pour elle ...

A mon très cher père et aimable nana Atika, pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner, je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A mes frères Djamel, Toufik, Nounour, Ali et Nadjim.

A mes sœurs Karima, Nadia et Randa ma petite chérie.

A Ma belle-sœur et sœur de cœur Melissa..

A tous mes amis et collègues qui m'ont toujours soutenu

Une dédicace spéciale à ma collègue et ma sœur de cœur Dalila, et à Ouali.M, je vous remercie infiniment pour vos soutiens, et je vous présente l'expression de mon amour pur.

Sonia

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Table des matières..... I

Liste des figures et tableaux..... V

Liste des acronymes..... VII

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : VUE D'ENSEMBLE DU RESEAU LTE

I.1 Introduction..... 3

I.2 Le concept cellulaire 3

I.3 Evolution des réseaux cellulaires 4

I.3.1 Première génération de réseaux mobile 4

I.3.2 Deuxième génération de réseaux mobiles 4

I.3.3 Troisième génération de réseaux mobiles 4

I.3.4 La quatrième génération de réseaux mobiles 5

I.4 Caractéristiques fondamentales du réseau LTE 5

I.5 Architecture générale du réseau LTE 6

I.5.1 La partie radio eUTRAN 7

I.5.2 La partie cœur EPC 7

I.5.3 L'IMS (IP MultiMedia Subsystem) 9

I.5.4 Les interfaces du réseau LTE 9

I.6 Technologies clé en LTE 9

I.6.1 La modulation 9

I.6.2 Techniques d'accès multiple 10

I.6.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 10

I.6.2.1.1 L'OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)..... 11



I.6.2.1.2	SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access)	13
I.6.3	Structure de la trame LTE:	13
I.6.3.1	La trame FDD	13
I.6.3.2	La trame TDD	14
I.6.4	Blocks de ressources	14
I.6.5	La technologie MIMO	15
I.7	Conclusion	16

CHAPITRE II : ELEMENTS DE LA PLANIFICATION D'UN RESEAU LTE

II.1	Introduction	17
II.2	Planification d'un réseau LTE	17
II.2.1	La pré-planification	17
II.2.2	Le Dimensionnement	18
II.2.2.1	Planification de couverture	18
II.2.2.2	Planification de capacité	18
II.2.3	Sélection et paramétrage des sites	18
II.2.4	Optimisation	18
II.3	Les paramètres antennaires	18
II.3.1	Le Tilt	18
II.3.2	L'azimut	19
II.3.3	Hauteur d'antenne	20
II.3.4	Puissance d'émission	20
II.4	Le model de propagation	20
II.4.1	Le modèle Okumura Hata	21
II.5	Intensité du champ (field strength)	21
II.6	Handover en LTE	23
II.6.1	Le Handover intervient dans le cas où :	23
II.6.2	Types de transfert dans le réseau LTE	23

II.7	Techniques de maximisation de la couverture et capacité.....	24
II.7.1	Self Organizing Networks (S.O.N).....	24
II.7.1.1	Auto-Configuration	24
II.7.1.2	Auto-optimisation.....	24
II.7.1.3	L'auto-exploitation.....	24
II.7.2	Les réseaux hétérogènes (HetNet)	25
II.7.2.1	Propriétés des stations de base Pico	25
II.7.2.2	Modes d'accès des HeNBs.....	26
II.7.3	IFR1 et IFR3	26
II.8	Conclusion	28
CHAPITRE III : MODELISATION MATHEMATIQUE ET ALGORITHME GENETIQUE		
III.1	Introduction	29
III.2	Problématique.....	29
III.3	Planification de la couverture et de la capacité.....	29
III.4	Optimisation mono-objectif et multi-objectif.....	30
III.4.1	Définitions de base	30
III.4.2	Définition de l'optimisation.....	30
III.4.3	Fonction Objectif.....	30
III.4.4	Variables de décision.....	30
III.4.5	Définition des contraintes	31
III.4.6	Optimisation mono-objectif.....	31
III.4.7	Optimisation multi-objectifs.....	31
III.5	Objectifs et contraintes.....	32
III.5.1	Couverture maximale	32
III.5.2	Contrainte du Handover.....	33
III.5.3	Contrainte des interférences	33

III.6	Optimisation métaheuristique	33
III.6.1	Les métaheuristicques à base de solution unique (S-META)	34
III.6.2	Les métaheuristicques à base de population (P-META)	34
III.6.3	Recherche Tabou	35
III.6.4	Algorithme génétique	35
III.7	Algorithmes génétiques.....	36
III.7.1	Population initiale.....	38
III.7.2	Opérateur de sélection	39
III.7.3	Opérateur de croisement	40
III.7.4	Opérateur de mutation	40
III.8	Conclusion.....	41

CHAPITRE IV : SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1.	Introduction.....	42
IV.2.	Environnement de simulation.....	42
IV.3.	Stratégie algorithmique.....	43
IV.4.	Résultats et discussions.....	43
IV.4.1.	Evaluation de la fonction d’adaptation.....	43
IV.4.2.	Taux de couverture, handover et d’interférences.....	44
IV.4.3.	Puissance reçus au niveau des Users Equipment	45
IV.4.4.	Simulations sur une seule cellule.....	46
IV.5.	Simulations sur des sites tri sectoriels.....	48
IV.6.	Conclusion.....	50
	Conclusion générale.....	51

Bibliographie

Résumé

Liste des figures et tableaux

CHAPITRE I

Figure I.1 : Architecture générale du réseau LTE	6
Figure I.2 : Partie radio E-UTRAN	7
Figure I.3 : Modulations QAM	10
Figure I.4 : Schéma bloc d'un système de transmission OFDM	11
Figure I.5 : Modulation OFDMA	12
Figure I.6 : Technique de transmission OFDMA.....	12
Figure I.7 : Techniques de transmission SC-FDMA.....	13
Figure I.8 : Structure d'une trame FDD	14
Figure I.9 : Structure d'une trame TDD.....	14
Figure I.10 : Grille de ressources temps fréquence	15
Figure I.11 : Modèle d'un système MIMO à N antennes émettrice et M antennes réceptrices	16

CHAPITRE II

Figure II.1 : Processus de planification.....	17
Figure II.2.a : Illustrations du tilt antennaire.....	19
Figure II.2.b : Illustration de l'up tilt et down tilt.....	19
Figure II.3 : Illustration de l'azimut antennaire.....	19
Figure II.4 : Couverture du signal dans le cas des deux hauteurs d'antenne.....	20
Figure II.5 : Modèle de propagation avec paramètres de l'eNodeB.....	21
Figure II.6 : Angle d'incidence entre la station de base et l'utilisateur.....	22
Figure II.7 : Réseau hétérogène (HetNet).....	26
Figure II.8 : Un exemple d'IFR-1.....	27
Figure II.9 : Illustration du principe d'IFR-3.....	28

CHAPITRE III

Figure III.1 : Classification des métaheuristiques	35
Figure III.2.a : Illustration des principes généraux d'une métaheuristique à base de solution unique.....	36
Figure III.2.b : Illustration des principes généraux d'une métaheuristique à base de solutions multiples.....	36
Figure III.3 : Organigramme d'un algorithme génétique	38
Figure III.4 : Représentation d'un chromosome (BS)	39
Figure III.5 : Exemple de roue avec 3 chromosomes.....	39
Figure III.6 : Processus simplifié du croisement.....	40
Figure III.7 : Processus simplifié de la mutation	41

CHAPITRE IV

Figure IV.1 Réseau cellulaire à étudier	44
Figure IV.2 Evaluation de la fonction d'adaptation	45
Figure IV.3 Taux de couverture, handover et interférence à chaque génération	46
Figure IV.4 Variation de la puissance en Watt	47
Figure IV.5 Réseau avec 5 utilisateurs pour chaque station de base.....	47
Figure IV.6 Variation du SINR pour chaque utilisateur en Watt.....	48
Figure IV.7 Puissance reçus pour chaque utilisateur	48
Figure IV.8 Réseau tri sectoriel.....	49
Figure IV.9 Rayonnement antennaire des secteurs de chaque station de base.....	50
Figure IV.10 Changement de puissance de la station de base en haut à gauche.....	51
Tableau IV.1 Puissances optimales à la 2000e génération.....	46

Liste des acronymes

1G	1st Generation of Wireless Communication Technology
2G	2sd Generation of Wireless Communication Technology
3G	3rd Generation of Wireless Communication Technology
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	4th Generation of Wireless Communication Technology
AVDL	Antenna Vertical Diagram Loss
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Cyclic Prefix
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
EPC	Evolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transform
GA	Genetic Algorithm
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HetNet	Heterogeneous Networks
HSS	Home Subscriber Serve
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access +
ICI	Inter-Cell Interference
IMS	IP MultiMedia Subsystem
IFR	Integer Frequency Reuse

IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
INTER-RAT	Inter-Radio Access Technology
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Management Entity
NGN	Next Generation Network
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDN-GW	Packet Data network Gateway
P-GW	Packet-Switch Gateway
PRBs	Physical Resource Blocks
P-META	Population Metaheuristic
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RE	Resource Element
RF	Radio Frequency
RNC	Radio Network Controller
RSS	Received Signal Strength
S1-C	S1 Control Plan
S1-U	S1 User Plan
SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access
SGW	Serving Gateway
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
S-META	Single Métaheuristiques
SMS Short	Message Service
SON	Self Organization Network
TDD	Time Division Duplexing
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System

VoIP

Voice over IP

WCDMA

Wideband Code Division Multiple Access

WIMAX

World Wide Interoperability for Microwave Access

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les réseaux radio mobiles ont connu durant les dernières décennies des évolutions de toutes parts et les opérateurs ne cessent d'offrir de nouvelles gammes de services. À peine qu'une nouvelle génération voit le jour, que des recherches sont conduites sur la prochaine, afin de répondre à la forte demande de nouveaux services et la croissance du nombre d'utilisateurs. Il est bien clair donc que l'évolution de ce secteur n'est pas prête de ralentir.

Le standard IMT-Advanced défini par l'UIT-R a imposé de nouvelles exigences en termes de débits de transmissions, latence, efficacité spectrale, capacité et fiabilité. Cela dit en garantissant toujours une qualité de service appréciable, et qui constituent les fondements des réseaux 4G-LTE.

La norme LTE a été développée et adaptée aux exigences précitées. Plusieurs techniques ont été proposées tels que le déploiement des relais, l'utilisation des techniques d'antennes avancées MIMO (Multiple Input Multiple Output), l'introduction des HetNet (Heterogeneous Network), ainsi que de nouveaux concepts définis comme la technique SON (Self Organizing Network).

Afin de déployer un réseau LTE, les phases de dimensionnement et de planification sont essentielles et garantissent une étude fiable du réseau avant la réalisation. Après ces étapes viennent le paramétrage des sites et l'optimisation du fonctionnement du réseau. C'est dans ce cadre que s'intègre la thématique de notre présente étude.

L'optimisation d'un réseau LTE est devenue un enjeu fondamental pour les opérateurs des réseaux mobiles. Plusieurs travaux de recherche sont réalisés pour essayer de répondre et d'assurer un ou plusieurs objectifs comme la réduction du nombre de sites à déployer, entretenir une bonne qualité de service, optimiser le partage des ressources spectrales, optimiser la capacité et la couverture du réseau ...etc. Notre travail s'insère dans ce dernier aspect à savoir ajuster des paramètres antennaires pour assurer la meilleure couverture tout en

garantissant un niveau d'interférences acceptable. Il s'agit plus exactement de déterminer la puissance antennaire optimale pour ce double objectif en nous aidant de la puissance des algorithmes génétiques.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude générale du réseau LTE, à savoir les caractéristiques fondamentales de ce réseau.
- Le deuxième chapitre traite le problème de planification d'un réseau LTE. Les techniques d'optimisation de couverture sont abordées sous un angle général en fin de ce chapitre.
- Le troisième chapitre porte sur le développement mathématique de notre problématique, à l'aide d'un algorithme d'optimisation métaheuristique qui est l'algorithme génétique.
- Le dernier chapitre va étaler les résultats de nos simulations réalisées sous MATLAB ainsi que leurs interprétations.

Nous terminons par une conclusion générale dans laquelle seront présentées les perspectives à ce travail puis par les références bibliographiques utilisées.

CHAPITRE

I

I.1 Introduction

Plusieurs normes radio-mobiles ont marqué l'histoire des réseaux cellulaires depuis les années 1980, chacune apportant plus de performances que sa précédente et induisant un changement d'appellation en générations 1G, 2G, 3G et 4G quand l'évolution est majeure.

LTE (*Long Term Evolution*) est la norme de la quatrième génération 4G des communications radio mobiles, définie par l'organisme de normalisation 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) sous l'égide du groupe IMT-2000.

Un rappel court sur les réseaux cellulaires précédents la technologie LTE avant d'étaler l'état actuel de cette dernière, nous semble intéressant afin de savoir de quoi nous sommes parties pour mieux nous positionner à l'heure actuelle.

I.2 Le concept cellulaire

Le principe des réseaux cellulaires est de diviser une zone géographique en cellules adjacentes chacune couverte par une station de base à laquelle est attribuée une ressource radio pouvant être réutilisée dans plusieurs cellules suffisamment distantes pour éviter les interférences intercellulaires.

La structure de la zone couverte (zone rurale, zone urbaine...etc.) est un facteur important vu la diminution de la portée qui est causée par des obstacles sur le chemin des faisceaux hertziens. La taille et la forme de la cellule dépendent de plusieurs facteurs tel le nombre d'abonnés (plus il est grand, plus petite sera la taille de la cellule), cela est dû à la capacité limitée des antennes. Pour garantir une bande passante minimale à chaque abonné, nous ne pouvons autoriser qu'un nombre limité d'abonnés par antenne.

Une cellule est de la forme d'un hexagone, or, il est le motif géométrique le plus proche d'un cercle qui assure un maillage rythmé. Pratiquement, il existe des zones de recouvrement entre cellules adjacentes, qui créent des interférences intercellulaires.

Plusieurs catégories de cellules peuvent être distinguées en fonction de leurs rayons de couverture, puissances d'émission de leurs stations de base et le trafic.

- Les cellules macro sont des cellules larges (quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres). Elles peuvent atteindre une puissance de 46 dBm pour 10MHz de largeur de bande. Leurs antennes sont placées sur des points hauts.
- Les cellules micro ont un rayon de quelques dizaines à une centaine de mètres, utilisées pour compléter la couverture des cellules macro dans des zones denses ou mal couvertes.

- Les cellules pico peuvent servir à couvrir des grandes zones intérieures. Leurs antennes peuvent être placées comme celles des stations de base micro.
- Les cellules femto sont de petites cellules d'une dizaine de mètres de rayon, principalement destinées à couvrir une habitation. Elles sont communément utilisées à l'intérieur des bâtiments.

I.3 Évolution des réseaux cellulaires

I.3.1 Première génération des réseaux mobiles

A vu le jour durant les années 1980, elle offrait des services de téléphonie mobile médiocres et très coûteux. Cette technologie avait beaucoup de défauts : Des normes incompatibles d'une région à une autre, un système de transmission analogique non sécurisé, pas d'itinérance internationale (Roaming), des appareils volumineux. Tous ces inconvénients ont limité la durée d'exploitation de cette technologie, surtout avec l'apparition de la seconde génération.

I.3.2 Deuxième génération de réseaux mobiles

Le GSM (Global System for Mobile communications) a été commercialisé dans les années 1990, il s'agit de la norme 2G. Elle offre des services de type voix en mobilité et des SMS (Short Message Service) limités au début à 70 Caractères. Cette norme mondiale s'appuie sur les transmissions numériques qui garantissent la sécurité des communications (cryptage). La 2G a apporté des progrès comme la possibilité du *Roaming*, meilleure qualité des communications, grande capacité tout en réduisant le coût d'accès au service et avec réduction de la taille des terminaux.

Toutefois, l'insuffisance du débit maximal proposé (9.6 kb/s) pour permettre la fluidité et la rapidité d'accès aux services de données, et à mesure que l'exigence d'envoyer des données sur l'interface radio augmentait, ont poussé à l'introduction du GPRS (General Packet Radio Service). Nous parlons généralement de 2.5G pour classer ce standard, qui permet d'envoyer des données par paquets sur l'interface radio et un accès sans fil à Internet avec un débit pouvant atteindre 150 kb/s dans les conditions optimales.

En complément à cette progression le EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) fut introduit avec objectif d'augmenter les débits offerts surtout avec le trafic de voix et de données qui bouge sur le système. Ce qui a été fait en utilisant des méthodes de codage plus sophistiquées sur internet et en améliorant les techniques d'accès radio, en augmentant ainsi le débit jusqu'à 384 kb/s.

I.3.3 Troisième génération de réseaux mobiles

Représente la norme UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Elle a introduit des applications vidéos sur le mobile et amélioré la qualité de service du multimédia, avec

contrainte qui était de passer d'un service de téléphonie (à commutation de circuits) vers un service DATA (commutation de paquets). Avec des débits aux alentours de :

- 2 Mbit/s pour un déplacement de l'ordre de 10 km/h
- 384 kbit/s pour un déplacement de l'ordre de 120 km/h
- 144 kbit/s pour un déplacement de l'ordre de 500 km/h

L'UMTS a connu deux améliorations majeures : HSPA (High Speed Packet Access) avec un débit de données de 14.4Mbps; et le HSPA+ (High Speed Packet Access +) qui a atteint les 42 Mb/s.

I.3.4 La quatrième génération de réseaux mobiles

Par abus de langage, le LTE est considéré comme étant la 4G, en réalité, il est une norme dite 3.9G, car il ne répond pas aux spécifications imposées par la norme 4G. D'un point de vue technique, il y a peu de différence entre le LTE (3.9G) et le LTE-Advanced (4G). Ceci n'est donc qu'une question d'étiquettes. Ce qui est important, ce sont les capacités réelles du système et leur évolution.

LTE fournit des extensions et des modifications, définit une nouvelle technique d'accès multiple, offre des services de haut débit (100 Mbit/s en DL et 50 Mbit/s en UL) et une architecture de système pouvant satisfaire ces exigences.

LTE a émergé vers les réseaux tout IP, il englobe un ensemble d'exigences agressives visant à améliorer le débit de l'utilisateur final, la capacité de la cellule et à réduire la latence du plan de l'utilisateur. Ces exigences, associées à une mobilité totale, apporteront des avantages substantiels à l'expérience utilisateur.

I.4 Caractéristiques fondamentales du réseau LTE

Les principaux facteurs de développement du réseau LTE sont :

- Des débits de données élevés (100 Mbit/s descendant et 50 Mbit/s montant) pour une latence plus faible (moins de 5 ms pour les petits paquets IP).
- Extension de la bande passante de 1.4 à 20 MHz dans le UL et DL.
- Meilleure efficacité spectrale avec l'introduction de la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), l'opérateur peut couvrir une plus grande densité de population en exploitant une bande de fréquence identique à la 3G.
- Optimisation automatique du réseau : Les équipements 4G se configurent automatiquement pour améliorer la qualité de services offerts, en particulier une plus grande flexibilité de l'utilisation du spectre.
- Architecture simplifiée permettant d'améliorer l'extensibilité du réseau.

- Mobilité transparente qui doit être comprise entre 120 et 350 km/h et au-delà de la grande vitesse, le Handover pourra s'effectuer.
- Architecture « tout IP », il y a une partie significative du travail de 3GPP pour convertir l'architecture réseau du cœur vers une architecture tout IP, envisagée pour simplifier l'interfonctionnement avec les réseaux filaires et les réseaux sans fils non-3GPP.
- Consommation d'énergie raisonnable pour le terminal mobile.
- Coexistence et Interfonctionnement avec la 2G et la 3G [1].

I.5 Architecture générale du réseau LTE

L'architecture du réseau LTE est conçue dans le but de prendre en charge le trafic à commutation de paquets avec une mobilité transparente, une bonne qualité de service et une latence minimale.

Une approche à commutation par paquets permet de prendre en charge tous les services, y compris les connexions vocales par paquets, il en résulte une architecture plate très simplifiée, composée, comme tous les réseaux mobiles des parties suivantes :

- L'UE (User Equipment ou équipement d'abonné).
- L'E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) qui constitue le réseau d'accès.
- L'EPC (*Evolved Packet Core*) qui représente le réseau cœur.
- L'IMS (*IP MultiMedia Subsystem*).

Ces parties sont illustrées dans la figure qui suit :

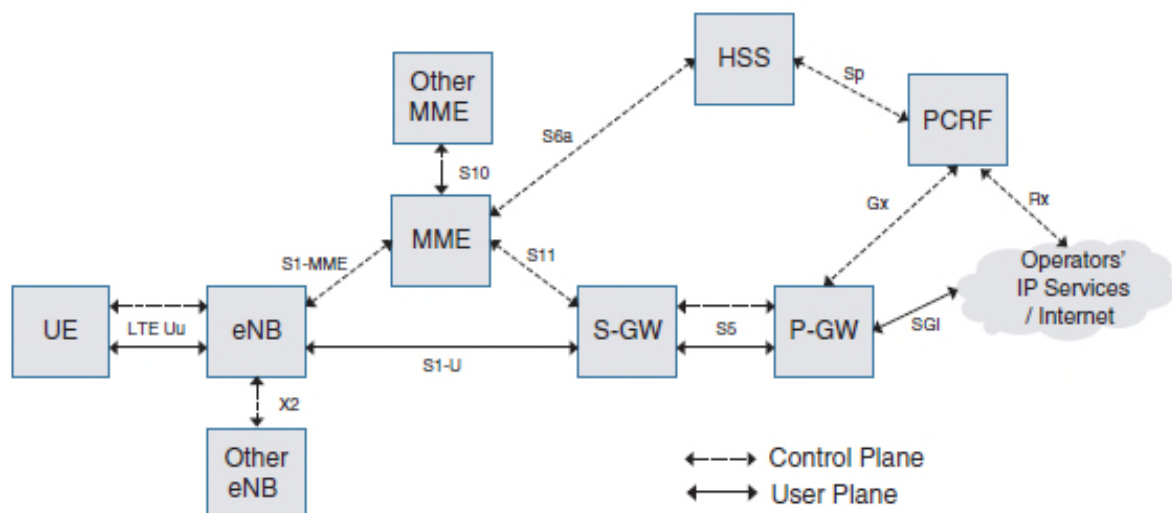


Figure I.1 : Architecture générale d'un réseau LTE

- **UE (User Equipment) :** Les équipements mobiles doivent être compatibles au réseau 4G, cela pour permettre l'accès au réseau et à ses services.

I.5.1 La partie radio eUTRAN

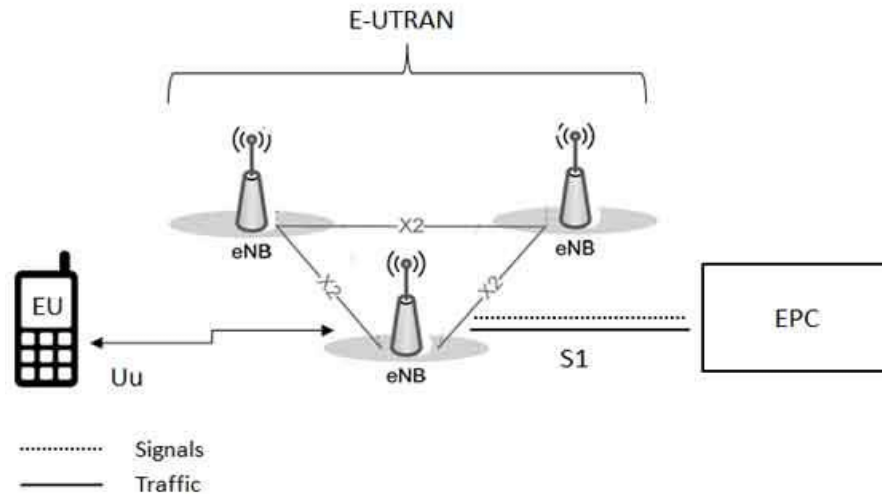


Figure I.2 : Partie radio E-UTRAN

Cette partie permet l'accès et l'acheminement des données vers le cœur du réseau. Comme la montre la figure ci-dessus, elle est constituée d'un nœud unique EvolvedNodeB ou **eNodeB** qui a pour fonction principale la gestion de la ressource radio avec le UE, c'est l'équivalent du NodeB et du RNC (UMTS) et BSC (GSM). Par ailleurs, le rôle de ces contrôleurs est réparti entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW.

I.5.2 La partie cœur EPC

Le réseau cœur (EPC) est défini par le groupe 3GPP pour être asservi par LTE et d'autres technologies d'accès. Le but de l'EPC est d'accorder une architecture tout-IP simplifiée du réseau, comme il garantit la mobilité entre 3GPP et non 3GPP (WIMAX et CDMA2000), il assure la gestion de la qualité de service et de la sécurité.

L'EPC se constitue des entités suivantes :

L'entité MME (Mobile Management Entity)

Entité de contrôle des nœuds dans le réseau d'accès de LTE, chargée de :

- La signalisation entre les nœuds du réseau cœur pour assurer la mobilité entre les réseaux d'accès 3GPP.
- La sélection de MME durant un handover avec changement de MME.
- La sélection du nœud Serving (SGSN) durant le handover vers un réseau d'accès 2G ou 3G.
- Dialoguer avec le HSS de manière à recueillir les profils et les données de sécurité des UEs pour les authentifier.
- Gérer la signalisation et l'authentification entre les terminaux (UE) et l'EPC.

- Sélectionner le PGW et le SGW pour le transfert des données lors de la connexion au réseau.
- Négocier la qualité de service à fournir.
- Diffuser les messages de paging quand l'UE est dans l'incapacité de recevoir les paquets qui lui sont dédiés.

Entité SGW (Serving Gateway) :

Ce routeur est une jonction principale entre les eNodeB et l'EPC, chargé du routage des paquets de données de l'utilisateur dans les deux sens montant et descendant par le biais de l'interface S1-U. Il permet aussi de :

- Échanger des paquets avec le PDN-GW par l'interface S5.
- Assurer la comptabilité des données entrantes et sortantes avec les autres opérateurs.
- Responsable de la commutation des stations de base lors d'un Handover inter-e-NodeB, même lorsqu'il s'agit d'un passage d'un réseau LTE et les systèmes mobiles de différentes générations, comme l'UMTS.
- Stocker l'adresse des données descendantes jusqu'à ce que l'utilisateur devienne actif pour les recevoir.

Entité P-GW (Packet-Switch Gateway)

- Assurer la connectivité de l'utilisateur mobile aux autres réseaux PDN, tels que les réseaux IP externes (internet).
- L'allocation d'adresses IP pour chaque Terminal mobile.
- Le filtrage des paquets pour chaque usager, et comptabilise les octets échangés dans la session de ce dernier à des fins de facturation.

Il peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l'accès à des PDNs multiples.

Entité HSS (Home Subscriber Server)

En LTE, le HSS est une amélioration du HLR des réseaux mobiles précédents, il permet de stocker les informations d'abonnement pouvant servir au contrôle des appels et à la gestion de session des utilisateurs réalisée par le MME et toutes les informations concernant les abonnés.

Entité PCRF (Policy and Charging Rules Function)

Utilisée pour la gestion de la qualité de service que demande le réseau, et attribue par conséquent les bearers appropriés. Elle s'occupe aussi de la taxation selon la demande de l'utilisateur[2].

I.5.3 L'IMS (IP Multimedia Subsystem)

Cette partie offre des services sur IP fixe et mobile. Les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de Roaming) que depuis chez eux. Cette architecture utilise la technologie VoIP (Voice over IP).

Elle permet d'établir des sessions multimédias indépendamment du type d'accès à Internet utilisé. Elle est aussi capable de supporter, sur un réseau tout IP dans une même session, des applications en temps réel telles que la voix et la vidéo, et des applications non-temps réel tel que le Push to Talk et la messagerie instantanée [1].

I.5.4. Les interfaces du réseau LTE

Uu : entre le UE et l'eNodeB.

X2: unique au réseau LTE, se charge du Handover entre les eNodeB du réseau d'accès E-UTRAN et le réseau cœur EPC.

S1 : entre le réseau d'accès E-UTRAN et le réseau cœur EPC et se compose de deux sous interfaces :

S1-C (S1-Contrôle) : entre l'eNodeB et le MME, chargée des signalisations de contrôle.

S1-U(S1- Usager) : entre l'eNodeB et le SGW pour l'acheminement du trafic entre les utilisateurs connectés à cette station et le réseau cœur.

S5/S8: entre SGW et PGW.

S11: entre SGW et MME.

S6a : entre MME et HSS, utilisée par le MME pour chercher les souscriptions et les informations d'authentications dans le HSS.

I.6 Technologies clé en LTE

I.6.1 La modulation

Nous utilisons pour le réseau LTE une modulation adaptative, c.-à-d. variant en fonction de la distance qui sépare l'abonné de l'eNodeB. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de différents niveaux de modulation.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 4QAM, 16-QAM et 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Le choix exact de la modulation appropriée s'effectue selon les conditions dominantes, par exemple les modulations d'ordre supérieures sont utilisées dans le cas de signaux à SNR suffisant.

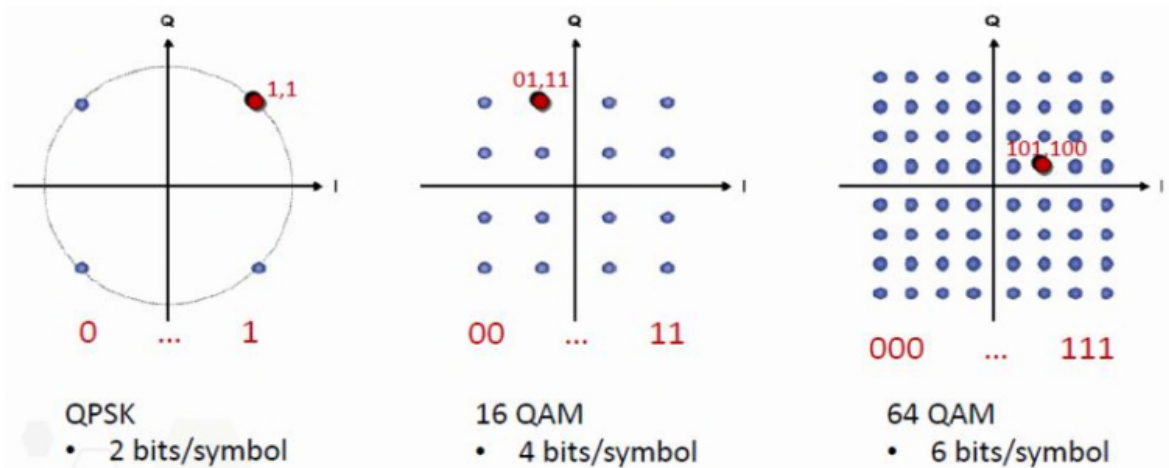


Figure I.3 : Modulations QAM

Les constellations représentées dans la figure ci-dessus indiquent le nombre de bits pouvant être transmis à la fois. Un grand nombre de points de constellations assure un meilleur débit binaire, mais une faible robustesse, cependant, un nombre diminué de points permet un débit plus faible mais plus robuste (moins sensible aux interférences). La fiabilité de la transmission est donc assurée en générant moins d'erreurs binaires.

La modulation en LTE est essentielle pour l'utilisation de la technologie OFDM et des technologies d'accès associés.

I.6.2 Techniques d'accès multiple

En LTE les techniques d'accès utilisés pour la transmission sont basées sur l'utilisation de l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour les liaisons descendantes, et SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access) pour les liaisons montantes.

I.6.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

L'OFDM est une technique de transmission de données qui repose sur une modulation multi porteuses, elle permet de réaliser une liaison fiable et sûre, sur une bande de fréquence peu encombrée.

Elle présente une bonne solution pour les trajets multiples et lutte contre les interférences entre symboles (IES) et la suppression des interférences intercellulaires. Elle se base sur la transformée de Fourier rapide qui permet la division de la bande de transmission en sous-bandes orthogonales.

La figure ci-dessous illustre le schéma d'un modulateur OFDM : S/P et P/S représente les convertisseurs série-parallèle et parallèle-série, le bloc {dn} représente le symbole OFDM où on va insérer un préfixe cyclique (CP) en ajoutant dans le domaine temporel un intervalle de garde au début du symbole OFDM.

Le préfix cyclique est une répétition de la fin du symbole OFDM pour assurer l'orthogonalité entre les sous porteuses pour l'absorption des répliques du signal dues aux trajets multiples.

L'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) est utilisée en émission pour la modulation et la FFT ou transformée de Fourier rapide pour la démodulation.

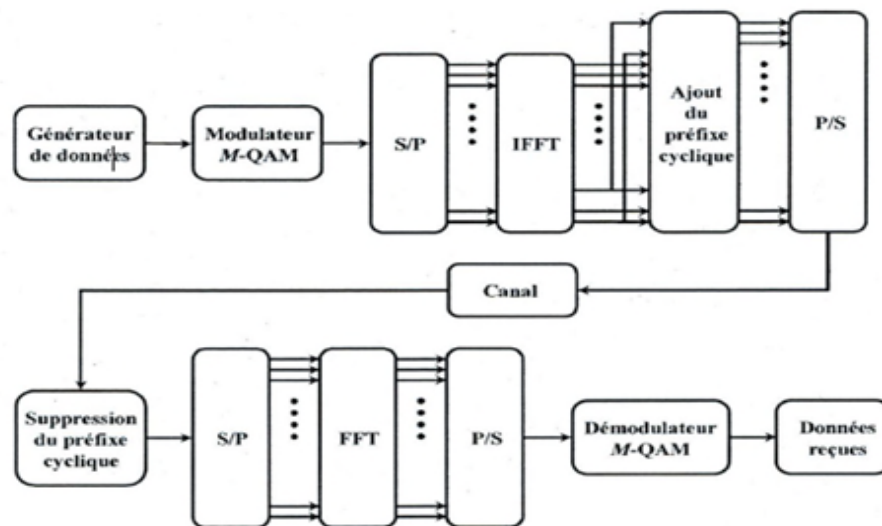


Figure I.4 : Schéma bloc d'un système de transmission OFDM

I.6.2.1.1 L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)

C'est une dérivée de l'OFDM utilisée pour la transmission en sens descendant LTE, basée sur un codage et modulation numérique.

En OFDMA la bande passante du système est découpée en sous-porteuses qui permettent de multiplexer facilement différents utilisateurs simultanément. Elle présente un faible temps de latence et résiste mieux aux interférences, offre un meilleur débit avec la même largeur spectrale vue la diversité fréquentielle et la robustesse multi trajet.

Le principe de l'OFDMA est d'utiliser des signaux orthogonaux pour les sous-porteuses contigües, il évite les interférences mutuelles et répartie sur un grand nombre de sous-porteuses le signal

numérique que l'on veut transmettre, ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7 s pour le LTE), cela limite les problèmes d'interférences inter symboles et de fading.

La technique OFDMA a permis d'introduire trois types de sous-porteuses :

- Sous porteuses pilotes pour la synchronisation et l'estimation du canal.
- Sous porteuses de données pour la transmission de données.
- Sous porteuses nulles au symbole pour lutter contre l'interférence Co-canal.

Le principe de la modulation OFDMA est illustré dans la figure suivante :

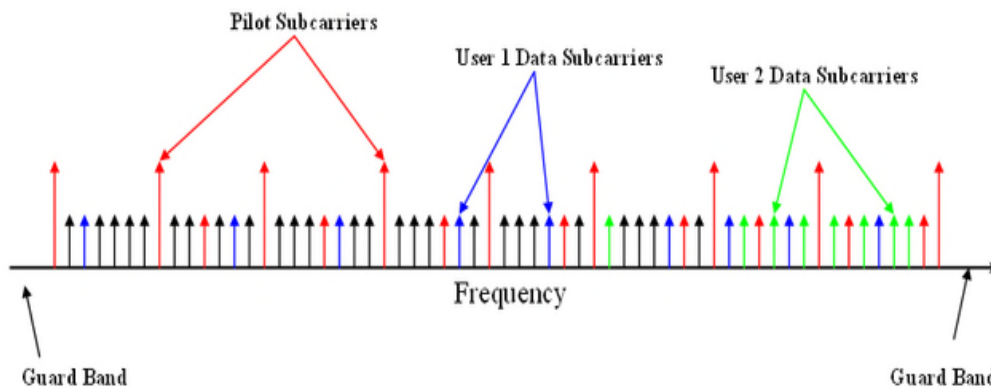


Figure I.5 : Modulation OFDMA

L'inconvénient majeur de l'OFDMA est le fort PAPR (Peak to Average Power Ratio) engendré. Ce défaut est réduit dans la voie descendante, car l'amplificateur de puissance de l'eNodeB est de bonne qualité et la station de base dispose d'une grande puissance. Or, la contrainte énergétique est plus problématique sur la voie montante, car l'amplificateur des terminaux doit rester à un prix raisonnable et ces derniers doivent diminuer leurs consommations électriques ainsi que l'autonomie de leurs batteries, tout cela sans trop affecter la couverture en bordures de cellules.

La norme a donc prévu une technique de transmission avec PAPR réduit sur la voie montante qui est l'SC-FDMA [3]. Le principe de la technique OFDMA est illustré dans la figure ci-après :

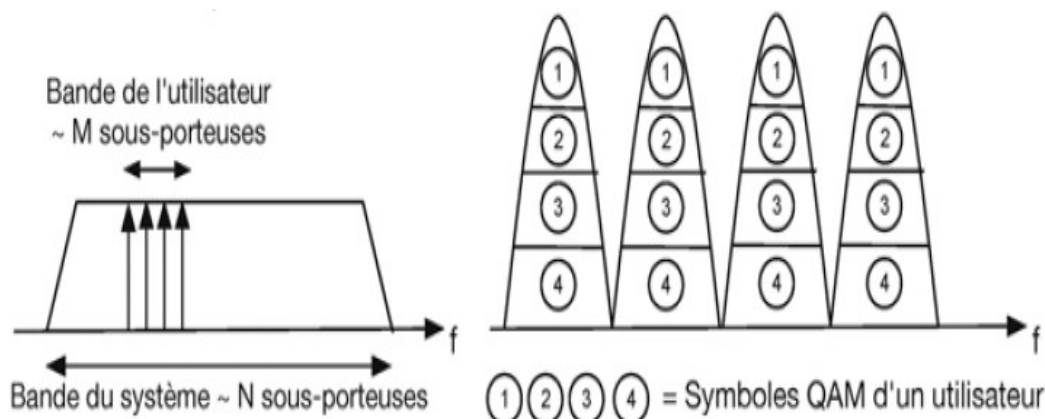


Figure I.6 : Technique de transmission OFDMA

I.6.2.1.2 SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access)

SC-FDMA est une variante de l'OFDM. Or, pour réaliser un modulateur SC-FDMA un pré codage des symboles à transmettre est rajouté par rapport au modulateur OFDM.

L'SC-FDMA conserve la plupart des propriétés utiles de l'OFDM, comme la possibilité de multiplexage en fréquence de plusieurs UE.

Contrairement à l'OFDM, chaque sous-porteuse transporte des informations relatives à tous les symboles transmis, car la FFT a eu pour effet d'étaler chaque symbole QAM sur M sous- porteuses. Pendant la durée d'un symbole OFDM, chaque sous-porteuse transporte un unique point de la constellation QAM. La figure suivante illustre le principe de la technique SC-FDMA

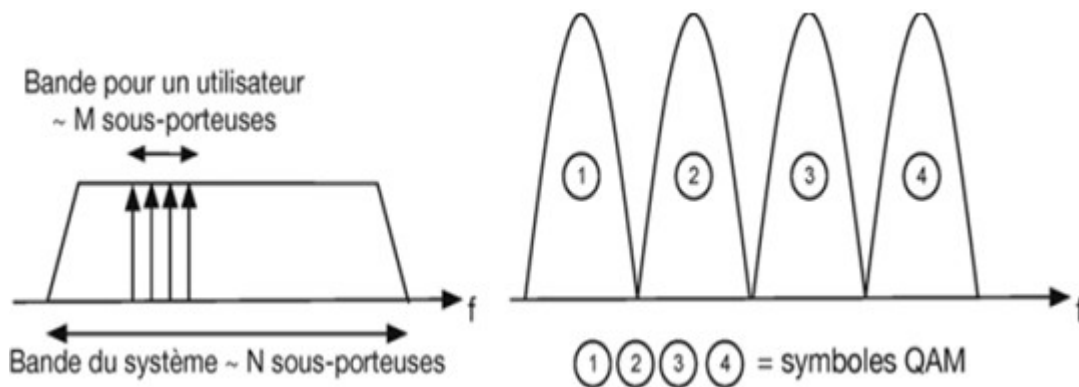


Figure I.7 :Techniques de transmission SC-FDMA.

En SC-FDMA, M points de la constellation QAM se succèdent pendant la durée $TSymb$ et occupent chacun l'ensemble des M sous-porteuses. A un instant donné, un unique symbole QAM est donc transporté par le signal SC-FDMA, d'où le préfixe SC pour *single Carrier*. C'est cette propriété qui maintient le PAPR faible, car il est le même que celui obtenu après une modulation QAM et quelques soit le nombre de sous-porteuses considérées. Au contraire, en OFDM, le PAPR augmente avec la taille de la FFT [1].

I.6.3 Structure de la trame LTE:

Les structures de trames pour les réseaux LTE diffèrent entre les modes duplex TDD et FDD, cette différence est due aux exigences différentes sur la séparation des données transmises.

Nous distinguons deux types de structures de trames LTE : trame FDD et trame TDD.

I.6.3.1 La trame FDD

La trame TDD en LTE est de longueur totale de 10ms. Elle est divisée en 20 slots individuels. Chaque sous-trame se compose de deux slots, donc il y a dix sous-trames LTE au sein d'une trame. Dans ce cas la transmission des données Uplink et Downlink se fait dans deux canaux différents.

La structure de la trame LTE FDD est montrée dans la figure ci-dessous :

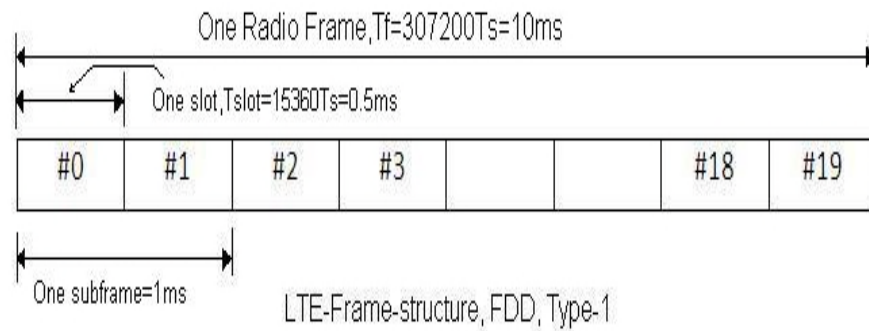


Figure I.8 : Structure d'une trame FDD

I.6.3.2 La trame TDD

Sa structure diffère un peu de la structure de la trame FDD. Les 10 ms de la trame forment deux demi-trames de 5ms. Chaque demi-trame divisée en cinq sous-trames, de 1ms chacune. Dans ce cas les transactions de données Uplink et Downlink se font en même bande.

La structure de la trame en mode TDD est illustrée dans la figure suivante :

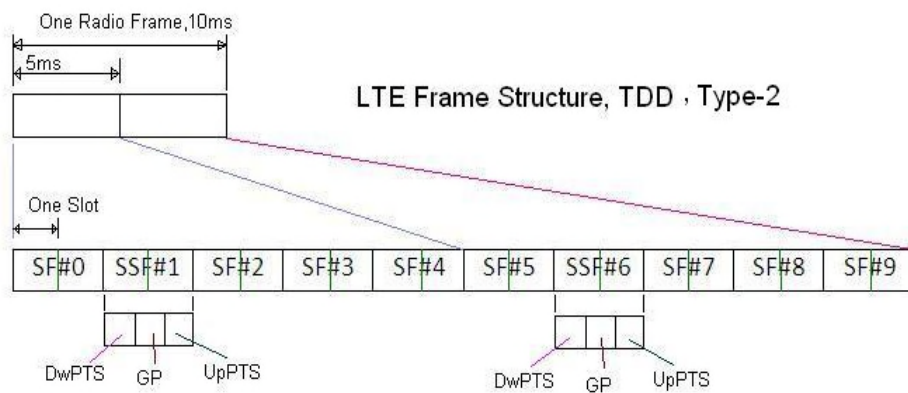


Figure I.9 : Structure d'une trame TDD

Les sous-trames peuvent être divisées en sous-trames spéciales composées de trois champs.

- DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) : utilisée pour la synchronisation de la voie descendante.
- UpPTS (Uplink Pilot Time Slot) : utilisée pour la synchronisation de la voie montante.
- GP (Guard Period) : assure la transmission de l'UE.

I.6.4 Blocks de ressources

En LTE, le planificateur de la station de base attribue aux utilisateurs un nombre précis de sous-porteuses dans la grille temps/fréquence, appelées blocs de ressources physiques (PRBs,

Physical Resource Blocks). Le PRB est le plus petit élément d'allocation de ressources telles que les données sont allouées aux utilisateurs en termes de blocks.

Un PRB est constitué de 12 sous-porteuses en domaine fréquentiel, chacune de largeur 15 KHz, en tout 180 KHz, et d'un Time Slot dans le domaine temporel. Autrement dit 6 ou 7 symboles selon la taille du préfixe cyclique(PC). Comme indiqué dans la figure suivante :

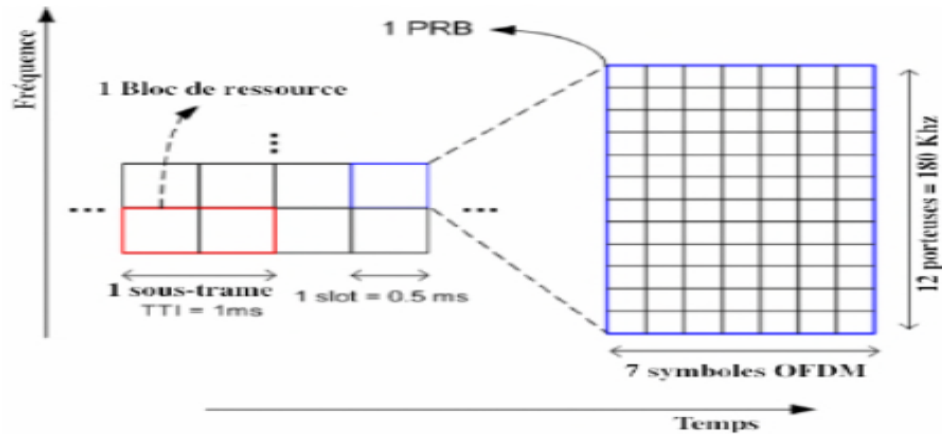


Figure I.10 Grille de ressources temps fréquence

Un élément de ressource RE (Resource Element) est formé par une seule sous-porteuse et un seul symbole dans le domaine temporel, d'où il ne peut contenir qu'un seul symbole de modulation (QPSK, 16QAM, 64QAM). Le nombre total de sous-porteuses disponibles dépend de la largeur de bande de transmission globale du système [2].

I.6.5 La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output)

C'est une technologie qui utilise plusieurs antennes tant au niveau de l'émetteur que du récepteur. Vu les exigences sur la couverture, la capacité et des débits de données, l'intégration de MIMO dans la couche physique LTE est primordiale.

Le principe de base MIMO utilise la propagation du signal par trajets multiples, ces voies peuvent être mises à profit au lieu de fournir des interférences.

La technologie MIMO permet la réception et l'émission simultanées de données et la suffisance de la bande passante fournie pour l'usage de plusieurs applications Internet simultanément. Tout cela en améliorant le débit, augmentant l'efficacité spectrale, et diminuant la probabilité de coupure du lien radio, etc.

La technique MIMO peut être utilisée pour optimiser les performances du système, améliorer la capacité et la couverture du système, ainsi que pour offrir une meilleure qualité de service.

Le schéma de base de la technologie MIMO est représenté comme suit :

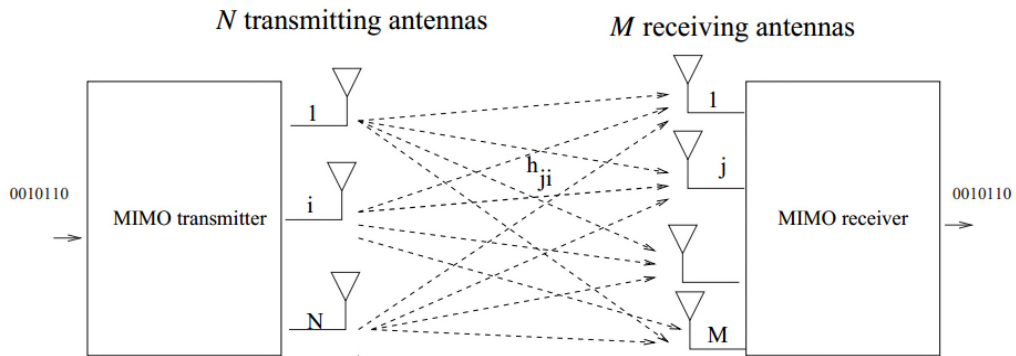


Figure I.11: Modèle d'un système MIMO à N antennes émettrices et M antennes réceptrices

I.7 Conclusion

Ce chapitre a présenté une vue d'ensemble de la technologie LTE, à savoir, son architecture, ses caractéristiques et les technologies clé employées.

Dans le chapitre suivant, le processus de planification du réseau LTE, les paramètres antennaires et les techniques de maximisation de la couverture (réseau hétérogène, le SON...etc.)seront abordés.

CHAPITRE

II

II.1 Introduction

En général, la planification fait intervenir plusieurs processus ayant chacun un niveau différent de complexité.

L'objectif de ce chapitre est d'introduire les notions d'optimisation et plus exactement, les techniques de maximisation de la couverture radio. Parmi ces techniques, l'optimisation du SON (self organization network) qui permet l'auto-configuration, l'auto-optimisation et l'auto-exploitation des équipements des réseaux mobiles. Les techniques IFR1 et IFR3 qui désignent les méthodes traditionnelles de réutilisation de fréquence seront aussi étalées, ainsi qu'un mécanisme évolutif HetNet (réseaux hétérogènes) déployé en matière d'exigence de couverture et de capacité.

Nous allons introduire une partie sur le problème d'affectation de puissance après avoir abordé quelques notions sur les paramètres antennaires.

II.2 Planification d'un réseau LTE

La planification est une tâche complexe, mais cruciale lors du déploiement d'un réseau LTE. En effet, l'opérateur doit se concentrer sur elle avant la mise en œuvre de son réseau afin d'optimiser le coût de déploiement. Le processus entier peut se résumer en 4 grandes phases dont la planification de couverture et de capacité en LTE, qui se font de façon conjointe, en une seule tâche, appelée dimensionnement. Un processus simple des étapes de planification est illustré ci-dessous :

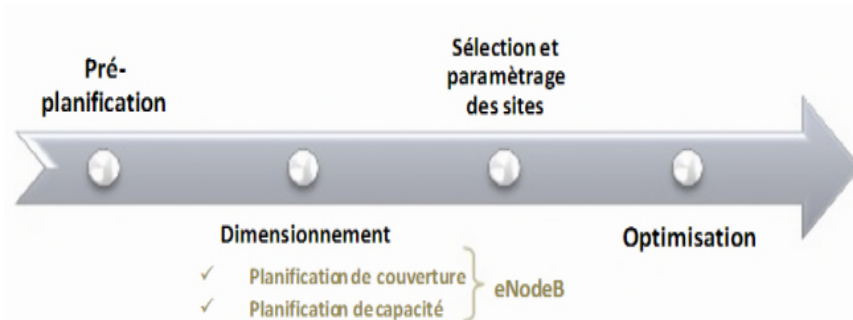


Figure II.1 : processus de planification.

II.2.1 La pré-planification

La pré-planification est faite par des investigations dont les fruits décrivent la zone de déploiement et nous fournissent des informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE à savoir:

- Des informations sur la zone de déploiement (superficie, informations géographiques et démographiques, densité d'abonnés, taux de pénétration de la technologie LTE).
- Informations relatives aux abonnés de la zone (services demandés, trafic offert, etc.)
- Catalogue des sites : identifier les lieux pour placer les eNodeB.

II.2.2 Le Dimensionnement

Consiste à dépasser les contraintes de couvertures et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées.

II.2.2.1 Planification de couverture

Étape très sensible dans la conception d'un réseau LTE. Il s'avère donc nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Or, pour couvrir une surface donnée, nous devons estimer la distance maximale entre un émetteur et un récepteur tout en maintenant les performances dans les conditions de propagation. Nous aboutissons au rayon de la cellule à couvrir, fournissant ainsi une approximation sur le nombre total de sites pour éviter les coupures de communication. Cette approximation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

II.2.2.2 Planification de capacité:

La validation de la taille des cellules et du nombre de sites obtenus par l'analyse de couverture ne se fera qu'après une analyse de capacité. Cette dernière vérifie si le système peut supporter la charge demandée sinon on procèdera à rajouter de nouveaux sites.

II.2.3 Sélection et paramétrage des sites

Désigne les positions géographiques convenables des sites, ainsi que les configurations exigées comme : Configuration des paramètres d'antennes, paramètres des sites, paramètres des transmetteurs, paramètres des cellules et fréquences choisies.

II.2.4 Optimisation

Visé à garder les exigences de la QoS prédéfinies, en comparant les résultats obtenus de deux dimensionnements. Le choix final revient aux résultats ayant le plus grand nombre de sites.

II.3 Les paramètres antennaires

Lors de la planification des réseaux cellulaires, le paramétrage antennaire pour chaque site intervient comme étant une tâche essentielle qui doit satisfaire les utilisateurs en termes de qualité de services. Dans la suite de ce travail, le type d'antenne en fonction de son diagramme de rayonnement (omnidirectionnel), le tilt, l'azimut et la hauteur des antennes doivent être fixés pour pouvoir étudier correctement l'influence de la puissance antennaire sur la couverture du réseau.

II.3.1 Le Tilt

Le tilt d'antenne est l'angle formé entre le faisceau principal de l'antenne et le plan horizontal. Ce paramètre a un impact considérable sur les caractéristiques du réseau (couverture, interférences). Il

est mesuré en degrés, le tilt de l'antenne peut être ajusté de deux manières différentes : électriquement ou mécaniquement.

Le tilt mécanique c'est par rapport au plan horizontal qui permet d'ajuster l'angle physique. Or, le tilt électrique permet de modifier le diagramme de rayonnement en ajustant la radiation de l'antenne.

Si le faisceau est guidé vers le bas et prend des valeurs positives, il est nommé downtilt. Comme il peut prendre des valeurs négatives s'il est guidé vers le haut (Up-tilt). La valeur 0° du tilt indique que la direction du faisceau principal est parallèle au sol et se pointe vers l'horizon [3]. Ceci est illustré dans la figure suivante :

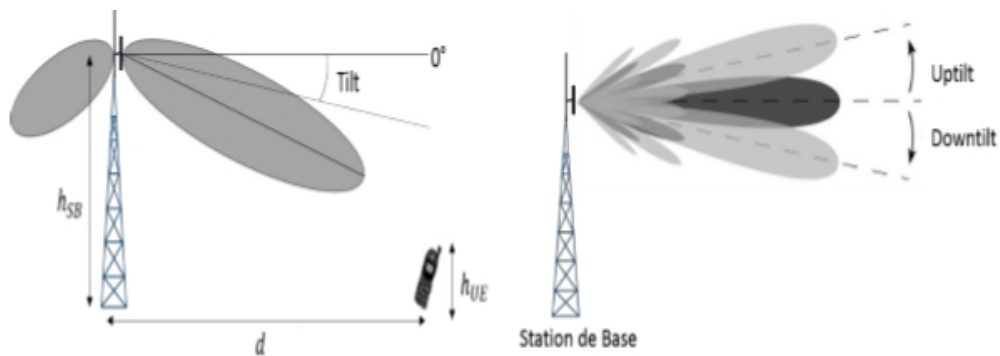


Figure II.2.a : Illustrations du tilt antennaire Figure II.2.b : Illustration du up tilt et down tilt

II.3.2 L'azimut

L'azimut est la direction principale de l'antenne par rapport au nord géographique, exprimé en degrés. Il est très nécessaire pour le calcul de la puissance émise en sortie de l'antenne dans toutes les directions. Étant donné que le type d'antennes qui sera utilisé dans la suite de notre étude est omnidirectionnel, la valeur de l'azimut lors des simulations est considérée nulle [4].

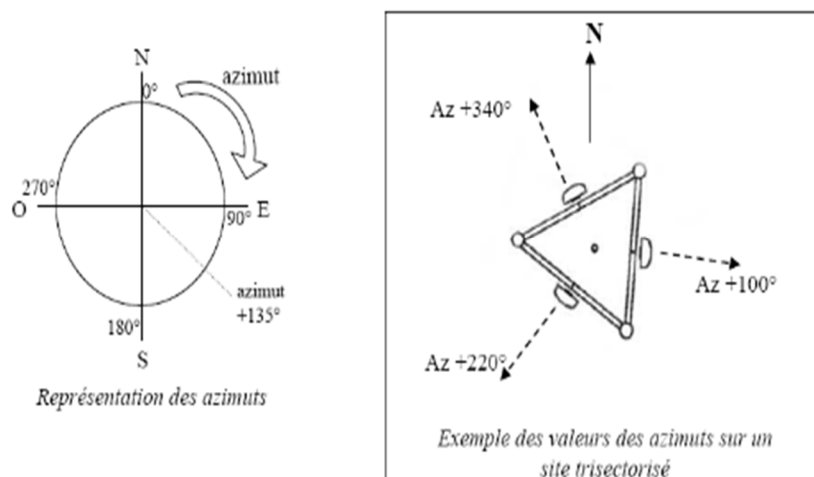


Figure II.3: Illustration de l'azimut antennaire

II.3.3 Hauteur d'antenne

La hauteur de l'antenne a un grand impact sur les performances d'un réseau cellulaire. Sa position est relative à la qualité de couverture, à savoir qu'une antenne trop basse offre une couverture médiocre du fait que l'environnement de propagation est sévère, pour y remédier la capacité du site doit être augmentée. Une antenne relativement haute assure à la fois une couverture optimale et une capacité réduite, mais elle devient interférente. La hauteur d'antenne affecte la force du signal champ et dépend de la polarisation, de la fréquence et de la nature de surface [3].

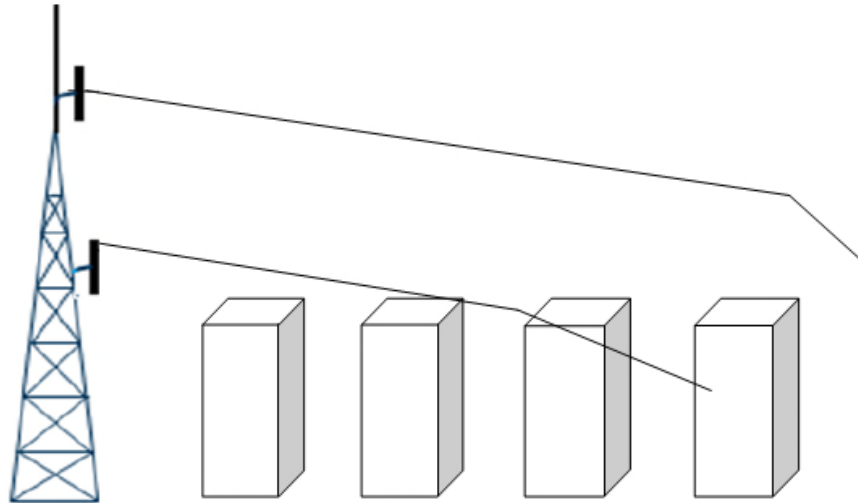


Figure II.4 : Couverture du signal dans le cas des deux hauteurs d'antenne

Afin de repérer la surface des cellules dans différentes zones, c'est pendant la phase de dimensionnement que la hauteur d'antenne moyenne doit être définie.

II.3.4 Puissance d'émission

Le nombre d'UEs rattachés au réseau est lié à la qualité de l'antenne réceptrice et la puissance de l'émetteur qui assure la couverture de territoire.

La puissance d'émission est contrôlée et fournie par la station de base, elle est définie dans l'intervalle allant de 20 à 65 dBm. Elle est notée ici P_A et exprimée en décibel milliwatt [3].

$$P_A [dBm] = 10 \log_{10}([P_A [mw]]) \quad (II.1)$$

II.4 Le model de propagation

Il s'agit d'un modèle mathématique utilisé dans les réseaux de radiocommunication pour permettre l'estimation de la propagation des ondes radio. La mesure des puissances reçues au niveau des récepteurs permet d'avoir une idée sur la nature du canal de propagation ainsi que la zone de couverture qu'offre l'ensemble des stations de base.

Le schéma de la Figure II.5 présente un modèle de propagation avec comme entrée un ensemble de paramètres qui peuvent influencer sur la qualité de la puissance reçue par le récepteur.

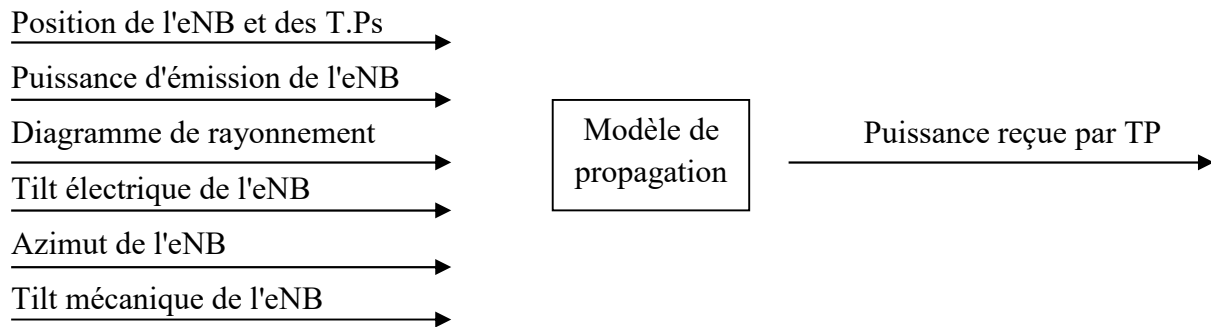


Figure II.5 : Modèle de propagation avec paramètres de l'eNB

Comme montré sur le schéma ci-dessus, la puissance reçue à la sortie au niveau des stations mobiles dépend de plusieurs facteurs fixes liés à l'eNB (position de l'eNB, hauteur de l'eNB, ... etc.), et variables liées à l'eNB (tilts électrique et mécanique, azimut, puissance émise, etc.), mais aussi de la distance entre la station mobile et l'eNB, de différents facteurs environnementaux et d'obstacles imprévus. D'où la complexité du modèle de propagation [4].

II.4.1 Le model Okumura Hata

Le modèle Hata-Okumura est un modèle très adapté pour des cellules de large couverture (distances à plus de 100m). Ce modèle est très utilisé dans la littérature et a donné de bons résultats dans plusieurs outils de simulation. L'approche analytique du modèle Hata-Okumura donne l'affaiblissement du signal entre deux points pour des villes petites et moyennes [2].

$$PL_{BS,UE} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_0) - 13.82 \log_{10}(h_{BS}) - a(h_{UE}) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{BS})) \log_{10}(d) \quad (\text{II.2})$$

$$\text{Avec : } a(h_{UE}) = 0.8 + (1.1 \log_{10}(f_0) - 0.7) h_{UE} - 1.56 \log_{10}(f_0) \quad (\text{II.3})$$

Où : $PL_{BS,UE}$: Affaiblissement du signal (Pathloss) entre la BS et le UE en dB.

f_0 : La bande de fréquence utilisée par l'eNB b. Dans notre cas, $f_0 = 900\text{MHz}$.

$a(h_{UE})$: Facteur de correction de la hauteur de la station mobile en dB.

d : Distance entre eNB et le point de test en Km.

h_{SB} et h_{UE} Sont respectivement les hauteurs des eNB b et du point de test (t) en mètre (m)

II.5 Intensité du champ (field strength)

Le RSS (Received Signal Strength) est une mesure de la puissance présente dans un signal radio reçu. Elle permet de connaître la qualité de la réception et pratiquement de modifier, par

contre-réaction (boucle qui délimite la consommation électrique et les interférences avec d'autres terminaux) le niveau d'émission de l'émetteur distant. En LTE un terminal mobile peut atteindre des valeurs habituelles du RSS à -140 dBm.

Le niveau du RSS en LTE peut diminuer fortement même quand le récepteur radio est proche de l'émetteur, donc la relation entre distance (entre émetteur radio et mobile) et RSS n'est pas linéaire. Or, elle est assignée à plusieurs facteurs y compris la puissance de transmission, les pertes de diagramme vertical.

La valeur RSS peut être utilisée pour évaluer la distance entre l'émetteur et le récepteur en utilisant des modèles de propagation mais avec une connaissance préalable de la puissance de sortie de l'émetteur. Aussitôt pour la sélection d'une antenne relai parmi plusieurs possibles, ainsi que pour préparer et décider le handover.

Comme mentionné précédemment, la mesure de la force du champ est basée sur le modèle de propagation choisit (dans ce travail c'est Okumura-Hata) [5].

L'équation suivante calcul la force du signal reçu par chaque point de test :

$$FS(x, y) = P_A + G_{ant} - SB_{loss} - PL - AVDL(\beta - SB\theta) \quad (II.4)$$

P_A : La puissance de transmission.

G_{ant}, SB_{Loss} : le gain d'antenne et les pertes des câbles respectivement.

$AVDL$: pertes de diagramme vertical de l'antenne.

PL : le model de propagation d'Okumura-Hata [3].

L'indice β définit l'angle vertical entre la station de base et le point de test, il est montré dans la figure ci-dessous et calculé par l'équation suivante :

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{h_{SB} - h_{UE}}{d}\right) \quad (II.5)$$

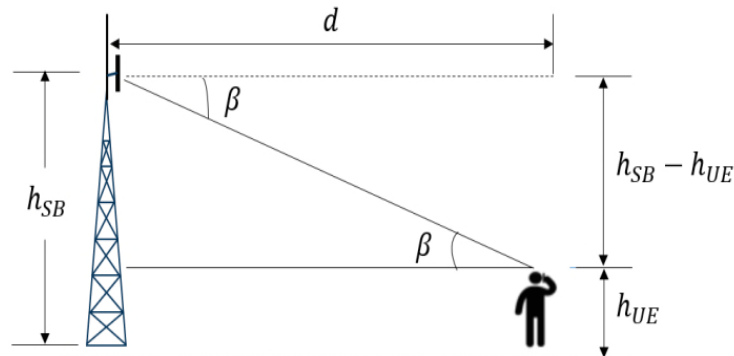


Figure 2.6 : Angle d'incidence entre la station de base et l'utilisateur

II.6 Handover en LTE

Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences). Afin de garantir cela, un processus appelé Handover est effectué entre une ou plusieurs stations de service et une station mobile. Ce processus permet de changer de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données. Le handover suit le principe désigné en anglais *make before break*, c.-à-d. préparer l'environnement radio cible avant de relâcher l'existant.

IL y a deux aspects principaux à cela: la nécessité de trouver un mode dédié dans la cellule suivante lorsque le mobile est en appel, et le processus de commutation étant suffisamment rapide pour ne pas laisser tomber cet appel.

Le Handover est plus délicat dans le LTE car ce dernier doit traiter les transferts intra LTE ainsi que les transferts intercellulaires entre les réseaux LTE et UTRAN, LTE et GERAN et d'autres réseaux mobiles [6].

II.6.2 Cas d'intervention du Handover :

- Un UE se déplace d'une cellule à une autre afin d'éviter toute rupture du lien mobile réseau tout en maintenant la qualité de service pendant la remise.
- Équilibrage du trafic entre cellules.
- Optimisation de l'utilisation des ressources radio.
- Réduction de la consommation d'énergie.
- L'eNodeB tombe en panne, alors elle signale une indisponibilité le Handover sera établi s'il existe d'autres eNodeB voisines disponibles
- Beaucoup d'interférences entre les UEs dans une même cellule.

II.6.3 Types de transfert dans le réseau LTE

- Transferts intracellulaires LTE : Le transfert s'effectue entre des cellules sources et cibles qui font partie du même réseau LTE.
- Transferts intercellulaires LTE : s'effectue vers les autres nœuds LTE (Inter-MME et Inter-SGW).
- Transfert Inter-RAT: transfert entre LTE et les différentes technologies radio. Par exemple, transfert de LTE à WCDMA [7].

II.7 Techniques de maximisation de la couverture et de la capacité

II.7.1 Self Organizing Networks (SON)

C'est une nouvelle technologie qui permet l'auto-configuration, l'auto-exploitation et l'auto-optimisation des équipements des réseaux LTE. Elle permet le déploiement rapide de nouvelles eNodeB sans la nécessité de l'intervention des spécialistes pour modifier les équipements préexistants. Elle permet donc la flexibilité et l'amélioration des performances du réseau.

II.7.1.1 Auto-configuration

La première étape consiste en l'état pré-opérationnel avant l'émission des signaux radio de l'eNB. Dans cette étape, nous opérons à la configuration IP et l'authentification des stations de base suivies de la configuration radio comme la liste des voisins d'une station eNB. Cette phase a un but qui permet la configuration automatique de tous les paramètres d'une station de base (tilt, azimuth...etc.). Un exemple typique est lors de l'insertion d'une nouvelle eNB au sein du système. Cette fonctionnalité permet de régler les paramètres de façon autonome, indépendamment de l'implication humaine ou avec un minimum de personnel possible. Le terme (Plug&Play) est une procédure qui permet d'ajuster ces paramètres et sélectionner la meilleure combinaison possible en tenant compte de plusieurs critères tels la couverture et la capacité.

II.7.1.2 Auto-optimisation

C'est une phase intelligente du SON qui a pour but de contrôler les performances du réseau et de mesurer l'ensemble des ressources pour récupérer les différentes données au fur et à mesure du déroulement des opérations. Ceci dans le but d'évaluer les performances du réseau face à la demande de l'utilisateur comme le trafic et la mobilité. Ces mesures concernent les caractéristiques des canaux radio, l'admission, la congestion et le handover. Ces derniers serviront de données d'entrée pour l'auto-optimisation afin de garantir la gestion du réseau en fonction des besoins des utilisateurs (trafic, qualité de service). L'optimisation peut concerner les paramètres physiques des antennes (tilt, azimuth, diagramme de rayonnement...), mais aussi d'autres paramètres tels que la puissance du signal.

Après l'étape d'analyse des données, des algorithmes d'optimisation et de corrections seront déclenchés automatiquement dans le but de prendre des décisions sur le système en fonction des objectifs des opérateurs et des besoins des utilisateurs.

II.7.1.3 L'auto-exploitation

Le système dans l'auto-exploitation sera guidé pour être capable de détecter des erreurs dans le réseau, causées par l'arrivée de pannes imprévues. Il permet d'identifier les causes et les sources

et de déclencher, par la suite, un mécanisme permettant la réparation des pannes ou bien d'absorber les perturbations engendrées. Un exemple typique concerne la panne d'une station de base qui engendre une absence de couverture. Une manière intelligente d'agir à cette panne est de changer les paramètres des stations voisines de telle sorte à couvrir la zone défailante. Cela permettra d'assurer la couverture en attendant l'intervention pour la réparation de l'antenne défectueuse [4].

II.7.2 Les réseaux hétérogènes (HetNet)

Les réseaux cellulaires traditionnels ont une seule architecture cellulaire macro centrée dont toutes les stations de base ont les mêmes puissances d'émission, les diagrammes d'antenne, les hauteurs d'antenne, le bruit du récepteur. Ces réseaux sont connus par un certain degré d'hétérogénéité en termes d'exigences de couverture de débits, de délai..., etc. L'inconvénient de ce déploiement est que la couverture et la capacité des utilisateurs aux bords des cellules se dégradent surtout avec une connectivité sans restriction à tous les UEs.

L'idée pour résoudre ce problème est principalement de rapprocher les émetteurs des récepteurs ce qui implique le déploiement de plusieurs stations de base macros (MeNBs) ainsi que l'acquisition de nouveaux sites sur le haut des bâtiments, alors que c'est difficile dans les zones urbaines denses de trouver des emplacements appropriés pour densifier le réseau.

Un mécanisme de déploiement plus flexible, évolutif et économique est de changer la topologie du réseau afin d'améliorer la capacité et le débit de données de façon rentable consiste à superposer le réseau planifié de stations de base Macro haute puissance avec des stations de base Pico de faible puissance, distribuée de manière non planifiée, ce qui était fait dans le scénario des réseaux hétérogènes.

Les petites cellules offrent une petite couverture, alors la bande de fréquence autorisée peut être efficacement réutilisée plusieurs fois au niveau d'un HetNet. Ce qui améliore ainsi l'efficacité spectrale et donc la capacité du réseau.

II.7.2.1 Propriétés des stations de base Pico

- Elles peuvent être déployées pour éliminer les trous de couverture.
- Offrir un débit et une capacité de données élevés là où elles sont déployées.
- Déchargement des Macro-eNB en servant certains utilisateurs qui leur appartenaient auparavant, ce qui permet à ces dernières de mieux servir ses utilisateurs.

- En raison de leurs faibles puissances de transmission (1W) et de leurs petites tailles physiques, elles peuvent offrir des acquisitions de sites flexibles.

Un exemple simple d'un réseau hétérogène est montré dans la figure suivante :

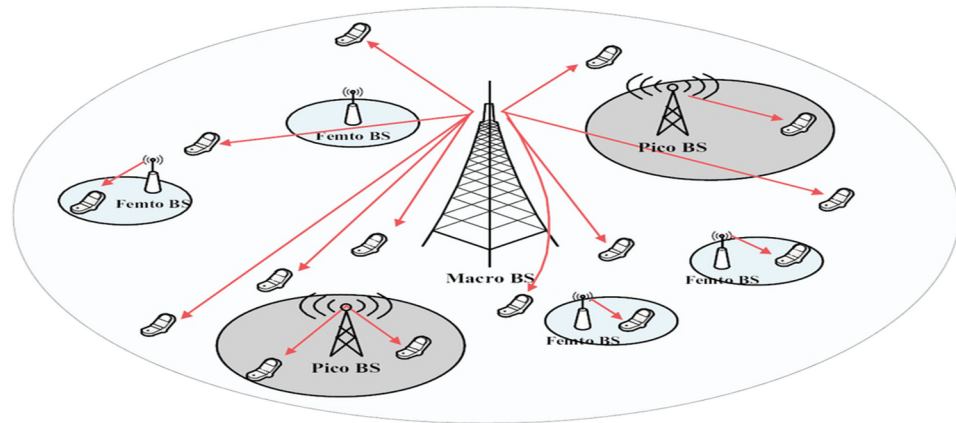


Figure II.7 : Réseau hétérogène (HetNet)

II.7.2.3 Modes d'accès des HeNBs

En général, les cellules femto sont conçues pour fonctionner dans l'un des trois modes d'accès suivants:

Le mode d'accès fermé : un ensemble d'utilisateurs appartenant à un groupe d'abonnés fermé sont seuls autorisés à accéder à une cellule femto. Ce type de stratégie de contrôle d'accès de la cellule femto est généralement applicable aux scénarios de déploiement résidentiels.

Le mode d'accès libre : peut être utilisé dans les lieux publics tels que les aéroports et les centres commerciaux. Également lorsqu'un UE peut accéder à la cellule femto et bénéficier de ses services. Ce mode d'accès est généralement utilisé pour améliorer la couverture intérieure et minimiser les trous de couverture dans la cellule macro.

Le mode d'accès hybride : un UE peut accéder à la cellule femto, mais la préférence sera donnée à ces UEs qui souscrivent à la cellule femto. Les scénarios de déploiement du mode d'accès hybride du sous-réseau femto peuvent être utilisés dans les entreprises[8] [9].

II.7.3.IFR1 et IFR3 (Integer Frequency Reuse)

L'interférence des cellules voisines appelée Inter-Cell Interference (ICI) est présente dans tous les réseaux mobiles. Pour y remédier, une planification de réutilisation partielle de fréquence est utilisée dans le GSM afin d'empêcher les cellules voisines d'utiliser le même ensemble de fréquence. Tandis qu'en UMTS, différents codes de brouillage sont utilisés dans les différentes

cellules. Mais l'ICI demeurent plus grave dans le LTE, en raison des limitations de puissance de transmission des UE qui exigent des tailles de cellules plus petites afin de respecter des débits de données plus élevés pour les users proches des BS, ce qui affectera de manière significative les performances du réseau.

Les réseaux LTE sollicitent des débits de données plus élevés sous la contrainte de la restriction des ressources radio, Une nouvelle approche qui s'appelle Frequency Reuse 1 (c'est le schéma de réutilisation de fréquence le plus simple) et est fortement recommandée en LTE.

En IFR (Integer Frequency Reuse), toutes les sous-porteuses allouées à une cellule peuvent être utilisées n'importe où dans la cellule sans aucune spécification de l'emplacement de l'utilisateur. L'IFR1 et IFR3 désignent deux méthodes classiques de réutilisation de fréquence largement utilisées dans les réseaux cellulaires.

En IFR-1 la bande passante de la cellule est égale à la bande passante entière du réseau. Un exemple d'IFR-1 est montré dans la Fig.2.7, où W représente la largeur de bande de réseau disponible

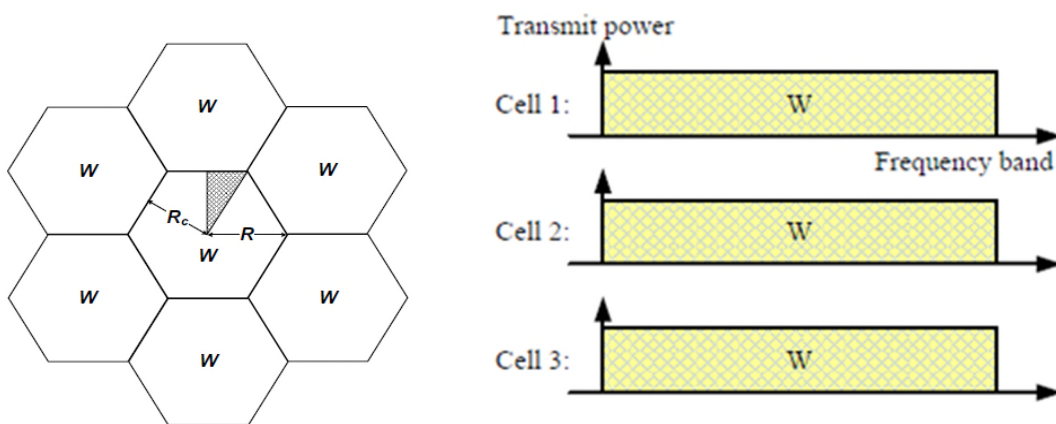


Figure II.8 :Un exemple d'IFR-1

Un problème majeur de cette méthode est que les utilisateurs situés aux frontières des cellules souffrent des interférences intercellulaires très élevées et d'un faible débit de données. Dans le second cas, chaque cellule utilise un tiers de la bande passante du réseau d'une manière qu'aucune autre cellule environnante n'utilise la même sous-bande. Ce cas est appelé IFR avec réutilisation de fréquence 3 (IFR-3).

La différence avec l'IFR-1 réside dans le fait que seuls les BS Co-canaux sont prises en compte dans le calcul des interférences et que, par conséquent, la densité des BS d'interférence est divisée par 3. L'IFR-3 fournit donc une solution au problème des interférences de l'IFR-1 [10].

Le principe de l'IFR-3 est illustré dans la figure suivante :

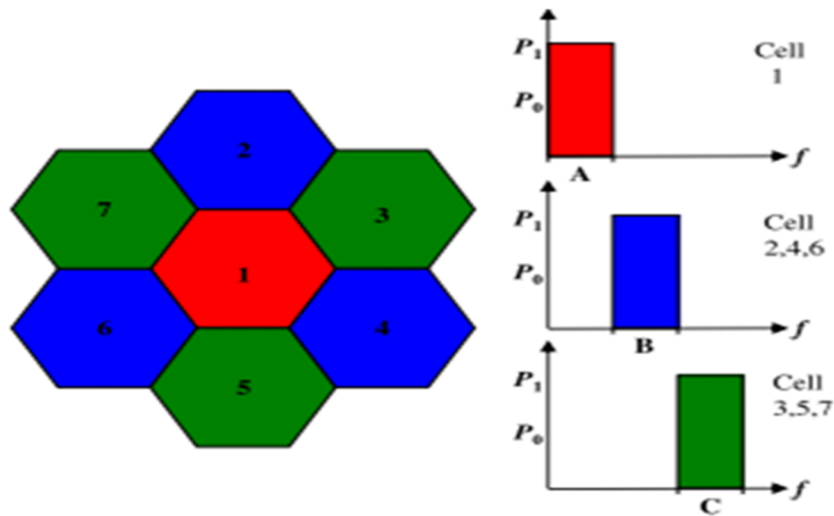


Figure II.9 : Illustration du principe d'IFR-3

II.8 Conclusion

Ce chapitre a regroupé un ensemble de connaissances nécessaires qui aideront à définir clairement la problématique majeure de ce travail.

Dans le chapitre qui suit, nous allons étaler quelques informations sur un outil d'optimisation de couverture en ajustant les paramètres antennaires. Ce champ d'étude constitue actuellement un sujet très ouvert.

Sur ce fond, nous allons introduire des modèles mathématiques dont l'expression prend forme d'un problème de maximisation de fonction, assujetti à un ensemble de contraintes. Pour pouvoir initier à l'algorithme génétique d'optimisation pour aboutir à une solution à la problématique posée.

CHAPITRE

III

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons et étudions un algorithme stochastique métaheuristique évolutionnaire utilisé pour résoudre un problème d'auto-optimisation qui est l'algorithme génétique. Dans notre cas, cet algorithme vise à capturer l'impact de l'un des paramètres antenne (puissance d'émission) sur la couverture dans les réseaux cellulaires LTE.

Dans la première partie nous étalerons l'objectif principal de notre étude ainsi que les contraintes auxquelles il est exposé, sous un aspect mathématique. Nous exposerons ensuite une comparaison entre deux algorithmes d'optimisation métaheuristique qui sont la recherche tabou et l'algorithme génétique. Dans la dernière partie seront détaillés le processus et les opérateurs de l'algorithme génétique.

III.2 Problématique

L'optimisation de la couverture radio est l'un des aspects pertinents de la technologie LTE. En effet, cette dernière a tendance à s'améliorer sans cesse en exploitant plusieurs champs de recherche. Apportant ainsi des évolutions visant surtout à améliorer la couverture radio comme l'ajustement de l'un des paramètres antennaires qui est la puissance fournie par les eNodeB, tout en satisfaisant des contraintes de type interférences et mobilité. Ceci par l'intermédiaire d'un algorithme évolutionnaire (Algorithme génétique), ce qui constitue l'objet de notre étude.

En d'autres termes, quel impact aura l'ajustement de la puissance antenne sur la couverture radio en LTE ? Es ce que ce critère suffira-t-il pour assurer une couverture maximale répondant aux besoins ?

III.3 Planification de la couverture et de la capacité

L'objectif de la planification est de déterminer les paramètres antennaires adéquats qui peuvent assurer une couverture optimale d'une zone bien déterminée en fonction du nombre d'abonnés desservis. Tout en tenant compte des contraintes de mobilité et des interférences.

Elle peut être effectuée en surveillant le niveau du signal reçu pour chaque utilisateur à l'intérieur de la cellule afin de trouver des trous de couverture et d'éliminer les zones de chevauchement en ajustant les paramètres d'antenne dynamiquement. Ce qui constitue l'approche générale de notre étude.

Plusieurs recherches sur le paramétrage des antennes ont été effectuées pour répondre aux besoins des utilisateurs et augmenter les performances des systèmes dans le but de maximiser la couverture

radio et la capacité du réseau. Des mécanismes ont été étudiés en termes de maximisation des débits cellulaires et d'amélioration du rapport signal sur interférence (SIR) à l'aide des paramètres d'antennes.

Dans [11] et [12], le problème d'optimisation de l'emplacement des stations de base à l'aide de l'algorithme génétique a été traité. L'impact des paramètres antennaires sur la couverture dans les réseaux LTE a été étudié dans [13] à l'aide de l'algorithme de recherche tabou. Dans [14] des algorithmes pour ajuster automatiquement les paramètres d'antenne afin d'améliorer les performances de la couverture radio ont été présentés. L'amélioration des paramètres de l'antenne LTE pour les applications de communications mobiles fut l'objet d'étude de [15].

Une évaluation du déploiement du réseau LTE en optimisant les paramètres RF qui incluent la puissance et l'inclinaison de l'antenne, l'azimut, basée sur la programmation génétique est développée dans [16].

III.4 Optimisation mono-objectif et multi-objectif

III.4.1 Définitions de base

Avant d'entamer l'optimisation mono objectif et multi objectif, il est préférable de donner un aperçu sur les concepts de base (les définitions présentées sont liées à un problème d'optimisation de maximisation).

III.4.2 Définition de l'optimisation

Un problème d'optimisation est la recherche de l'optimum d'une fonction donnée (minimum ou maximum).

Dans le cas où les variables de la fonction à optimiser sont contraintes d'évoluer dans une certaine partie de l'espace de recherche se produit une forme particulière appelée problème d'optimisation sous contraintes.

III.4.3 Fonction objectif

Représente le but à atteindre pour le décideur (maximisation de la couverture, de la capacité...etc.). C'est l'espace de solutions potentielles au problème.

III.4.4 Variables de décision

Constituent les variables de la fonction objective. Elles sont ajustées pendant le processus d'optimisation, afin d'obtenir une solution optimale. Elles sont appelées aussi variables

d'optimisation, variables de conception ou de projet (design variables). Elles sont regroupées dans le vecteur \vec{x} .

III.4.5 Définition des contraintes

L'ensemble de contraintes définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche.

III.4.6 Optimisation mono objectif

Un problème d'optimisation est dit mono objectif dans le cas où il y a un seul objectif à satisfaire et par conséquent la solution optimale peut être clairement définie comme étant celle qui aboutit à la fonction optimale (min, max).

De manière formelle, à chaque itération d'un tel algorithme, un ensemble de solutions (S) à est associé, tout en respectant la fonction objectif et les contraintes.

$$\text{Optimiser } F(x) \text{ tel que } x \in S \tag{III.1}$$

Sous les contraintes :

$$g_j(x) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, j \tag{III.2}$$

$$h_q(x) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, q \tag{III.3}$$

Avec : $x \in \mathbb{R}^n$, $g(x) \in \mathbb{R}^j$, $h(x) \in \mathbb{R}^q$

Les expressions $g_j(x)$ et $h_q(x)$ sont respectivement des contraintes d'égalités et d'inégalités.

III.4.7 Optimisation multi objectifs

L'optimisation multi objectifs permet de modéliser des problèmes réels faisant intervenir de nombreux critères et contraintes. Dans ce contexte, la solution optimale recherchée n'est plus un simple point, mais un ensemble de bons compromis satisfaisant toutes les contraintes.

Un problème d'optimisation multi objectif peut être représenté par le programme suivant :

$$MOP = \begin{cases} \text{optimiser } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)) \\ \text{tq } x \in \Omega \text{ et } p \geq 2. \end{cases} \tag{III.4}$$

Tel que : $p \geq 2$ est le nombre de fonctions objectifs, $x = (x_1, \dots, x_m)$ est le vecteur représentant les variables de décision, Ω représente l'ensemble des solutions réalisables associées à des contraintes et $F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x))$ est le vecteur des objectifs à optimiser.

Les problèmes multi objectifs ont la particularité d'être beaucoup plus difficiles à traiter que leurs équivalents mono objectifs. La difficulté réside dans l'absence d'une relation d'ordre total entre les solutions. Une solution peut être meilleure qu'une autre sur certains objectifs et moins bonne sur les autres. Il n'existe généralement pas de solution qui serait à la fois optimale pour chaque objectif, étant donnée la nature conflictuelle de ces derniers.

Voilà pourquoi le concept de solution optimale devient moins pertinent en optimisation multi-objectifs. Dans ce cas la solution optimale ou de bonne qualité n'est plus une solution unique, mais, un ensemble de solutions compromis entre les différents objectifs à optimiser.

C'est pour ces raisons, et bien évidemment la nature de notre problématique que dans cette étude nous allons utiliser l'approche d'optimisation mono objectif.

III.5 Objectifs et contraintes

L'objectif principal visé étant d'assurer une couverture d'un réseau LTE des plus optimales, tout en répondant à des contraintes qui sont les interférences intercellulaires et le Handover.

Pour ce faire, nous allons employer une méthodologie basée sur un algorithme génétique qui exécute de manière quasioptimale la tâche d'ajustement de la puissance d'émission antennaire afin d'observer son impact sur le taux de couverture du réseau. Tout en fixant les autres paramètres (azimut, tilt, hauteur d'antenne et coordonnées de la BS).

III.5.1 Couverture maximale

Assurer une couverture maximale à la zone de déploiement choisie revient en pratique à fournir des services radio au maximum d'utilisateurs possible, ces derniers sont représentés par des points de teste.

Une BS est pratiquement incapable d'assurer la couverture de tous les points de test, et par conséquent, une variable de décision binaire X_i est définie de la sorte :

$$MAX \sum_{i=0}^N X_i \quad (III.5)$$

Tel que : $X_{i,TP}$ décrit si le point de test est couvert par la BS d'indice i

$$X_{i,TP} = \begin{cases} 1 & TP_i \text{ est connecté} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (III.6)$$

Afin de satisfaire le critère de couverture, les BSs doivent assurer une puissance d'émission adéquate, cela se mesure par l'intensité du champ FS reçue par les points de teste qui sont répartis aléatoirement dans la zone étudiée et qui doit être : $FS \geq -90 \text{ dBm}$ [3].

3.4.2 Contrainte du Handover

Avant de déployer un réseau mobile, les opérateurs effectuent des mesures et des planifications avec comme objectifs prédéfinis d'assurer à la fois une bonne couverture et une capacité élevée.

Cela se fait par une mesure de la différence entre l'intensité de champ reçue par la station de base 1 et celle reçue par la station de base 2. Cette différence doit être inférieure à 7 dB comme montré dans l'équation :

$$Hand = \{PT_i : PT_i \in C_j \text{ et } \exists j' \neq j \text{ tel que } |FS_j(PT_i) - FS_{j'}(PT_i)| \leq 7 \text{ dB}\} \quad (III.7)$$

III.5.3 Contrainte des interférences

Les interférences intercellulaires ICI (Inter Cellular Interference) ont un impact majeur et un lien direct avec la couverture du réseau, car elles dégradent fortement la qualité du lien radio. C'est donc une tâche qui s'avère difficile pour les opérateurs de satisfaire à la fois ces deux objectifs principaux : couverture optimale et interférences de la liaison descendante réduites. Une interférence est vue comme étant une collision entre les ondes radio de deux cellules voisines, ce qui engendre une force de signal supérieure à -100 dBm mais elle desservie pas les utilisateurs du réseau et ne peut pas être la cellule cible pour une éventuelle opération de Handover.

La fonction objectif et la variable de décision binaire sont présentées comme suit:

$$\min \sum_i^n W_i \quad (III.8)$$

$$W_i = \begin{cases} 1 & \text{si } FS \geq -100 \text{ dBm} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (III.9)$$

III.6 Optimisation métaheuristique

Les métaheuristicques sont des algorithmes de résolution exacte adaptés pour la résolution d'un grand nombre de problèmes d'optimisation. Ils sont en général non déterministes et ne garantissent pas l'optimalité des solutions trouvées, mais peuvent cependant utiliser l'expérience accumulée au fil des itérations pour mieux guider la suite et avec un temps de calcul plus réduit. Donc leur

objectif est d'explorer l'espace de recherche de manière à utiliser un processus aléatoire et itératif pour rassembler de l'information efficace afin d'aboutir à des solutions (quasi) optimales.

Il existe plusieurs notions des métaheuristiques, en termes de conception, deux notions contradictoires sont à prendre en compte lors du développement d'une métaheuristique :

La diversification qui aide à générer des solutions diverses afin d'explorer l'espace de recherche dans sa globalité.

L'intensification dont le processus vise à forcer une solution donnée à tendre vers l'optimum local de la zone à laquelle elle est attachée (exploitation des meilleures solutions trouvées).

Il est indispensable d'utiliser ces deux notions (diversification, intensification) pour que l'exploration puisse rapidement identifier des régions de l'espace de recherche contenant les solutions optimales, sans perdre du temps à exploiter des régions moins prometteuses.

Deux types de métaheuristiques peuvent être distingués :

III.6.1 Les métaheuristiques à base de solution unique (S-META)

Elles sont appelées méthodes de recherche locale. Elles commencent avec une seule solution initiale, et par une amélioration itérative, en construisant un ensemble de solutions de couvertures croissantes pour un problème de maximisation. Le processus s'arrête si la solution courante ne peut pas être améliorée ou si le nombre d'itérations maximum est atteint. La recherche tabou est un exemple typique de cette classe, elle sera définie par la suite de ce chapitre.

III.6.2 Les métaheuristiques à base de population (P-META)

Appelées aussi métaheuristiques à solutions multiples. Travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche en commençant avec une population de solution initiale puis de l'améliorer au fur et à mesure des itérations.

Elles ont une capacité à parcourir les grands espaces de recherche, mais n'ont pas un fort pouvoir d'intensification et peuvent avoir tendance à converger lentement. L'objectif de ces méthodes est d'utiliser la population comme un facteur de diversité. Cette métaheuristique constitue à base des algorithmes évolutifs (algorithmes génétiques)[17].

Le schéma suivant présente la classification des deux méthodes de recherche mentionnées ci-dessus:

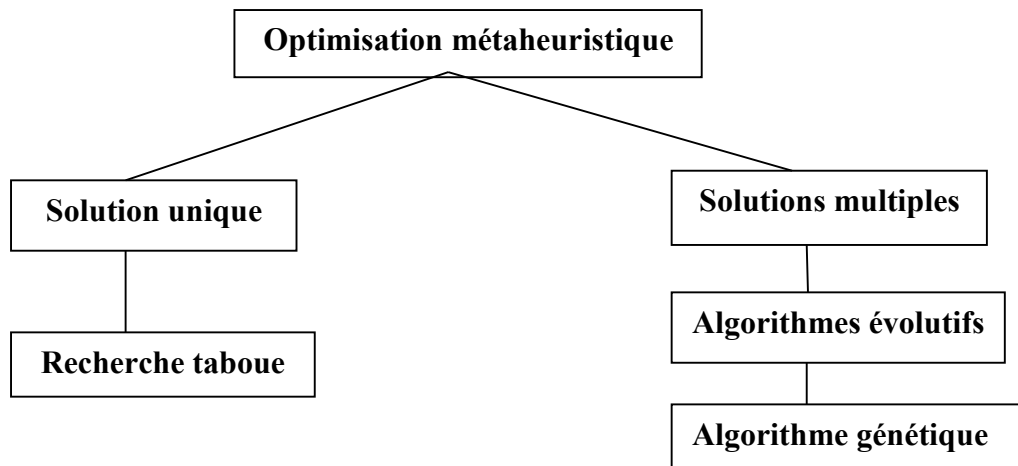


Figure III.1 : Classification des métaheuristiques

III.6.1 Recherche taboue

La recherche taboue est un algorithme métaheuristique, utilisé pour résoudre les problèmes d'optimisation combinatoire. Il consiste à trouver dans un ensemble discret une parmi les meilleures solutions réalisables (la notion de *meilleure solution* étant définie par une fonction objectif). Le principe de base de la recherche tabou est de définir un ensemble de solutions possibles, et à partir de la solution actuelle, d'en trouver un meilleur dans son voisinage. Un quartier est un ensemble de solutions que l'on trouve en appliquant une transformation de la solution actuelle. Pour que l'algorithme s'éloigne d'un minimum local, la recherche permet des déplacements entraînant une dégradation de l'objectif.

La recherche taboue utilise la structure de la mémoire (liste tabou), afin d'améliorer les performances d'une recherche locale. Une fois qu'une solution potentielle a été déterminée, elle est marquée comme tabou afin que l'algorithme ne visite pas cette possibilité plusieurs fois, ça a un effet d'empêcher la recherche de cyclé.

La recherche taboue a la capacité de fournir des solutions très proches de l'optimalité et est l'une des plus efficaces pour s'attaquer aux problèmes difficiles à résoudre[4] [18].

III.6.2 Algorithme génétique

La technique de l'algorithme génétique (GA) est utilisée dans de nombreuses études d'optimisation et de planification des réseaux de communications sans fil. Elle fournit des solutions de succès à un problème d'optimisation. Et combine une stratégie de "survie des plus forts" avec un échange d'information aléatoire, mais structuré. L'idée de base associée à cette méthodologie repose sur l'exploitation d'un codage mathématique d'individus regroupés au sein d'une population afin de générer itérativement de nouveaux individus dont le caractère optimal s'affine vis-à-vis du critère à optimiser.

Les principaux éléments de l'A.G sont les gènes, les chromosomes constitués de gènes et les populations de chromosomes qui constituent les générations. L'A.G fonctionne sur une population d'individus. Il évolue la population par l'application séquentielle et itérative de trois opérateurs qui sont la sélection, le croisement et la mutation.

Les algorithmes de recherche tabou manipulent et transforment une seule solution durant le processus de recherche, alors que les algorithmes évolutionnaires tels l'algorithme génétique, un ensemble de solutions, appelé population, évoluent en parallèle.

Les recherches taboues rentrent dans le cadre de l'exploitation de l'espace de recherche, les régions prometteuses sont explorées localement dans l'espoir de trouver de meilleures solutions. Tandis que les algorithmes génétiques sont généralement plutôt exploratoires et permettent une meilleure diversification de l'espace de recherche.

L'optimisation à l'aide de l'algorithme génétique est choisie dans cette étude pour ces raisons. Car nous disposons d'une fonction objectif et d'un ensemble de fonctions de contraintes à satisfaire et nous devons explorer l'espace de recherche à terme.

Les principes généraux d'une S-META (recherche taboue) et d'une P-META (algorithmes génétiques) sont respectivement illustrés sur les figures III.2.a et III.2.b.

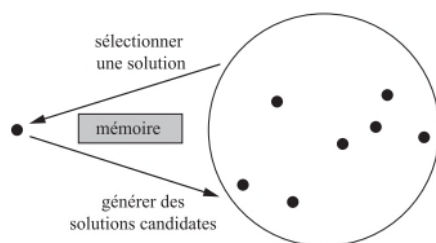


Figure III.2.a : Illustration des principes généraux d'une métaheuristique à base de solution unique

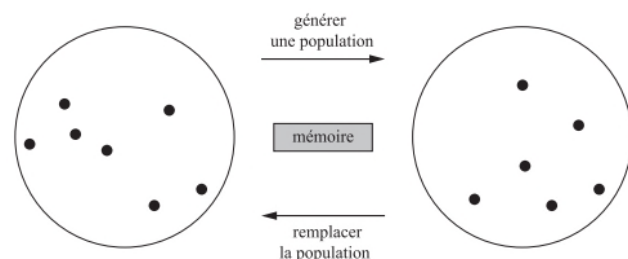


Figure III.2.a : Illustration des principes généraux d'une métaheuristique à base de solutions multiples

III.7 Algorithmes génétiques

C'est des algorithmes d'optimisation qui reposent sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle, telle les principes de la sélection naturelle, de la transmission du matériel génétique, de la mutation et de croisement. Ces principes sont reproduits dans le cadre de l'optimisation mathématique pour la recherche de solutions globales.

L'histoire des algorithmes génétiques est relativement ancienne. Ils ont été initialement développés par John Holland (1975). En 1989, Goldberg a publié un livre de référence pour les algorithmes génétiques "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning". C'est grâce à ce livre que sont popularisés les AG.

Pour l'utiliser, nous devons disposer des sept éléments suivants :

1. Un principe de codage de l'élément de population : Cette étape associe un gène à chaque paramètre d'une solution. Toutes les valeurs que peut prendre ce gène sont les allèles. L'idée est de trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique. Les codages réels sont largement adoptés pour l'optimisation de problèmes à variables continues et dans notre cas c'est ce type de codage que nous allons adopter.

2. L'individu: variable de décision X associée au problème d'optimisation tel que $X \in S$

3. Un mécanisme de génération de la population initiale: Il doit produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important, car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global.

Tout ensemble (P) d'individus (n)

$$P = \{ X_n / n \in [1 ; N] \} \in \mathcal{E}^N \quad (N \in \mathbb{N}^*) \quad (\text{III.10})$$

4. Une fonction à optimiser: Niveau d'optimalité d'un individu de la population appelée fitness ou fonction d'évaluation. Elle prend ses valeurs dans \mathbb{R}^+ , aussi utilisée pour sélectionner et reproduire les meilleurs individus de la population.

5. Sélection: Processus stochastique dépendant du fitness, au cours duquel le tirage d'un sous-ensemble de $S \leq N$ individus est réalisé dans une population P composée exactement de N individus.

6. Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état : L'opérateur de **croisement** recompose les gènes d'individus existant dans la population. C'est un Processus stochastique dépendant du fitness au cours duquel un sous-ensemble de $S \leq N$ individus sélectionnés génère S nouveaux individus. L'opérateur de **mutation** est un opérateur aléatoire qui a pour but de modifier tout résultat issu du croisement entre plusieurs individus. Les mutations permettent l'exploration de l'espace d'état associé aux variables décisionnelles de l'optimisation.

7. Des paramètres de dimensionnement : taille de la population (200 chromosomes), nombre total de générations ou critère d'arrêt (2000 générations), probabilités d'application des opérateurs de croisement (0.6) et de mutation (0.01) [19].

Le principe général du fonctionnement d'un algorithme génétique est représenté sur la figure suivante :

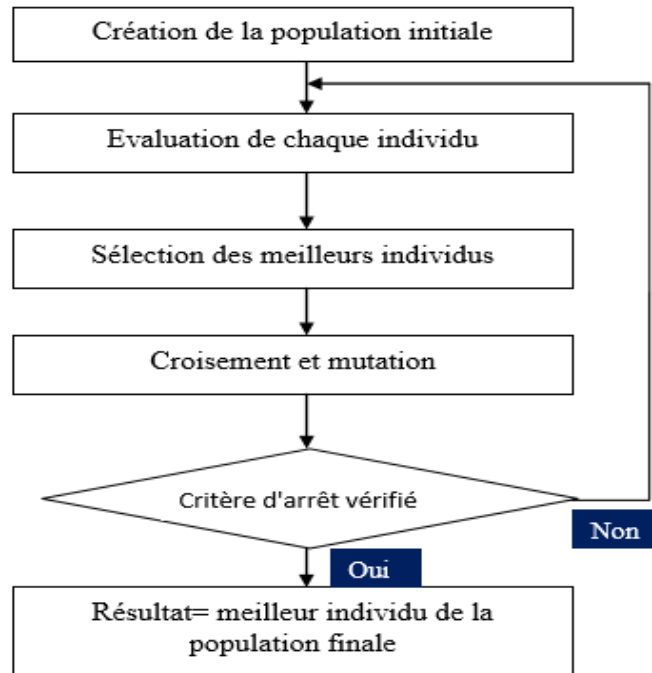


Figure III.3 : Organigramme d'un algorithme génétique

III.7.1 Population initiale

La population initiale P est l'ensemble des BSs installées (chromosomes) et chacun des paramètres de la BS est un gène.

A noter que l'azimut est considéré nul dans notre étude du fait de la nature des antennes qui est omnidirectionnelle. Donc il ne sera pas inclus dans l'ensemble des paramètres de la BS.

$$P = \{BS_n/n \in [1 \dots N] \in \mathcal{E}^N = \begin{cases} BS_1 = (P_1, \varphi_1, h_1, x_1, y_1) \\ BS_2 = (P_2, \varphi_2, h_2, x_2, y_2) \\ \vdots \\ BS_n = (P_n, \varphi_n, h_n, x_n, y_n) \end{cases} \quad (III.11)$$

Tel que : N est le nombre de BSs en service, P_n est la puissance fournie par la BS_n, φ_n est son tilt, h_n est sa hauteur, tandis que x_n et y_n représentent les coordonnées cartésiennes de la BS sur la carte.

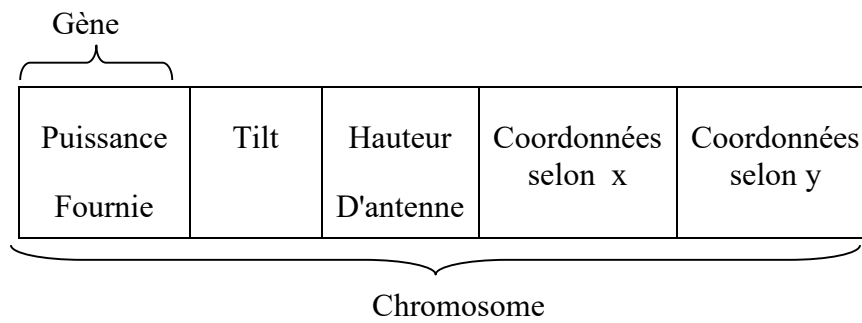


Figure III.4 : Représentation d'un chromosome (BS)

Notre objectif est d'étudier l'influence de la puissance antennaire sur la couverture, cela en ajustant ses valeurs et fixer les valeurs des autres paramètres. Une représentation simple de ces paramètres est illustrée sous forme d'un chromosome dans la figure ci-dessus.

III.7.2 Opérateur de sélection

La fonction objectif $F(x)$ doit être définie pour chaque individu tel que

$$F(x) = Fobj(x) \tag{III.12}$$

Cet opérateur permet aux individus de se reproduire ou de mourir.

La probabilité de survie d'un individu est reliée à sa performance au sein de la population (P). Dans notre cas nous utiliserons la méthode de la roulette de Wheel. Le principe de cette méthode consiste à associer à chaque individu (X_i) une probabilité R_{pi} proportionnelle à $F(x)$. Comme le montre la figure ci-dessous :

$$R_{pi} = \frac{F_p(X_i)}{\sum_i^n F_p(X_i)} \tag{III.12}$$

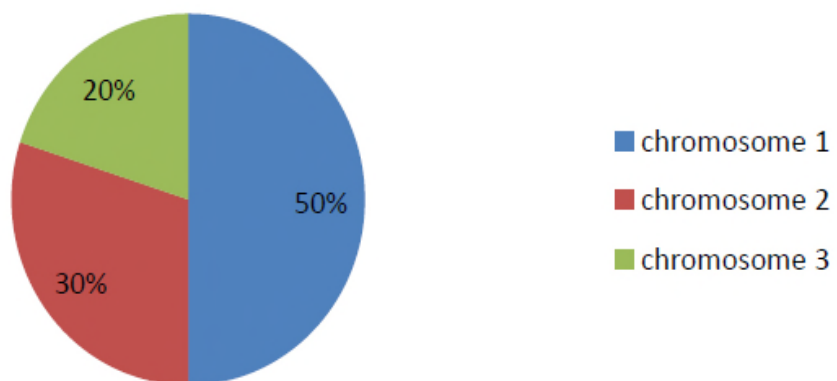


Figure III.5 : Exemple de roue avec 3 chromosomes

III.7.3 Opérateur de croisement

Cet opérateur contribue à la diversification de la population, il permet la recombinaison des informations présentes dans deux chromosomes choisis aléatoirement. Pour notre étude nous utiliserons le croisement en un point, c.à.d. au niveau du gène qui représente la puissance d'antenne. La figure III.6 illustre ce fait.

Le croisement s'effectue avec une probabilité autour de 0.6 en générale. Les valeurs des puissances des deux BS seront permutées tout en conservant leurs cohérences.

Cela se fait par le choix d'un point K, aléatoirement fixé entre 2 et N-1.

Soit deux BS choisies BS_1 et BS_2 , la création de nouvelles stations de base BS'_1 et BS'_2 se fait ainsi :

$$BS'_1 = \begin{cases} BS_{1i} \quad \forall i \leq K \\ BS_{2i} \quad \forall K < i \leq N \end{cases} \quad (III.13)$$

$$BS'_2 = \begin{cases} BS'_{1i} \quad \forall i \leq K \\ BS_{2i} \quad \forall K < i \leq N \end{cases} \quad (III.14)$$

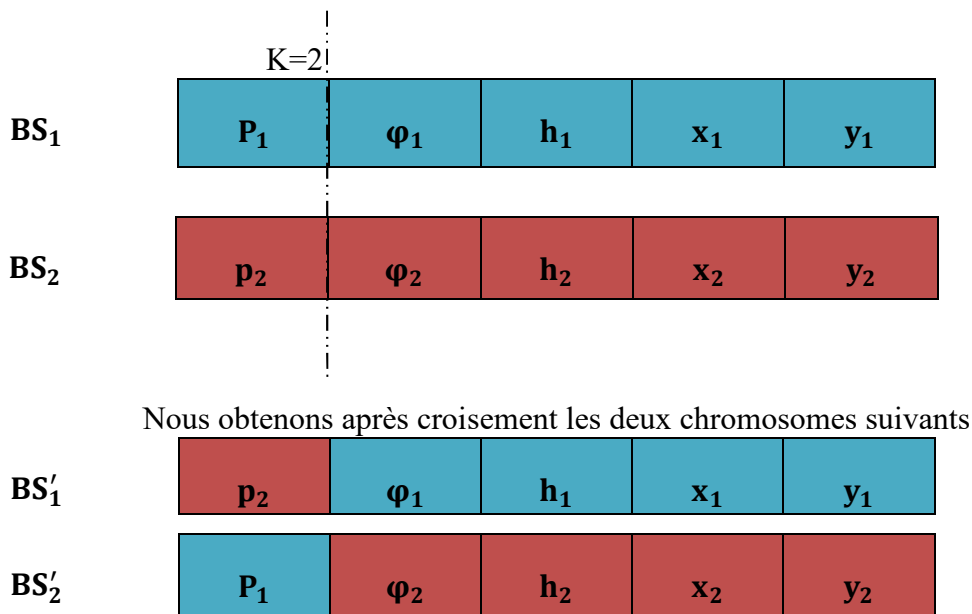


Figure III.6 : Processus simplifié du croisement

III.7.4. Opérateur de mutation

Cet opérateur assure également la diversification de la population. Il consiste à changer la valeur d'un gène (allèle) avec une probabilité très faible généralement comprise entre 0.01 et 0.001.

En d'autres termes, la mutation effectue des changements aveugles au niveau du gène indiquant la puissance. Un exemple est montré dans la figure suivante :

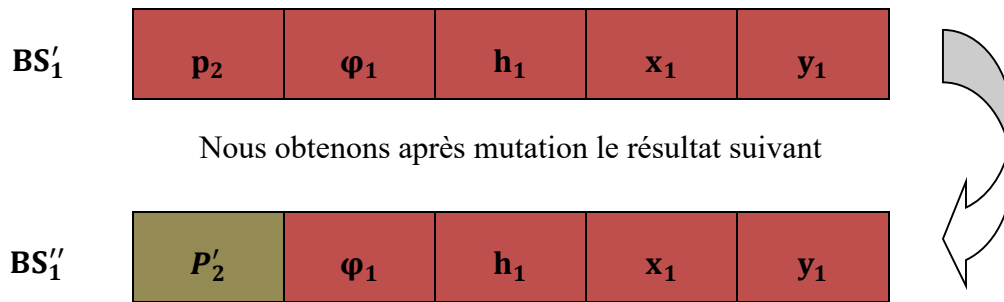


Figure III.7 : Processus simplifié de la mutation

Nous pouvons aussi prendre $P_m = 1/L$ ou encore $P_m = 1/(P * L)$, où P est la taille de la population et L est la longueur de notre chromosome.

III.8 Conclusion

Ce chapitre a traité notre problématique sous un aspect mathématique, en posant les équations liées à notre étude, et qui vont servir par la suite à l'étude expérimentale de l'algorithme génétique sous MATLAB, ceci après avoir donné un bref aperçu sur les concepts de base à propos des algorithmes génétiques.

Le chapitre suivant apportera les résultats obtenus après exécution des programmes, suivis d'interprétations et de commentaires donnant lieu à quelques perspectives de recherche.

CHAPITRE

IV

IV.1 Introduction

La puissance d'émission dans les réseaux cellulaires sans fil est un enjeu clé dans la gestion des interférences, de l'énergie et de la connectivité. Le contrôle de la puissance sur les liaisons montantes et descendantes d'un réseau cellulaire a fait l'objet d'études approfondies, en particulier au cours des 15 dernières années, et certains des résultats ont un impact significatif sur l'évolution continue de la technologie cellulaire numérique.

Une approche de planification de réseau qui permet de prendre en compte un plus grand nombre d'aspects dans le processus de planification a été présentée. L'étendue du problème de planification de réseau est très large. Elle s'étend à la planification des fréquences, à la planification du réseau de transport et à l'optimisation de la planification du réseau radio.

En conséquence, l'objet de cette étude se concentre sur l'aspect du choix de la puissance pour maximiser la couverture dans un processus de planification.

Dans ce chapitre, nous définissons brièvement notre simulation basée sur l'utilisation d'un algorithme génétique pour choisir la puissance adéquate afin de maximiser la couverture radio cellulaire d'un réseau LTE. Les différents résultats sont donnés et discutés afin de valider l'approche proposée dans le chapitre 3.

IV.2 Environnement de simulation

Nous considérons un réseau cellulaire constitué de 7 stations de base dont le motif est représenté dans la figure 4.1. Afin d'incorporer l'introduction à l'algorithme génétique, le modèle a été étendu pour répondre aux exigences suivantes:

- Les points de test qui représentent le trafic sont distribués dans la zone d'étude aléatoirement.
- Il est supposé qu'à chaque point, il y a une demande de trafic qui est définie comme le nombre d'abonnés faisant des appels pendant l'heure chargée.
- Comme le point de test de service reçoit plusieurs signaux, la couverture est offerte par la station de base qui fournit le signal le plus fort au point de test de service.
- Afin d'obtenir le signal de couverture requis à chaque extrémité de réception, la force du signal au niveau du récepteur doit être supérieure à -90dBm.
- Chaque point de test sélectionné opère avec une capacité de 25 Mili Erlang.

La simulation a été réalisée en utilisant MATLAB 2009.

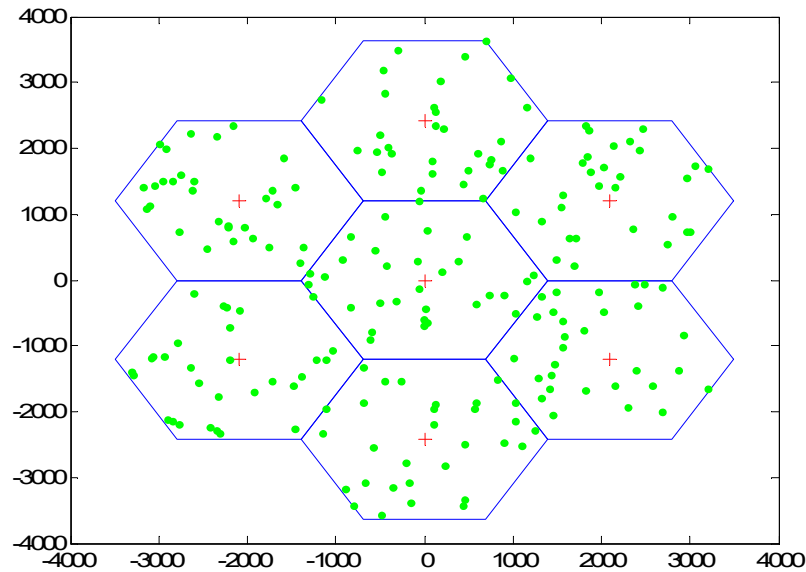


Figure IV.1 : Réseau cellulaire à étudier

IV.3 Stratégie algorithmique

La stratégie globale commence par initialiser la zone de travail avec l'environnement de simulation approprié. Les valeurs de la puissance, de la hauteur et du Tilt sont également réglées en conséquence. L'ensemble des points de test en vert couverts par le réseau sont déterminés en mesurant l'intensité du champ à leurs niveaux. Cette dernière doit être mesurée après avoir calculé les pertes de trajet maximales entre les stations de base et les points de test.

L'algorithme génétique est appliqué pour résoudre le problème de la valeur de la puissance optimale afin d'avoir une bonne couverture et éliminer le problème d'overshooting. Cependant, l'algorithme va générer un ensemble de paramètres de puissance utilisés dans le chromosome. Notons que les valeurs de tilt et de la hauteur d'antenne sont considérées fixes tout à fait au départ de la simulation et que le type d'antenne utilisé est omnidirectionnel.

IV.4 Résultats et discussions

IV.4.1 Évaluation de la fonction d'adaptation

La figure ci-après représente la forme de la fonction fitness obtenue par la représentation réelle.

La valeur de la fonction fitness la plus élevée a été trouvée à 97.66 %, atteinte vers la 800e génération. La fonction d'adaptation augmente progressivement avant de converger. Le résultat

suggère une exploration maximale de l'espace de recherche et que la recherche ne reste pas bloquée dans les extrêmes locaux.

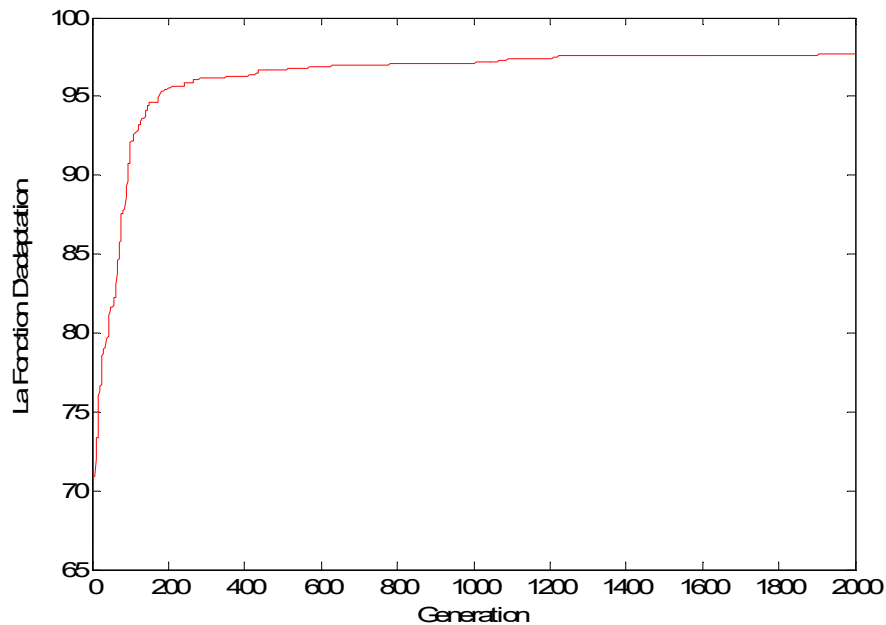


Figure IV.2 : Évaluation de la fonction d'adaptation

IV.4.2 Taux de couverture, handover et d'interférences

Après l'application de l'algorithme génétique sur la population initiale, c'est-à-dire la variation de la puissance à chaque génération par l'utilisation des opérateurs de croisement et de mutation, nous calculons la valeur de la couverture ainsi que le taux de handover et des interférences à chaque génération.

A chaque fois que nous varions la valeur de la puissance, nous constatons une augmentation du taux de couverture. Un taux de couverture qui a atteint une valeur maximale de 97.28% à la 2000e génération avec un taux de handover et d'interférence de 80% et 89.55% respectivement.

D'après les résultats nous pouvons déduire que plus la valeur de la puissance change plus le taux de trafic couvert augmente et plus le handover est réussi, mais en parallèle les interférences augmentent. Cette augmentation est enregistrée, car dans ce cas nous varions que la puissance, il se peut que la puissance de transmission puisse aller couvrir d'autre station de base (overshooting) mais aussi la principale cause est la variation d'un seul paramètre antenneur qui est la puissance.

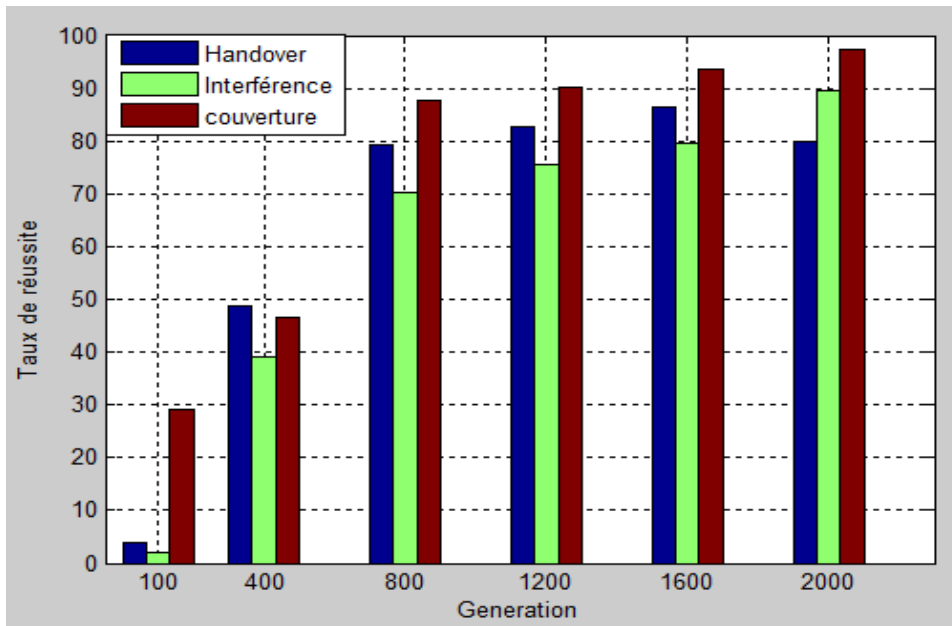


Figure IV.3 : Taux de couverture, handover et interférence à chaque génération

IV.4.3 Puissance reçue au niveau des Users Equipment

La figure IV.4 montre la variation de la puissance émise aux utilisateurs en Watt, qui est entre 10 et 2900 Watt pour les stations de base, voir une valeur entre 40 et 65 dBm. Cette variation explique bien les taux de la couverture et des interférences enregistrées.

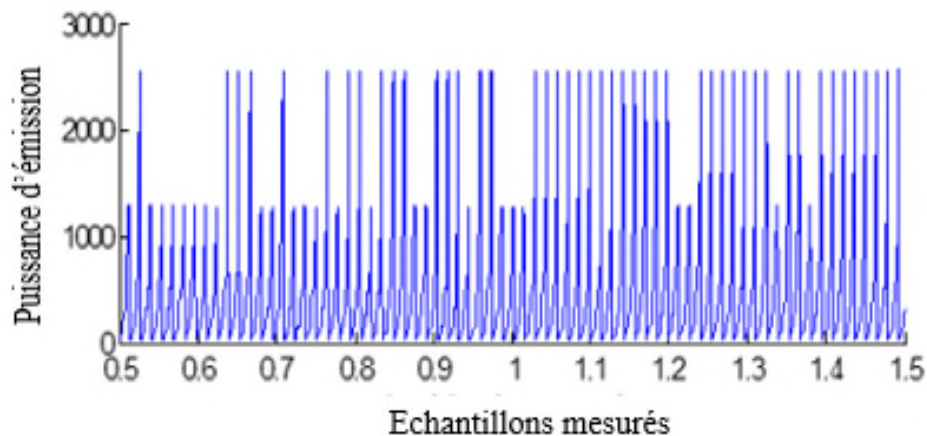


Figure IV.4 : Variation de la puissance en Watt

Le tableau ci-après montre les valeurs optimales des puissances en dBm choisies par l'algorithme génétique à la 2000e génération.

<i>Stations de base</i>	<i>Tilt(°)</i>	<i>Hauteur (m)</i>	<i>Puissance optimale (dBm)</i>
BS1	-5	28	42
BS2	-6	25	45.23
BS3	-5	30	47.25
BS4	-7	35	48
BS5	-6	28	41.23
BS6	-6	30	43.54
BS7	-6	35	53

Tableau IV.1 : Puissance optimale aux 2000 générations

D’après ce tableau nous pouvons constater que les valeurs hautes des puissances en Watt ne sont pas choisies par l’algorithme génétique, car elles représentent des valeurs non satisfaisantes pour la couverture et peuvent être causes de l’augmentation des interférences (overshooting).

IV.4.4 Simulations sur une seule cellule

Afin de valider nos résultats, nous avons testé la même simulation avec 5 utilisateurs dans chaque station de base, comme le montre la figure IV.5.

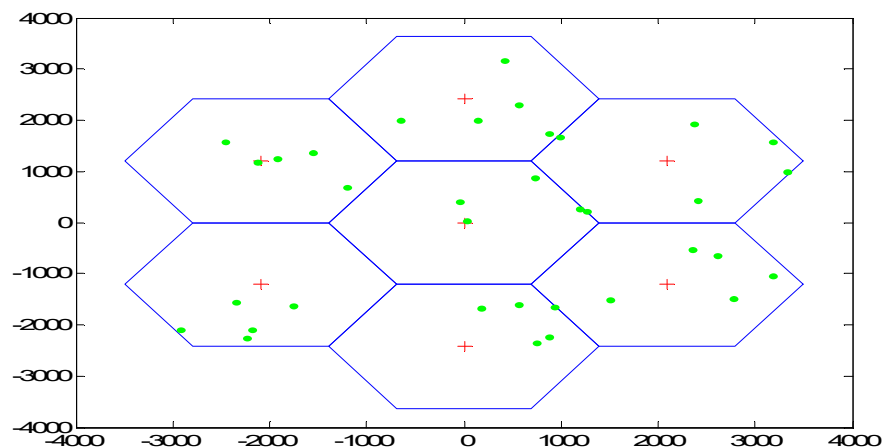


Figure IV.5 : Réseau avec 5 utilisateurs pour chaque station de base

Les valeurs des puissances reçues varient entre 0.1 et 2 Watt voir 20 et 60 dBm. Comme illustré dans la figure ci-dessous :

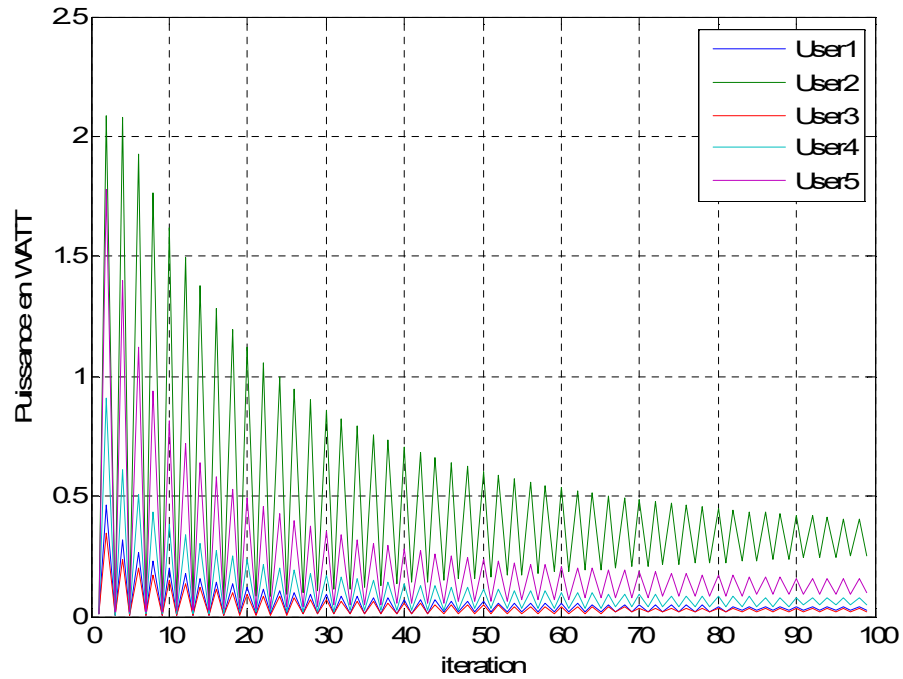


Figure IV.6 : Puissances reçues par chaque utilisateur

Les valeurs du rapport signal sur bruit pour chaque utilisateur sont données dans la figure IV.7. Nous remarquons que plus la puissance augmente plus la valeur du SINR augmente. C'est-à-dire que le nombre d'utilisateurs couverts augmente.

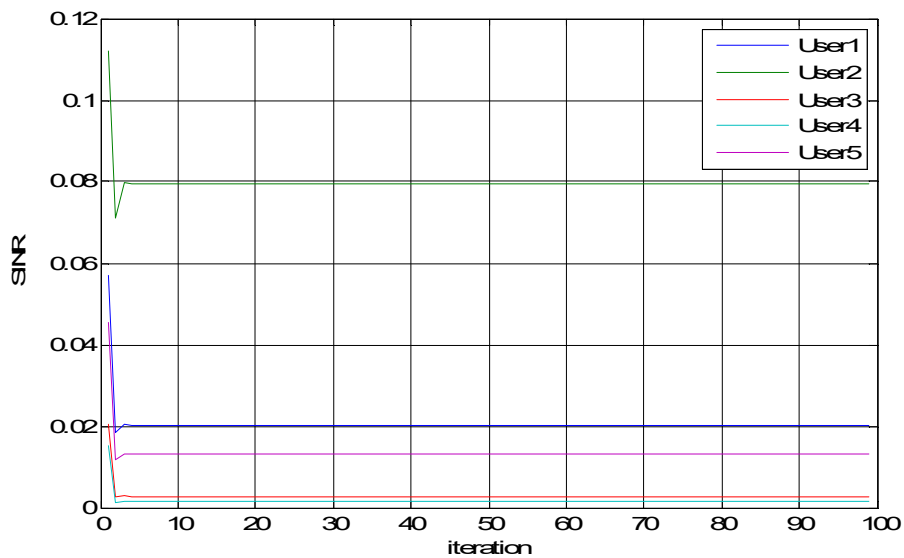


Figure IV.7 : Variation du SINR pour chaque utilisateur en Watt

IV.5 Simulations sur des sites tri-sectoriels

Dans cette partie, nous proposons d'étudier le réseau représenté dans la figure 4.8 composé de sept stations de base afin de voir l'impact des puissances de transmission sur la couverture radio en utilisant des antennes directionnelles. Cependant toutes les antennes ont une puissance de 25 dBm à 30dBm. L'objectif est de voir la couverture radio ainsi que les interférences au niveau de chaque zone.

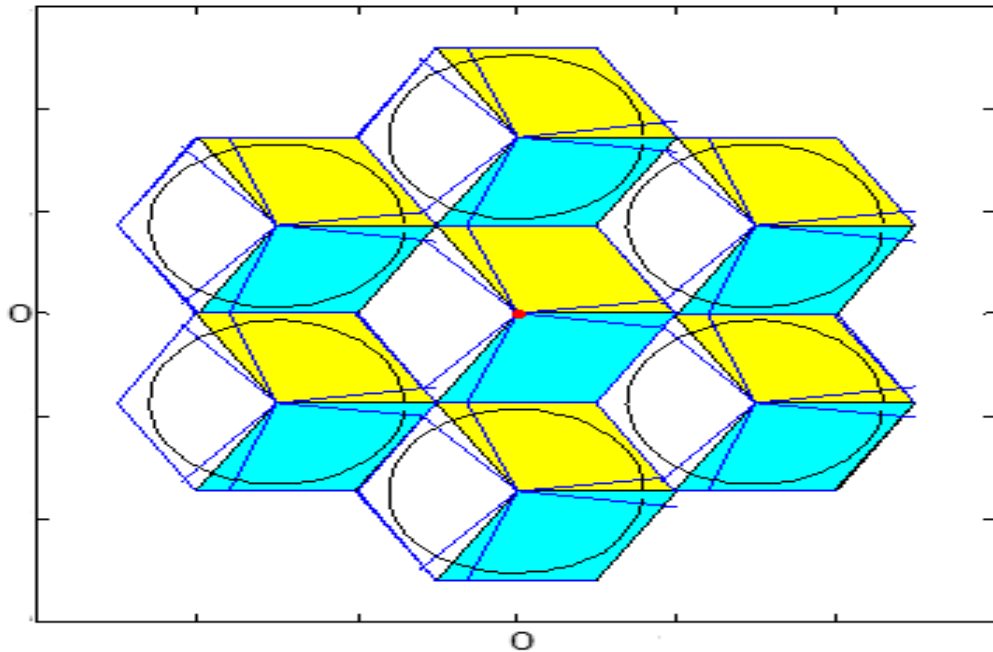


Figure IV.8 : Réseau tri sectoriel

Le schéma de réutilisation des fréquences complètes (IFR-1) est utilisé dans ce premier scénario, de sorte que la même bande de fréquence de 15 MHz est affectée à tous les secteurs.

D'autres parts nous notons aussi que le taux de couvertures est de 91.24%, un taux qui est suivie d'un faible pourcentage de handover. Ce faible pourcentage est dû au choix des puissances de transmission qui doivent être ajustées, afin d'avoir de bon résultat de couverture et une mobilité extrême.

La puissance du signal transmis a été ajustée pour couvrir toute la zone avec un signal suffisant sans dépassements inutiles (Figure IV.9). L'échelle à droite désigne les variations du FS selon chaque zone.

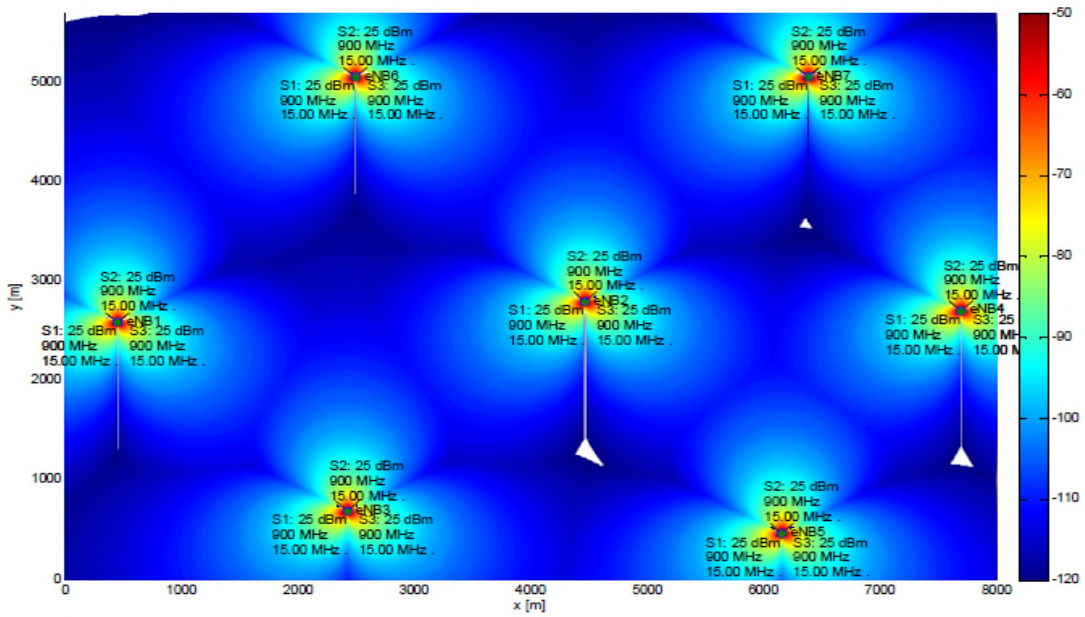


Figure IV.9 : Rayonnement antennaire des secteurs de chaque B.S

Pour mieux voir l'impact une autre fois nous avons changé la valeur de la puissance pour les trois secteurs de la station de base se trouvant en haut à gauche de 25dBm à 30 dBm. Nous avons remarqué et d'après le schéma de rayonnement que le rayon de couverture augmente par conséquent nous pouvons conclure que plus la puissance augmente plus la couverture augmente.

Néanmoins, cette augmentation n'est pas satisfaisante pour la couverture et peut être cause de l'augmentation des interférences (overshooting).

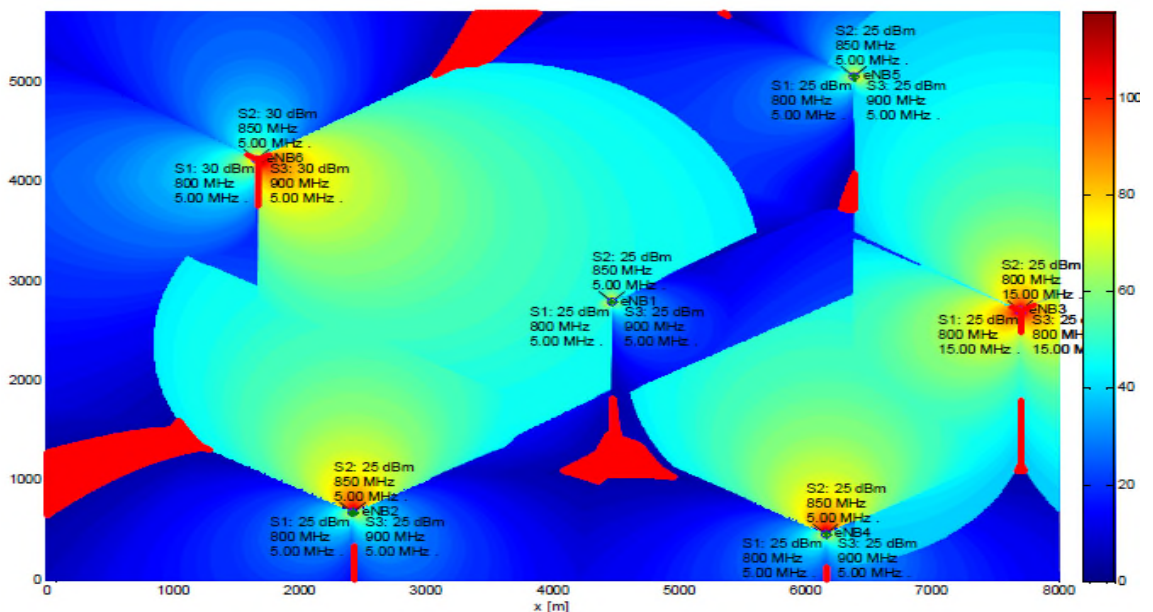


Figure IV.10 : Changement de puissance de la station de base en haut à gauche

Les zones critiques avec un faible SINR (Figure IV.10), bien que minimales, sont toujours présentes dans le deuxième scénario. Cela serait amélioré par le déploiement du contrôle de puissance et de l'ordonnancement ou bien le changement d'autres paramètres à savoir le tilt ou bien l'azimut.

Les interférences des zones intérieures des cellules pourraient être améliorées par la mise en œuvre d'une réutilisation de fréquences douces (SFR).

D'autre part, l'utilisation des antennes directionnelles donne des résultats plus performants par rapport aux antennes omnidirectionnelles.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé des résultats qui témoignent les différentes étapes des simulations réalisées.

Nous avons présenté l'impact de l'ajustement de la valeur de la puissance sur l'amélioration du taux de couverture et du handover. Néanmoins, les interférences étaient inévitables, elles sont dues principalement aux variations d'un seul paramètre antenneur qui est la puissance.

D'autre part, les valeurs élevées des puissances sont écartées par l'algorithme génétique, car elles ne satisfont pas la contrainte d'interférences.

Nous avons aussi étudié l'impact des antennes directionnelles sur les performances de la couverture avec comparaison entre deux cas ($P=25$ dBm et 30 dBm), nous avons constaté que les antennes directionnelles sont plus performantes que les antennes omnidirectionnelles.

Pour conclure, les solutions proposées pour améliorer les zones critiques à faible SINR seraient le déploiement du contrôle de puissance et de l'ordonnancement ou bien le changement d'autres paramètres, à savoir le tilt ou bien l'azimut ou encore l'utilisation de la SFR.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de notre travail est d'optimiser la couverture du réseau d'accès LTE sur la base d'un algorithme simplifiant les calculs lourds du dimensionnement de la couverture.

Le calcul de l'intensité de champ reçue nous a permis de déduire le nombre maximal d'utilisateurs couverts par le réseau. En passant par les formules propres à l'objectif prédéfini et aux contraintes de handovers et d'interférences auxquelles il est associé.

Pour y parvenir, nous sommes passées par quatre étapes essentielles, nous avons commencé par faire une étude approfondie du réseau LTE, ses objectifs, ses caractéristiques, son architecture et ses spécifications techniques.

Par la suite, nous avons expliqué le processus de planification et cité quelques techniques de maximisation de la couverture.

Une étude mathématique de la problématique posée sous différents aspects ainsi que la définition du processus appliqué, nous ont poussées à nous investir dans un outil de résolution du problème, les algorithmes génétiques.

Pour conclure nous estimons avoir atteint, à un certain degré notre objectif initialement fixé, qui était d'améliorer la couverture. Néanmoins, l'ajustement d'un seul paramètre demeure insuffisant, une meilleure approche serait alors d'étaler l'étude sur les autres paramètres ainsi que l'utilisation d'antennes tri-sectorielles qui ont montré leur apport lors des simulations.

Références bibliographiques

- [1] Yannick Bouguen, Éric Hardouin François, Xavier Wolff. “*LTE et les réseaux 4G*”. Groupe Eyrolles, 2012. ISBN : 978-2-212-12990-8 2002.
- [2] Houda TOUNSI. “*Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie Telecom*”. Mémoire master. Université virtuelle deTunis.
- [3] OUAMRI.M.A. “*Optimisation du réseau de téléphonie mobile pour une couverture maximale d'une région urbaine*”. Thèse de doctorat université de Bejaia. Soutenue en octobre 2017.
- [4] Nourredine TABIA. “*Modèles et algorithmes pour l'optimisation robuste dans les self-organizing network (SON) des réseaux mobiles 4G (LTE)*”. Thèse de doctorat. Université de Belfort -Montbéliard, 2013.
- [5] www.accuware.com/support/knowledge-base/what-is-the-signal-strength-rss/
- [6] Victor Ermolayev. “*Handover parameter optimisation in LTE*”. Article. MERA, Russia.
- [7] Cédric Seren. “*Optimisation du protocole d'essais pour l'identification de la dynamique du vol*”. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, 2007
- [8] Masood Maqbool. “*Radio Engineering of OFDMA Access Networks*”. Thèse de doctorat. Life Sciences [q- bio]. Télécom ParisTech, 2009.
- [9] Oussama Rhouma. “*Gestion d'interférence dans un réseau LTE hétérogène par contrôle d'admission cognitif*”. Thèse de doctorat. Université du Québec Institut National de la Recherche scientifique Énergie, Matériaux et Télécommunication, 2014.
- [10] Philippe Godlewski, Masood Maqbool, Marceau Coupechoux. “*Analytical Evaluation of Various Frequency Reuse Schemes in Cellular OFDMA Networks*”. Journal. TELECOM ParisTech & CNRS LTCI 46, rue Barrault 75013 Paris, France, 2012.
- [11] I.K. Valavanis, G.E. Athanasiadou, D. Zarbouti, G.V. Tsoulos. “*Base-Station Location Optimization for LTE Systems with Genetic Algorithms*”. Article. Université de Peloponnese, Department d'Informatiques et Telecommunications, Tripoli 22100, Greece.

- [12] Aida Al-Samawi, Aduwati Sali, Nor Kamariah Noordin et al. “ *Base Station Location Optimisation in LTE using Genetic Algorithm* ”. Article. Dept. of Computer & Communication Systems Engineering Faculty of Engineering, UPM, 43400, Selangor, Malaysia.
- [13] Nourredine Tabia, Oumaya Baala, Alexandre Caminada, Alexandre Gondran. “ *Impact des paramètres antennaires sur la couverture dans les réseaux LTE* ”. 2012, 13ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d’Aide à la Décision, Apr 2012, Angers, France. pp xxxx, 2012.
- [14] Qichen Deng. “ *Antenna Optimization in Long-Term Evolution Networks* ” Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2013.
- [15] Ahmed Hamdi Abo Absa. “ *LTE Antenna’s Parameter Enhancement for Mobile Communication Applications* ”. Thèse de doctorat. The Islamic University Gaza Higher Education Deanship. Faculty of Engineering Electrical Engineering Communication Systems, 2012.
- [16] Mohammed Jaloun, Zouhair Guennoun and Adnane Elasri. “ *Use of genetic algorithm in the optimisation of the LTE deployment* ”. Article. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 3, No. 3, June 2011.
- [17] Badr Benmammar. “ *Optimisation de la QoS dans un réseau de radio cognitive en utilisant la métaheuristique SFLA (Shuffled Frog Leaping Algorithm)* ”. Article. Laboratoire de Télécommunications Tlemcen Université de Tlemcen, Algérie.
- [18] Michel Gendreau and Jean-Yves Potvin. Chapitre 2 “ *Tabu Search* ”. Article. Ecole Polytechnique de Montréal, and Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d’entreprise, la logistique et le transport, Montréal, QC, Canada, 2010.
- [19] Hisham El Shaer. “ *Interference Management In LTE-Advanced Heterogeneous Networks Using Almost Blank Subframes* ” Thèse de doctorat.
- [20] Premchandra Kumar, Bhushan Patil, Suraj Ram. “ *Selection of Radio Propagation Model for Long Term Evolution (LTE) Network*”. International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 1, January-February, 2015.

[21] www.3glteinfo.com/lte-handover-overview

Résumé

L'optimisation des paramètres des sites notamment, de la puissance de transmission, sur la couverture des réseaux LTE fait l'objet de travaux de recherches pour améliorer leurs performances.

Ce mémoire s'inscrit dans cette thématique. Nous y abordons quelques techniques de maximisation de la couverture y compris l'IFR-1 et L'IFR-3 et nous proposons une approche d'optimisation à base d'algorithmes génétiques. Cela permet un ajustement quasi-optimal de la puissance antennaire afin de maximiser la couverture radio sous les contraintes d'ICI et de handovers. Notre étude mérite une généralisation à tous les paramètres antennaires.

Mots clés : algorithme génétique, couverture, LTE puissance de transmission, IFR-1, ICI, Handover,

Abstract

The optimization of site parameters, in particular, transmission power, on LTE network coverage is the subject of research to improve their performance.

This thesis is part of this theme. We discuss some techniques for maximizing coverage including IFR-1 and IFR-3 and propose an optimization approach based on genetic algorithms. This allows an almost optimal adjustment of antenna power to maximize radio coverage under the constraints of ICI and handovers. Our study deserves a generalization to all antennal parameters.

Key words: LTE, coverage, transmission power, IFR-1, ICI, Handover, genetic algorithm.