

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

MEMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Domaine : Science et Technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

*Sélection des paramètres antennaires macro
et micro dans un réseau LTE hétérogène*

Présenté par :

M^{lle}. HAMOUCHE Lydia

M^{lle}. OUGOUR Hamama

Dirigé par :

M. AZNI.M

M. OUAMRI.M. A

Devant le Jury

Présidente Mme.MAZHOUD.N

Examinatrice Mme. HAMZAOUI.D

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier " ALLAH " qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de l'Université A. MIRA-BEJAIA, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenant à remercier sincèrement nos encadreurs M OUAMRI.M.A, M AZNI.M et M TOUNSI.M de nous avoir honoré par leur encadrement, pour leurs disponibilités, leurs orientations et leurs précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions les membres du jury, Mme N.MAZHOUD et Mme D.HAMZAOUI d'avoir accepté de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi à nos parents et amis pour leurs contributions, leurs soutiens et leurs encouragements.

Merci à tous et à toutes.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma chère et aimée maman Farida ;

A mon père Malek ;

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chers frères, Sofiane et Mahdi,

A mes chères sœurs Tidia, Rima et son époux Yacine,

A ma belle-sœur Assia,

Pour leurs soutiens et conseils précieux tout au long de mes études.

A mes chers neveux ADEM et Amir,

A mes chères amies Daouia, Cilia, Doucha et Katia,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

A mon cher binôme Lydia,

Pour son entente et sa sympathie.

A toute ma famille.

A tous mes autres ami(e)s.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et réussite.

Hamama.

Dédicace

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, Gouraya, Dyhia, Emma et Lyssia,

Pour leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon petit et unique frère Sirem,

Pour son amour.

A mon cher Mari Smail,

Qui m'a aidé et conseillé dans les moments difficiles.

A mes chers beau frères Zoubir et Younes,

A mon cher binôme Hamama,

Pour son entente et sa sympathie.

A mes chers amis, Racha, Sarah, Thiziri, Nabil et Salim

Pour les moments de joie qu'on a passée ensemble.

A toute ma famille,

A toute ma belle-famille,

A tous mes autres amis,

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Lydia.

Table de matières

Remerciements

Dédicaces

Table de matières

Liste de figures

Liste des acronymes

Introduction générale..... 1

Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux LTE

1. Introduction	2
2. Historique des réseaux cellulaires	2
3. Concept des réseaux cellulaires	3
3.1. Architecture hexagonale	3
3.2. Réutilisation de fréquence	4
4. Réseau long terme évolution	6
4.1. Principe	6
4.2. Architecture	7
4.2.1. User Equipment.....	7
4.2.2. Réseau d'accès E-UTRAN.....	7
4.2.3. Réseau cœur EPC	8
4.2.4. Interfaces réseau	8
4.3. Techniques d'accès OFDM	9
4.3.1. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access	11
4.3.2. SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access	12
5. Canal MIMO	12
6. Qualité de service dans les réseaux cellulaires	13
7. Réseau cellulaire LTE hétérogène.....	13
7.1. Couverture dans un réseau LTE hétérogène.....	14
8. Conclusion.....	15

Chapitre 2 : Dimensionnement et planification

1. Introduction	15
2. Dimensionnement d'un réseau LTE	15
2.1. Emplacement des stations de bases	15
2.2. Etude et choix des paramètres antennaires.....	16
3. Planification d'un réseau LTE	16
3.1. Planification de la couverture	17
3.2. Planification de la capacité	17
3.3. Planification d'un point de vue économique	18
4. Interférence dans le réseau LTE	18
4.1. Interférence intercellulaire	19
4.2. Interférence intracellulaire	20
5. Coordination d'interférence dans les réseaux LTE	21
5.1. Coordination statique d'interférence	21
5.2. Coordination dynamique d'interférence	22
6. Optimisation des réseaux LTE	22
6.1. Optimisation multi objective.....	23
7. Planification réelle au niveau opérateur	23
8. Conclusion	24

Chapitre 3 : Couverture réseau et paramètres d'antennes

1. Introduction	26
2. Paramètres antennaires	26
2.1. Type d'antenne	26
2.2. Puissance de transmission	27
2.3. Tilt et Azimut	27
2.4. Hauteur de la station de base	28
3. Modèle de propagation	29
3.1. Modèle d'okumra –Hatta	29
3.2. Modèle de propagation Walfish-Ikegami	30
3.3. Calibrage du modèle de propagation	31
4. Intensité du signal et rapport signal sur bruit	31
5. Handover inter et intra cellulaire	33

6. Conclusion	34
---------------------	----

Chapitre 4 : Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

1. Introduction	37
2. Environnement de simulation	37
3. Résultats de simulation	37
3.1. Problème d'emplacement de la micro station de base	37
3.2. Influence de la puissance de transmission sur la couverture	42
3.3. Influence de la hauteur sur la couverture réseau LTE Het Net	43
3.4. Optimalité en hauteur, puissance, tilt	44
4. Conclusion	46

Conclusion générale	47
----------------------------------	-----------

Bibliographie

Liste de figures

Chapitre 1

Figure 1.1. Structure hexagonale d'une cellule	4
Figure 1.2. Structure réelle d'une cellule	4
Figure 1.3. Classifications de zone de couverture par région	5
Figure 1.4. Réutilisation de fréquence dans la norme GSM	5
Figure 1.5. Distance de réutilisation et rayon de la cellulaire	6
Figure 1.6. Architecture Fonctionnelle du réseau LTE	7
Figure 1.7. Interface Radio E-UTRAN	8
Figure 1.8. Réseau Cœur EPC	8
Figure 1.9. Interfaces radio	9
Figure 1.10. Schéma de Modulation de la technique OFDM	10
Figure 1.11. Représentation du préfixe cyclique CP dans OFDM	10
Figure 1.12. Techniques de transmission SC-FDMA	12
Figure 1.13. Principe de base de la transmission MIMO	13
Figure 1.14. Réseau LTE Hétérogène	14

Chapitre 2

Figure 2.1. Etapes de dimensionnement	15
Figure 2.2. Illustration de deux stations de bases dans une région de 10×10 km	16
Figure 2.3. Interférence Inter-cellulaire Dans le sens Descendant	19
Figure 2.4. Interférence Intra-cellulaire Dans le sens Descendant	20
Figure 2.5. Réutilisation fractionnelle des fréquences (FFR)	21
Figure 2.6. Coopération Dynamique d'Interférence	22
Figure 2.7. Vérification de site unique	24
Figure 2.8. Test de conduite intersites	24
Figure 2.9. Solution d'optimisation de la Radio Fréquence	24

Chapitre 3

Figure 3.1. Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnel	27
Figure 3.2. Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnel	27
Figure 3.3. Représentation du Tilt	28
Figure 3.4. Représentation de l'azimut	28
Figure 3.5. Hauteur d'antenne dans un milieu de propagation en présence d'obstacle..	29
Figure 3.6. Comparaison de couverture avec puissance de réception.....	32
Figure 3.7. Représentation du calcul Rapport signal sur Bruit	33
Figure 3.8. Handover Intercellulaire	34

Chapitre 4

Figure 4.1. Illustration de l'environnement réseau étudié	37
Figure 4.2. (a). Rayonnement de la Micro et macro station de base avec une distance $d = 4000$	38
Figure 4.2. (b). Niveau RSSI	39
Figure 4.2. (c). Overshooting causé par la micro station de base sur la macro station de base	40
Figure 4.3. (a). Map de la couverture des deux stations de base séparé d'une distance $d = 8000m$	40
Figure 4.3. (b). Niveau RSSI après modification de la distance	41
Figure 4.3. (c). Elimination de l'overshooting par déplacement de la micro station de base	42
Figure 4.4. Influence de la puissance de transmission d'une macro station de base sur la couverture radio dans un environnement HetNet.....	43
Figure 4.5. Probabilité de couverture en fonction de la distance avec des hauteurs différentes.	44
Figure 4.6. Comparaison et choix du paramétrage optimal pour le réseau	45

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
5G	5th Generation of Wireless Communication Technology

A

ASK	Amplitude Shift Keying
AVDL	Antenna Vertical Diagram Loss

B

BTS	Base Transceiver station
BS	Base Station

C

CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Cyclic Prefix

E

EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

F

FFT	Fast Fourier Transform
FSK	Frequency Shift Keying
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFR	Fractional Frequency Reuse

H

HeNB	Home eNodeB
HetNet	Heterogeneous Networks

HS	Home Subscriber Serve
I	
ISI	Inter-Symbol Interference
ICI	Inter-Cell Interference
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMT-2000	International Mobile Télécommunication-2000
IP	Internet Protocol

G

GSM	Global System for Mobile Communication
------------	--

K

KPI	Key Performance Indicator
------------	---------------------------

L

LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution

M

MeNB	Macro cell e-Node B
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service

N

NLOS	Non-Line of Sight
-------------	-------------------

O

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access

P

PAPR	Peak to Average Power Ratio
PDN	Packet Data network
P-GW	Packet-Switch Gateway

PSK	Phase Shift Keying
PSO	Partical Swarm Optimisation
Q	
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R	
RB	Resource Bloc
RSSI	Received Signal Strength Indication
RSB	Resource Station Base
RSRP	Reference Signal Received Power
S	
S1-c	S1-Contrôle
S1-u	S1- Usager
SBs	Servent Base Station
SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access
SC	Single Carrier
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
S-GW	Serving Gateway
SMS	Short Message Service
SON	Self Organization Network
SSV	Single Site Verification
T	
TDMA	Time Division Multiple Access
TTI	Transmission Time Interval
U	
UE	User Equipement
UIT	International telecommunication Union
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

V

VoIP

Voice over IP

W

W-CDMA

Wideband Code Division Multiple Access

Dans les systèmes de télécommunication, les réseaux mobiles occupent notamment depuis leur apparition une place plus importante en termes de recherche et d'investissement. Ils ont connu durant les dernières années des évolutions de toutes parts, et les opérateurs ne cessent d'offrir de nouvelles gammes de services. L'objectif était d'avoir un moyen de télécommunication sans fil fiable et capable de transmettre la voix d'un point donné à un autre en bonne qualité de service.

Notre mémoire aura comme but d'étudier et d'analyser le réseau cellulaire. Après avoir rappelé les évolutions successives qui ont caractérisé les réseaux mobiles, nous allons par la suite nous intéresser à la dernière norme standardisée, le réseau Long Term Evolution (LTE). Dans LTE, nous aborderons en particulier les techniques d'accès utilisées, les canaux de transmission, dont MIMO (Multiple Input Multiple Output) et la qualité de service.

Afin de déployer un réseau LTE, les phases de dimensionnement et de planification sont essentielles avant la réalisation. Après ces étapes, viennent la sélection des paramètres antennaires d'une manière statique dans un réseau LTE hétérogène comportant des stations micro et macro cellule, en utilisant un modèle de propagation convenable, dans le but d'avoir une meilleure capacité et couverture, ainsi que moins d'interférences.

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 la planification d'un réseau LTE. Les interférences inter et intra cellulaires ainsi que les coordinations dynamiques et statiques, et l'optimisation seront aussi considérées à la fin de ce chapitre.

Le troisième chapitre porte sur le choix des paramètres antennaires, à savoir les modèles de propagation convenables et l'intensité, et rapport signal sur bruit.

Le dernier chapitre va exposer les résultats des simulations réalisées sous MATLAB ainsi que leurs interprétations. Nous terminons par une conclusion générale dans laquelle seront présentées les perspectives.

Chapitre 1 :

Généralités sur les réseaux

LTE

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les généralités et les caractéristiques des réseaux cellulaires. Après avoir rappelé les évolutions successives qui ont caractérisé les réseaux mobiles, nous définirons le concept de réseau cellulaire. Nous allons par la suite nous intéresser à la dernière norme standardisée, le réseau Long Term Evolution (LTE). Dans LTE, nous aborderons en particulier les techniques d'accès utilisées, les canaux de transmission dont MIMO (Multiple Input Multiple Output) et la qualité de service.

2. Historique des réseaux cellulaires

Le réseau cellulaire est un réseau de communication spécialement destiné aux équipements mobiles sans support matériel. Il permet la communication entre les unités qui le composent ainsi qu'avec l'ensemble des abonnés au réseau mobile par la présence des stations radios couvrant chacune une cellule et permettant ainsi la communication longue distance. L'onde radio dans le cas d'un réseau cellulaire est le lien entre l'abonné et l'infra structure de l'opérateur.

Les normes radio mobile ont marqué l'évolution des réseaux cellulaires depuis les années 80. Chaque nouvelle norme présente plus de performance et de succès que sa précédente avec un changement d'appellation et de fonctionnement, en passant de 1G jusqu'à 4G et même 5G qui est en cours de développement. Chacune se différencie de l'autre principalement par les techniques mises en œuvre pour accéder à la ressource radio. Dans les années 80, la première génération appelée 1G a été le début d'une grande révolution dans le monde de la téléphonie. Elle transmet en mode analogique et est en mesure de ne gérer que le trafic voix, avait des ressources couteuses et limités, et une commutation de circuit. Ensuite, la seconde génération de réseaux mobiles notée 2G, apparue dans les années 90, est basée sur la transmission numérique, permettant une sécurité des données, apporte une bonne qualité et une capacité importante à moindre coût aux usagers et aussi utilise la commutation de circuits et paquets.

La 2G repose principalement sur le standard *GSM (Global System For Mobile Communication)*, premièrement appliqué en Europe avec une bande de fréquence 900MHz-1800MHz puis au Etat Unis avec une bande de fréquence de 850MHz-1900MHz. Dans GSM les services de transmission de données sont sous la forme de message texte SMS (Service de message court) et message multimédia (MMS). La norme GSM accepte un débit maximal 9,6Kbps. Ce standard est basé sur la technique TDMA (*Time Division Multiple Access*) ainsi

que le découpage temporel des canaux de communication afin d'augmenter le volume de données. En outre la troisième génération (3G), apparue dans les années 2000, est une génération de système mobile IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication for the year 2000*) de l'UIT (*International télécommunication Union*). Elle utilise une transmission numérique et permet des services avec une accélération de transfert de données essentiellement pour la voix, MultiMedia et l'internet. La 3G utilise aussi la commutation circuit et paquet. La principale norme de cette génération qui est appliquée en Europe est appelée UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Elle utilise une bande de fréquences de 5MHz pour transmettre la voix et les données avec des débits de 384Kbps à 2Mbps. La 3G a été basée sur un codage W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). Finalement l'apparition de la nouvelle génération appelée 4G dans les années 2010, est basée sur une transmission numérique d'un service Multimédia. Elle assure un transfert de données de meilleure qualité avec une latence très réduite. La norme 4G utilisée en France est le LTE (*Long Terme Evolution*), elle se sert des bandes de fréquence des 800 MHz et 2600MHz. Elle est basée sur la technologie OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) ainsi que l'utilisation de la commutation paquet [1] [2].

3. Concept des réseaux cellulaires

Le concept de cellule est défini comme une solution à la contrainte de la limitation de la ressource radio, il rend la possibilité d'accéder à des capacités importantes illimités au moyen d'un grand nombre de stations radio dont chacune couvre une surface géographique appelée une cellule. Ce concept consiste à diviser un territoire en cellules adjacentes dont chacune est couverte par une station de base, appelée BTS (*Base Transceiver station*) [3]. Un ensemble de ces dernières est distribué uniformément sur un secteur géographique assurant la liaison entre les mobiles et le réseau [4]. Les BTS ou bien stations de base regroupent un ensemble d'antennes selon la surface de couverture.

3.1. Architecture Hexagonale

La structure de la zone couverte (zone rurale, zone urbaine...etc.) est un facteur important et primordial dans l'initiation du réseau [2]. En effet, l'opérateur a pour but de choisir les positions des BTs afin de couvrir une zone géographique définie dans son réseau. Chaque zone est couverte par un émetteur dans une cellule [4]. Une cellule est sous forme d'un hexagone (voir la figure 1.1) (En Théorie), or, il est le motif géométrique le plus proche

d'un cercle (voir la figure 1.2). Pratiquement, il existe des zones de recouvrement entre cellules adjacentes, qui créent des interférences intercellulaires.

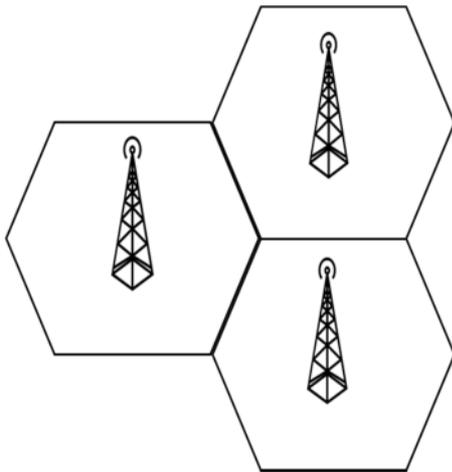


Figure 1.1. Structure Hexagonale.

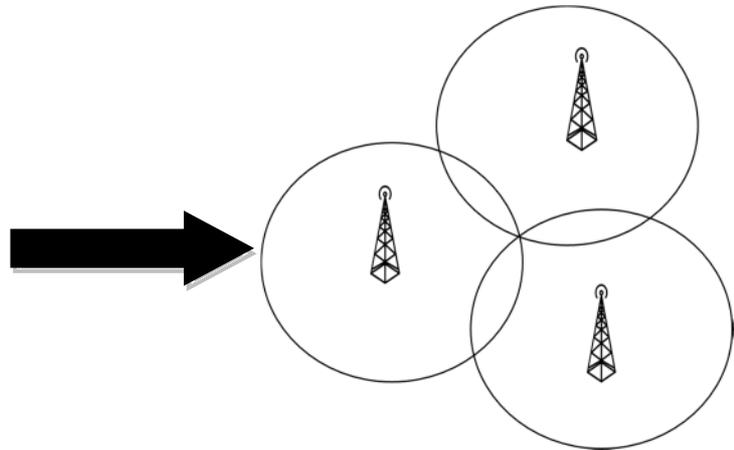


Figure 1.2. Structure réelle.

La taille d'une cellule est variable, elle dépend de plusieurs facteurs tel que le nombre d'utilisateurs (plus le nombre d'utilisateurs est considérable, plus la taille de la cellule sera petite) ainsi que la fréquence d'émission. Les cellules se différencient en plusieurs types caractérisées en fonction de leurs rayons de couverture, le trafic et la puissance d'émission de leurs stations de base [2].

L'opérateur utilise des microcellules de quelques dizaines à une centaine de mètres de rayon pour écouler un trafic important par unité de surface dans les zones urbaines. Souvent ces zones ont une couverture meilleure assurée par des antennes sectorielles de gains élevées (11 dB pour les antennes omnidirectionnelles). Contrairement aux zones rurales (suburbaines) moins peuplées qui utilisent des macros cellules de plusieurs kilomètres (en allant jusqu'à 30 km de diamètre) [4]. Les cellules pico peuvent servir à couvrir des grandes zones intérieures, leurs antennes peuvent être placées comme celles des stations de base micro la figure 1.3 illustre les différents types de cellules par région [5].

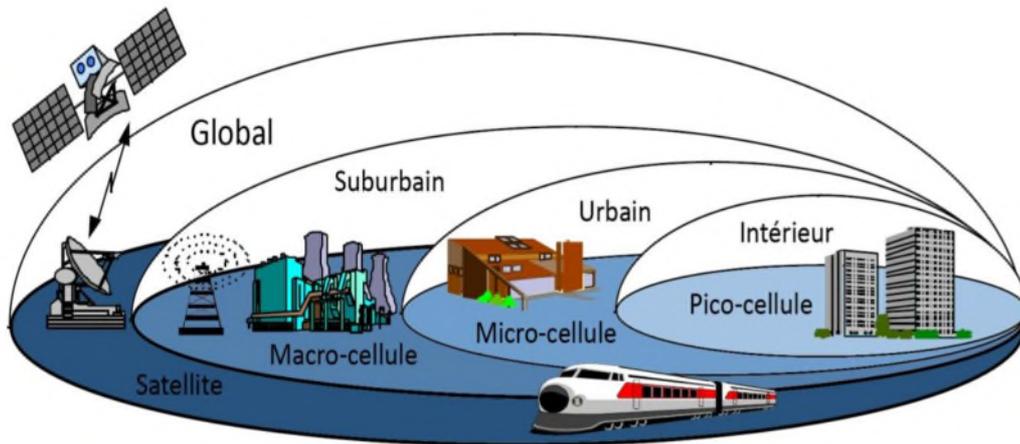


Figure 1.3. Classification des zones de couverture par région [6].

3.2. Réutilisation de fréquence

L'opérateur dispose d'une zone à couvrir et d'une bande de fréquences. Dans les systèmes tel que le GSM, cette bande est partagée en deux sous bandes, dont l'une est utilisée pour les liaisons mobiles vers l'infrastructure (liaisons montantes) et l'autre dans le sens inverse, infrastructure vers mobiles (liaisons descendantes). Chaque sous bande est ensuite partagée en un certain nombre de porteuses. Une porteuse peut écouler une ou plusieurs communications simultanément. La distance de réutilisation dépend de la grandeur des cellules et des groupes de fréquences N , qu'on utilise dans le modèle de réutilisation des canaux. Plus N est grand plus la distance de réutilisation est grande. Il existe une relation entre le nombre de groupes et les coordonnées des cellules de groupe de fréquences identiques.

Pour déterminer cette relation, on doit considérer en premier, l'approche systématique suivante, qui permet de trouver les cellules de canaux identiques dans un modèle de cellule régulier, comme le montre la figure I.4.

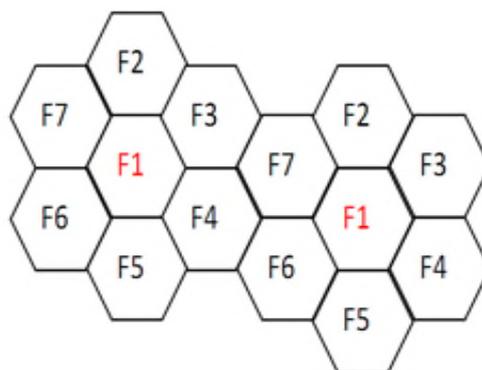


Figure 1.4. Réutilisation de fréquence dans la norme GSM.

Un motif ayant un nombre de fréquences données est optimal s'il est régulier, c'est-à-dire s'il est invariant par une rotation de 120 degrés. Dans ce cas, la taille du motif N vérifie la relation exprimée par l'équation (1.1) :

$$N = i^2 + i \times j + j^2 \tag{1.1}$$

Où i et j sont des entiers naturels positifs ou nuls. Les exemples de valeurs de N possibles sont 7, 9, 12, 19, 21. La distance de réutilisation D entre cellules peut être trouvée comme suit (voir l'équation (1.2)) :

$$D = \sqrt{3N} \times R \tag{1.2}$$

Où R est le rayon de la cellule et N est le numéro de groupe de fréquences [7].

Une illustration de concept de réutilisation de fréquences est montrée par la figure 1.5.

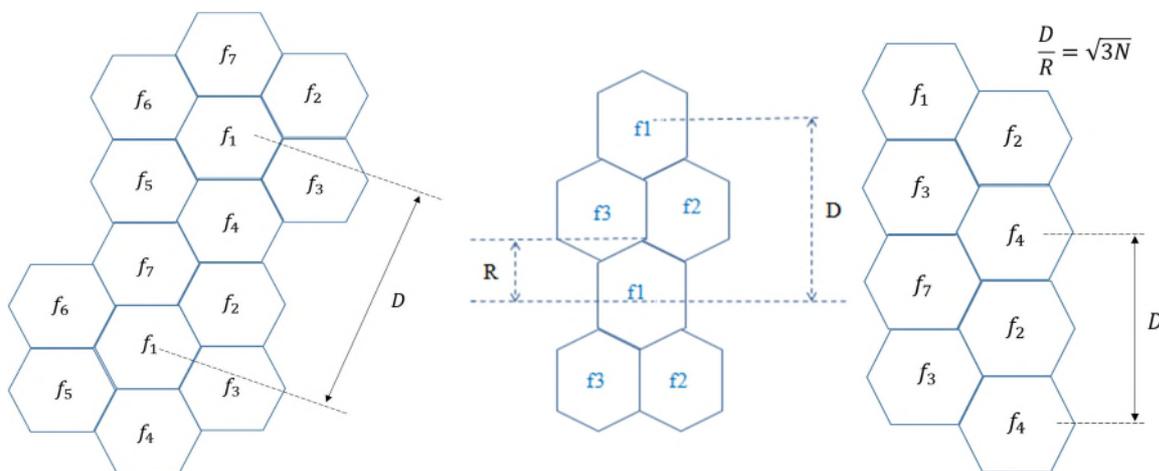


Figure 1.5. Distance de réutilisation et rayon de la cellulaire.

4. Réseau long term évolution

4.1. Principe

Le LTE (*Long Term Evolution*) désigne une norme saisie par l'organisme de standardisation 3GPP qui permet d'améliorer la norme UMTS de la troisième génération (3G). Les buts visés pour le LTE consistent en le transfert des données à très haut débit de l'ordre de 50Mbps, avec une portée plus importante, une latence plus faible, un nombre d'appels par cellule plus élevé, une meilleure qualité de service avec une réduction des coûts. LTE est basé sur des techniques radios telles que la technique SC-FDMA (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*) pour le sens montant, et OFDMA (*Orthogonal*

Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant. Pour l'émission-réception la technique MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) est aussi utilisée [8].

4.2. Architecture

La 4G présente une architecture qui comporte un réseau d'accès E-UTRAN, et un réseau cœur transportant des paquets de données tout-IP « EPC », ceci formant le système « EPS/LTE » appelé « LTE » [2]. Le réseau LTE est caractérisé par une architecture très simplifiée et uniquement commutée par paquets, comme illustré dans la figure 1.6.

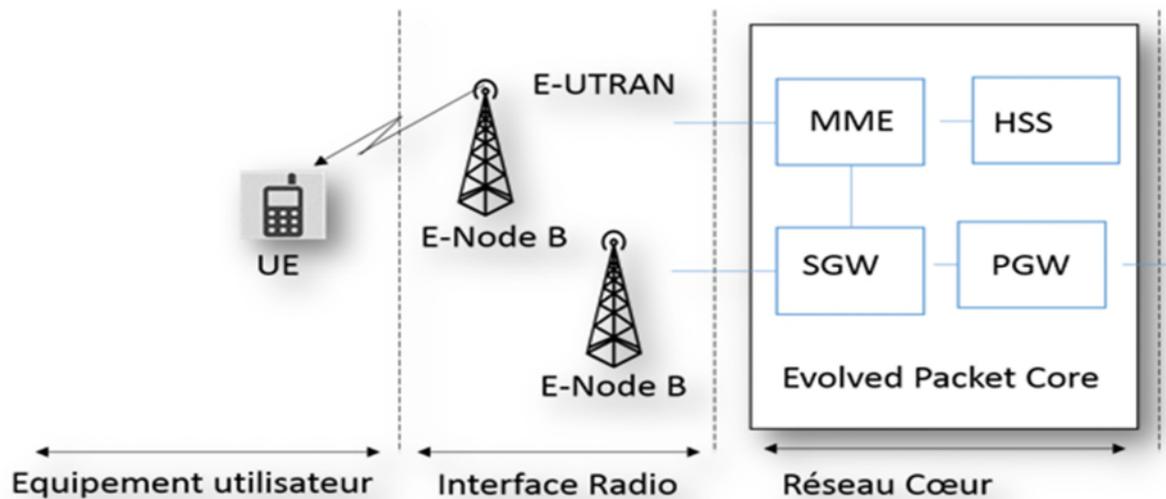


Figure 1.6. Architecture fonctionnelle du réseau LTE.

Comme montré par la figure 1.6, les différentes parties de ce réseau sont l'UE (*User Equipment*), le réseau d'accès E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) et le réseau cœur EPC (*Evolved Packet Core*).

4.2.1. User Equipment (UE)

L'équipement UE désigne la station mobile dans un réseau LTE et permet l'accès à ce dernier et à ses services.

4.2.2. Le réseau d'accès E-UTRAN

Cette partie permet la connexion des utilisateurs et l'acheminement des données vers le cœur du réseau. Elle est constituée d'un nœud unique Evolved NodeB ou eNodeB qui a pour fonction principale la gestion de la ressource radio avec le UE [2]. Le réseau d'accès est illustré par la figure 1.7

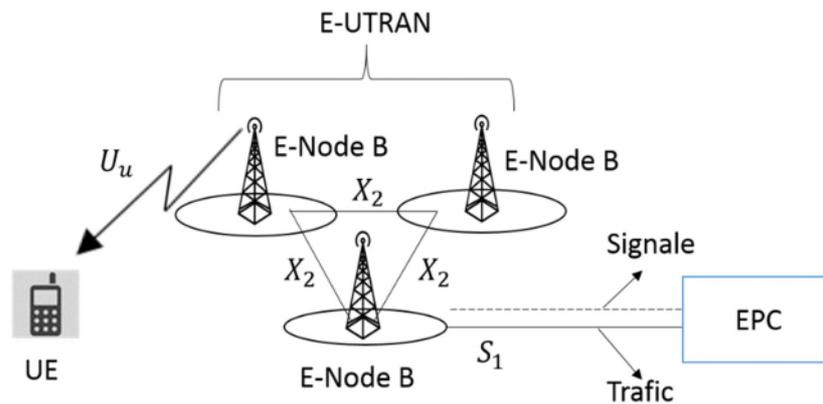


Figure1.7. Réseau d'accès E-UTRAN.

4.2.3. Le réseau cœur EPC

Le réseau EPC (Evolved packet Core) est défini par le 3GPP afin de servir le réseau LTE. Il est composé d'équipements qui doivent supporter la connectivité tout-IP dans l'architecture LTE. D'autre part, l'EPC assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la qualité de service et la gestion de la sécurité [8], au moyen des différents équipements qui le constituent et qui sont représentés dans la figure 1.8.

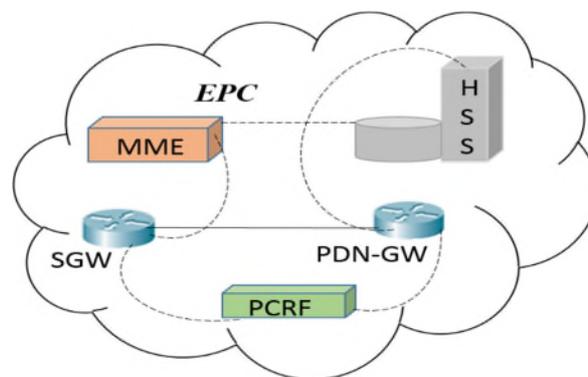


Figure1.8. Réseau Cœur.

4.2.4. Interfaces réseaux

Plusieurs interfaces réseaux sont définies pour les réseaux LTE (voir figure 1.9). Nous pouvons citer notamment les interfaces qui suivent :

U_u : Interface entre l'utilisateur et eNodeB. C'est l'interface radio de l'E-UTRAN qui est basée sur l'OFDMA dans le sens descendant et SC-FDMA dans le sens montant des communications.

X_2 : Unique au réseau LTE, se charge du Handover entre les eNodeB du réseau d'accès E-UTRAN et le réseau cœur EPC ainsi que la coordination des interférences entre Stations de base adjacentes

S_1 : Elle se focalise entre le réseau d'accès E-UTRAN et le réseau cœur EPC et se compose de deux sous interfaces :

- S_{1-c} (S1-Contrôle) : entre l'eNodeB et le MME, chargée des signalisations de contrôle.
- S_{1-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.

S_5/S_8 : Entre S-GW et P-GW.

S_{11} : Entre S-GW et MME.

s_{6a} : situé entre le MME et HSS, utilisée par le MME pour chercher les souscriptions et les informations d'authentications dans le HSS.

S_{10} : Interface entre les MME, c'est une interface de signalisation.

SGI : interface entre le P-GW et le réseau IP, utilisé par le P-GW pour envoyer et recevoir les données en provenance du réseau informatique externe.

Gx : permet au RCRF de demander l'installation des supports EPC avec QoS appropriée [9].

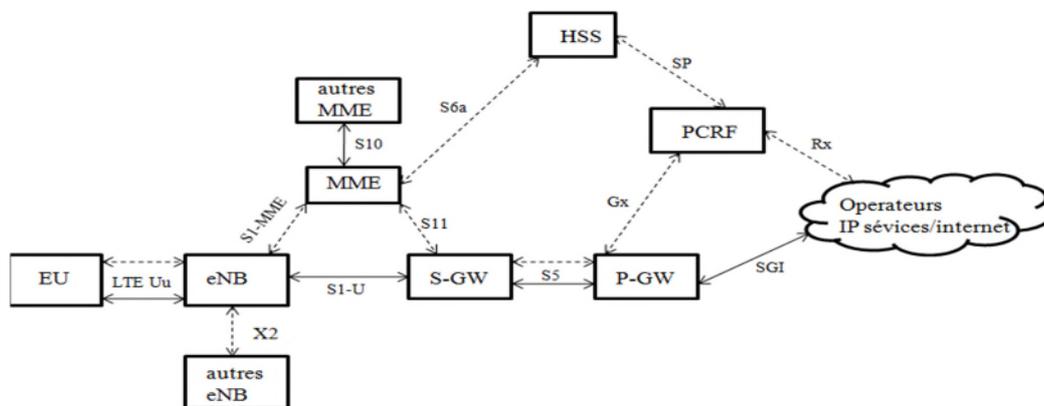


Figure 1.9. Les interfaces réseaux.

4.3. Techniques d'accès OFDM

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de transmission de données qui repose sur une modulation multi porteuses. Le principe de base est de diviser la bande de fréquence en N sous-canaux (ou sous-porteuses) orthogonaux et uniformes. En effet, cette technique présente une bonne solution pour les trajets multiples et lutte contre les interférences entre symboles (IES). Pour répartir les données à transmettre sur les N porteuses, on groupe les symboles c_k par paquets de N . La séquence de N

symboles c_0, \dots, c_{n-1} constitue un symbole OFDM. Le $k^{\text{ème}}$ train de symboles parmi les N trains module un signal de fréquence. Le signal modulé du train k s'écrit sous forme complexe :

$$c_k e^{j2\pi f_k t} \tag{1.3}$$

Le signal total $s(t)$ correspond à l'ensemble des N symboles réassemblés en un symbole OFDM (voir la figure 1.10):

$$S(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi f_k t} \tag{1.4}$$

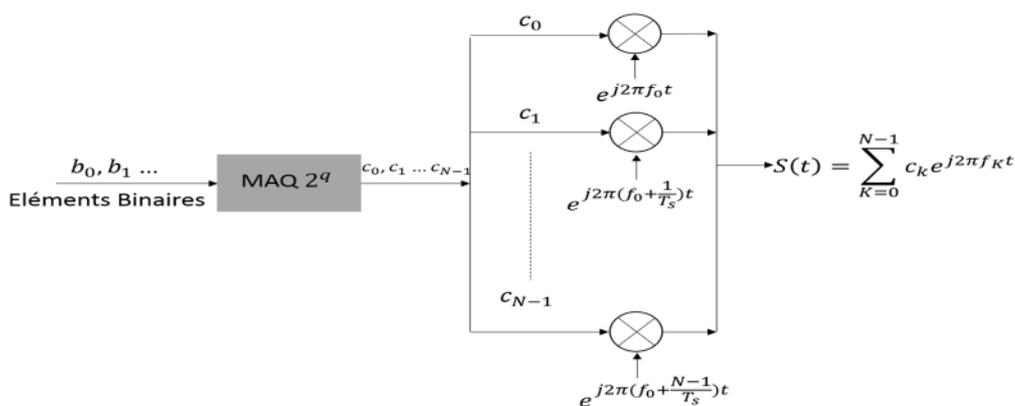


Figure 1.10. Schéma de Modulation de la technique OFDM.

Les fréquences sont orthogonales si l'espace entre deux fréquences adjacentes f_k, f_{k+1} est de $1/T_s$ avec :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \tag{1.5}$$

Un autre aspect remarquable de l'OFDM est de précéder chaque symbole par un préfixe cyclique « *Cyclic Prefix CP* » (voir la figure 1.11), utilisé comme solution efficace pour éliminer l'ISI. Dans un système de communication OFDM, les données sont transmises en parallèle plutôt qu'en série. Chaque sous-porteuse est modulée en utilisant différents niveaux de modulation QAM, par exemple, QPSK, QAM, 64 QAM.

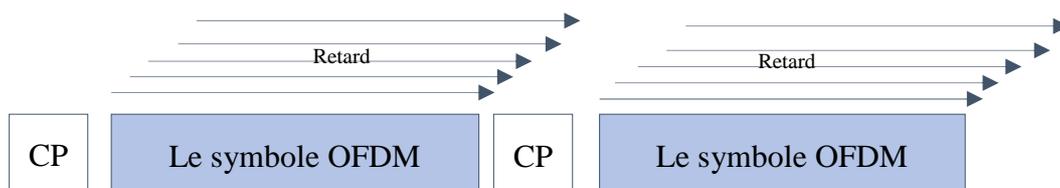


Figure 1.11. Représentation du préfixe cyclique CP dans OFDM.

4.3.1. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

C'est une dérivée de l'OFDM utilisée pour la transmission en sens descendant. En OFDMA la bande passante du système est découpée en sous-porteuses qui permettent de multiplexer facilement différents utilisateurs simultanément. En LTE dans des conditions normales, si chaque sous-porteuse est échantillonnée avec précision à sa fréquence centrale il n'y aura pratiquement pas d'interférences entre les sous-porteuses adjacentes. Le signal reçu est mélangé avec un signal produit par l'oscillateur local du récepteur. Le signal de la porteuse et le récepteur doivent être de même fréquence, ce qui n'est pas toujours le cas. D'autres sources intérieures et extérieures telles que les décalages d'oscillateurs locaux, effets Doppler et le bruit de phase peuvent aussi donner lieu à des erreurs de fréquence. Les erreurs de fréquence non corrigées entraînent des interférences entre les sous porteuses ICI. Pour cette raison, la fréquence du signal doit être suivie en continu.

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.

L'inconvénient majeur de l'OFDMA est le fort PAPR (Peak to Average Power Ratio) engendré. Le PAPR est le rapport entre l'amplitude maximale du signal et sa valeur moyenne (voir l'équation 1.6). 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.

$$PAPR = \frac{P_{max}}{P_{moy}} = \frac{\max_{0 \leq t < T} |s(t)|^2}{\frac{1}{T} \int_0^T |s(t)|^2 dt} \quad (1.6)$$

4.3.2. SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)

SC-FDMA est une variante de l'OFDM, elle conserve la plupart des propriétés utiles 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 1.12 illustre le principe de la technique SC-FDMA et OFDMA.

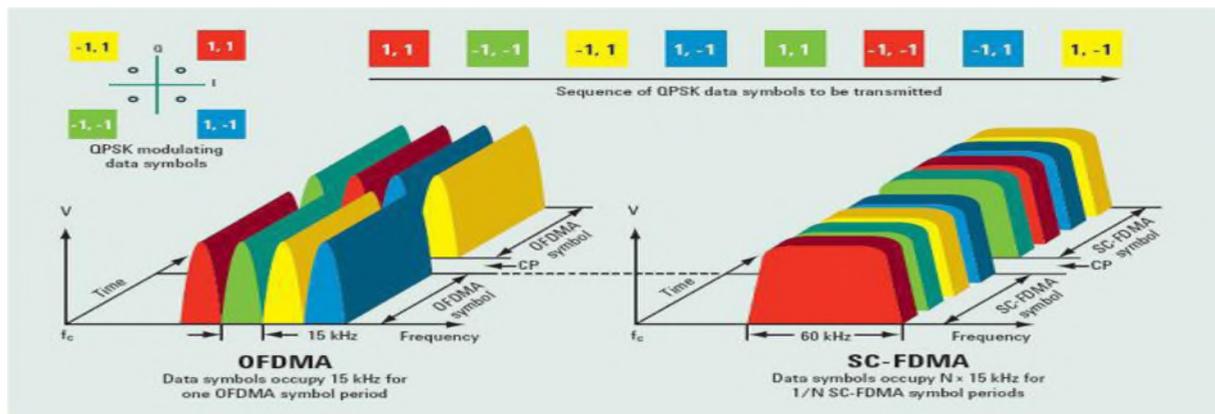


Figure 1.12. Techniques de transmission OFDMA et SC-FDMA [9].

En SC-FDMA, M points de la constellation QAM se succèdent pendant la durée T_{Symbole} 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 quel que soit le nombre de sous-porteuses considérées. Au contraire, en OFDM, le PAPR augmente avec la taille de la FFT.

5. Canal MIMO

C'est une technologie qui utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur que du récepteur (voir la figure 1.13). Vu les exigences sur la couverture, la capacité et les débits de données, l'intégration de MIMO dans la couche physique LTE est primordiale. D'autre part, 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, et en diminuant la probabilité de coupure du lien radio.

Les systèmes MIMO sont considérés comme une technologie capable de résoudre les problèmes d'encombrement et de limitation de capacité des réseaux sans fil. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'améliorer le rapport signal sur bruit (SINR) [9].

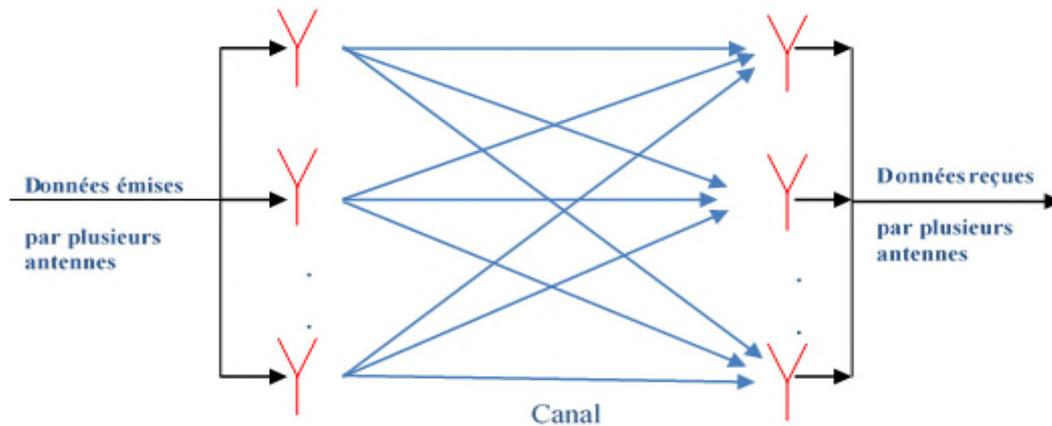


Figure 1.13. Principe de base de la transmission MIMO.

6. Qualité de service dans les réseaux cellulaires

Dans le réseau LTE, la qualité de service est implémentée entre les passerelles UE et P-GW, elle est appliquée à un ensemble de supports. Le « porteur » (appelé bearer en anglais) est fondamentalement un concept virtuel et est un ensemble de configurations réseaux destiné à fournir un traitement spécial à un ensemble de trafic pour assurer une qualité de service donnée. Par exemple, les paquets VoIP sont hiérarchisés par réseau par rapport au trafic du navigateur Web. En LTE, la qualité de service est appliquée au support radio, au support S1 et au support S5 / S8, collectivement appelés support EPS.

7. Réseau Cellulaire LTE hétérogène

Au cours des dernières années, le modèle de déploiement à base de HetNet est considéré par les opérateurs de téléphonie mobile. Le déploiement de HetNet offre une amélioration de l'efficacité spectrale d'une manière évolutive et économique. Le HetNet correspond à un réseau cellulaire à plusieurs niveaux où le réseau homogène existant est recouvert d'infrastructure supplémentaire sous la forme de petites stations de base, de faible puissance, faible complexité et à courte portée comme le montre la figure 3.10. En d'autres termes, un HetNet à deux niveaux comprend les MeNBs dans le premier niveau, recouvertes de petites cellules (par exemple, HeNBs) dans le deuxième niveau. En raison de la petite couverture des petites cellules, la bande de fréquence autorisée peut être efficacement

réutilisée plusieurs fois dans les éléments de second niveau d'un HetNet, ce qui améliore ainsi l'efficacité spectrale par unité de surface et par conséquent la capacité du réseau [39].

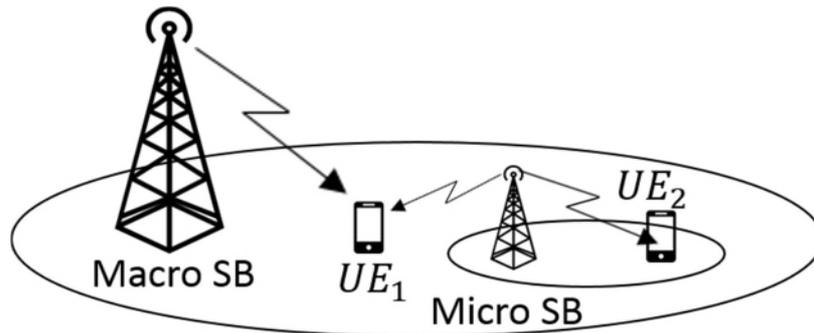


Figure 1.14. Réseau LTE Hétérogène.

7.1. Couverture dans un réseau LTE hétérogène

Réseau hétérogène est un terme général qui ne fait pas directement référence à une technologie ou à une fonctionnalité spécifique. Au lieu de cela, il s'agit d'un concept lié à des réseaux constitués de vastes zones de couverture de cellules ainsi que des zones de couverture localisées, c'est-à-dire de petites cellules ou d'éléments Home eNodeB. En règle générale, le concept HetNet est déployé dans un environnement technologique d'accès multi-radio. L'utilisation croissante des éléments Home eNodeB peut également être envisagée, car ils fournissent des services haut débit mobiles fiables et sécurisés dans les environnements domestiques et professionnels. HetNet fonctionne mieux lorsque la coordination automatique des interférences et l'optimisation du transfert intercellulaire peuvent être déployées afin de minimiser les erreurs de configuration et de fonctionnement. Ainsi, le concept SON est l'une des technologies de support les plus logiques pour aider HetNet, et il est extrêmement utile depuis la version 8 [10].

De plus, d'autres fonctionnalités de support sont déjà disponibles à partir de la version 8, telles que intercell. La coordination d'interférence (ICIC) est particulièrement utile pour l'amélioration de l'utilisation des ressources radio dans la zone du bord de la cellule. Les autres fonctionnalités utiles de la version 8 comprennent les mesures eNodeB et la signalisation pour la coordination des interférences entre cellules sur l'interface X2. Il convient de noter que les algorithmes de réduction d'interférence eNodeB associés 3GPP ont été gardés confidentiels et spécifiques aux fournisseurs afin de garantir un niveau suffisant d'innovation supplémentaire et un environnement concurrentiel. Il convient également de noter que l'interface X2 n'est normalement pas incluse dans les éléments Home eNodeB et que, de plus, le comportement des interférences diffère de celui des autres scénarios de

déploiement de macro cellules. L'une des différences évidentes réside dans le fait que les petites cellules sont souvent déployées et exploitées par les utilisateurs finaux, ce qui entraîne une méconnaissance de la part de l'opérateur de réseau concernant les hypothèses de planification essentielles du réseau radio, ce qui peut accroître les interférences. Cela peut entraîner une dégradation incontrôlée des performances du système pour les éléments eNodeB de l'opérateur de réseau (augmentation du taux d'appels perdus, débit de données inférieur). Pour cette raison, la version 10 du 3GPP définit de nouvelles méthodes pour l'ICIC. Les améliorations concernent également la maintenance automatisée et une meilleure fonctionnalité de récupération d'erreur. Ceci est un point important car le nombre de petites cellules joue de plus en plus de rôles [10].

7. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté un aperçu des différentes composantes de l'architecture de la technologie LTE ainsi que le rôle de chaque entité. Nous avons aussi présenté les techniques d'accès utilisées dans le réseau et nous avons abordé la transmission MIMO.

Dans le prochain chapitre, nous allons traiter les aspects liés au dimensionnement et à la planification des réseaux.

Chapitre 2 :

*Dimensionnement et
planification*

1. Introduction

La planification est la phase la plus importante pour la conception d'un réseau cellulaire. En effet, l'objectif principal de la planification est d'obtenir une efficacité spectrale élevée. En d'autres termes, créer un réseau de qualité aussi élevé que possible afin de servir un nombre important d'abonnés. Notant que, dans la planification les critères de conception sont interdépendants. En effet, l'augmentation de la couverture est liée précisément aux choix des paramètres antennaires, mais l'augmentation de la puissance par exemple peut entraîner un problème d'overshooting (dépassement de couverture) et donc d'interférences dans les cellules adjacentes.

Dans ce chapitre, nous introduisons les principaux critères de dimensionnement tel que le positionnement des stations de base et le choix des paramètres antennaires, les phases de planifications, les interférences inter et intra cellulaires au final l'optimisation dans le réseau LTE.

2. Dimensionnement d'un réseau LTE

Le dimensionnement représente l'étape primaire du processus de planification d'un réseau cellulaire. Il a pour objectif d'évaluer l'emplacement des stations de base d'une part et d'autre part la configuration des émetteurs pour estimer la couverture ainsi que la capacité de réseau [11] La figure 2.1 illustre les étapes de dimensionnement d'un réseau LTE.

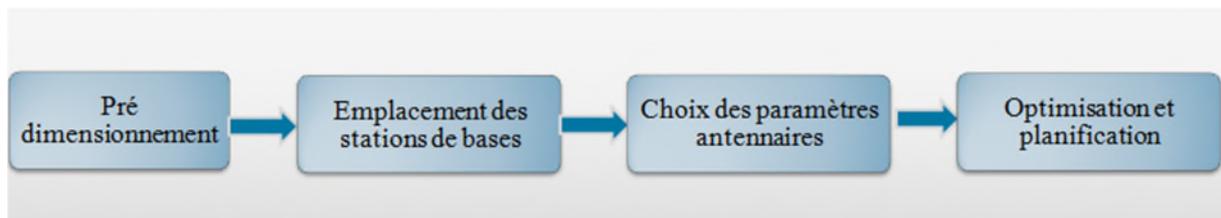


Figure 2.1. Etapes de dimensionnement.

2.1. Emplacement des stations de bases

L'étape de dimensionnement débute en premier lieu par le choix des emplacements des stations de base, c'est-à-dire choisir la position adéquate pour l'installation du réseau. Cette tâche consiste à collecter les informations concernant les données géographiques dont on peut citer la densité des utilisateurs et le taux de leur mobilité dans cette zone. En outre, l'identification des sites est liée aux milieux de propagation de la région. Une fois les stations de base déployées, l'analyse de la couverture sera accomplie par un calcul de bilan de liaison

qui estimera le taux de perte du trajet. La figure 2.2 montre l'emplacement des stations de base d'une région urbaine après dimensionnement.

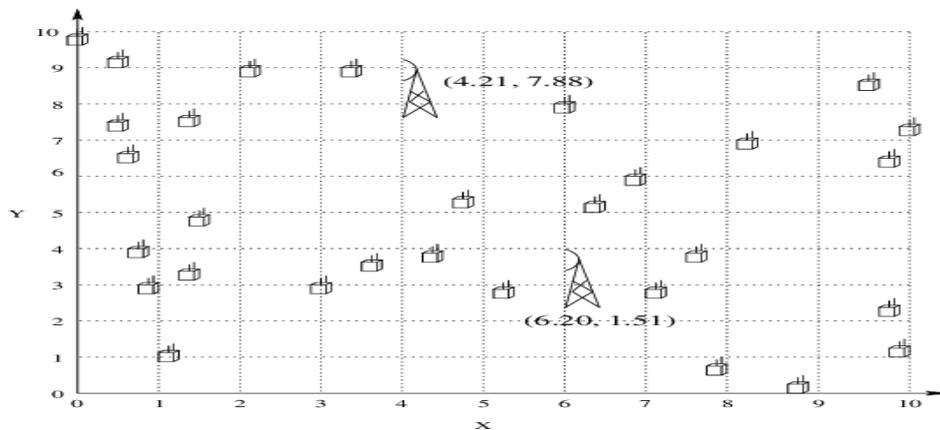


Figure 2.2. Illustration de deux stations de base dans une région de 10×10 km.

2.2. Etude et choix des paramètres antennaires

Initialement, l'objectif du dimensionnement est la sélection d'un certain nombre d'antennes (Sites) qui conviennent à couvrir une zone d'étude [12]. L'analyse de la couverture repose sur le choix judicieux des paramètres antennaires. De plus, les exigences de capacité doivent être prises en considération, chaque site devant supporter une charge demandée. Dans le cas contraire, si les paramètres antennaires ne vont pas satisfaire la demande de trafic en termes de qualité de service, l'ajout d'un nouveau site est nécessaire [13]. La modification des paramètres (Puissance, Tilt, Hauteur et l'azimut) est l'une des solutions pour la perfection du réseau.

3. Planification d'un réseau LTE

Avec l'expansion des terminaux intelligents et la croissance rapide des services haut débit au cours des dernières années, le déploiement de réseau large bande mobile devient nécessaire. Le système LTE proposé par le 3GPP utilise une nouvelle technologie d'interface radio et une architecture de réseau IP pouvant fournir un débit sur la liaison descendante de 100 Mbit / s et sur la liaison montante de 50 Mbit / s [14]. De ce fait, les opérateurs mobiles doivent assurer une bonne gestion des ressources radio pour satisfaire les utilisateurs dans chaque point du réseau. Ils doivent alors planifier leur réseau d'une manière à garantir la continuité de la mobilité et supporter la charge au niveau antenne. Le processus de planification du réseau lui-même n'est pas standard [15]. Dans l'approche de planification

nous distinguons la planification de la couverture, de la capacité et de la planification d'un point de vue économique.

3.1. Planification de la couverture

La planification est une étape qui suit le processus de dimensionnement. Une fois le réseau est mis en œuvre, la planification de la couverture consiste à évaluer des liens radio à savoir sur le sens montant et descendant [16]. L'affaiblissement maximal sur le trajet est calculé en fonction du niveau SINR requis chez les utilisateurs, en tenant compte de l'ampleur des interférences causées par les signaux des stations de base adjacentes ou bien d'autres utilisateurs. D'autre part, l'affaiblissement repose aussi sur l'utilisation d'un modèle de propagation calibré par rapport à la région étudiée. Lorsque l'environnement de propagation et la zone de couverture ont été analysés et que les mesures ont été récoltées, place aux solutions qui améliorent la couverture. Parmi les mesures récoltées, nous trouvons le RSRP (Reference Signal Received Power) qui représente la puissance reçue par un utilisateur en provenance d'une station de base (Enode-B). La mesure s'exprime en Watt ou en dBm. La valeur est comprise entre -140 dBm à -44 dBm [16]. L'équation (2.1) représente le calcul du RSRP au niveau d'un utilisateur.

$$RSRP = RSSI - 10\log(12 \times N) \quad (2.1)$$

Où le *RSSI* (Received Signal Strength Indication) est la mesure du signal reçu au niveau des utilisateurs, *N* le nombre de blocs de ressources par canal.

3.2. Planification de la Capacité

La planification de la capacité donne une estimation des ressources nécessaires pour prendre en charge un trafic offert spécifié avec un certain niveau de QoS. La capacité requise est différente selon le profil de l'utilisateur. En effet, elle définit le nombre d'utilisateurs pouvant se connecter simultanément dans un canal radio. La capacité théorique du réseau est limitée par le nombre d'antennes installées. Plusieurs facteurs influent sur la capacité des cellules en LTE, notamment le niveau de brouillage, la modulation et le codage. En LTE, le principal indicateur de la capacité est la distribution SINR dans la cellule ; elle est basée sur le nombre de sites et comparée au résultat de la couverture et le plus grand des deux nombres est sélectionné comme étant le nombre de sites finaux. Les systèmes cellulaires de 4^{ème} Génération offrent plusieurs services où la consommation en ressources radio diffère d'un

service à un autre ; plutôt que de raisonner sur le nombre d'utilisateurs, la capacité est spécifiée comme le débit écoulé dans le réseau [17].

Ce paramètre est défini par l'utilisateur au début du processus de planification. L'intensité de trafic est exprimée en Erlang, qui est l'ampleur du trafic de communication. Un Erlang traduit l'intensité de trafic durant une heure. Son expression est la suivante [18] :

$$Erlang = \frac{(\text{nombre d'appels})(\text{durée moyenne des appels})}{3600s} \quad (2.2)$$

3.3. Planification d'un point de vue économique

L'infrastructure initiale du réseau exige des investissements considérables. Le modèle économique et la stratégie des opérateurs de services mobiles ne diffèrent pas substantiellement du précédent en terme de procédures commerciales. En effet, les opérateurs cherchent à avoir un réseau de bonne qualité avec un coût très réduit. Cependant, un grand nombre de stations de base déployées engendrent une augmentation de la couverture mais aussi celle du taux d'investissement. Par conséquent, la problématique économique constitue un enjeu fondamental, d'une part, le coût variable des stations de base, et d'autre part, le type d'antennes déployées. Elles peuvent être utilisées dans le réseau LTE à savoir les antennes omnidirectionnelles, large directionnelles et small directionnelles. La différence entre ces antennes réside dans le gain et la puissance de transmission. De plus, comme expliqué au chapitre précédent. Le réseau LTE utilise la technique MIMO ce qui augmente les dépenses opérationnelles.

4. Interférences dans le réseau LTE

La réduction des interférences a toujours été un sujet important dans les systèmes cellulaires, mais le LTE apporte de nouveaux défis. En effet, l'ensemble du spectre de fréquences disponible pour le réseau est généralement attribué à chaque cellule afin de maximiser le débit de données [19]. Il en résulte des interférences plus élevées autour des frontières des cellules. De plus, les réseaux LTE nécessitent un SINR plus élevé que n'importe quel standard précédent. Pour une fonctionnalité optimale un SINR doit être supérieur à 20 dB [20]. Deux types d'interférences peuvent être enregistrés dans le standard LTE à savoir les interférences intercellulaires et les interférences intracellulaires.

4.1. Interférences Intercellulaires

En LTE, une paire de RBS (Ressource Base Station) est allouée à un UE pour la transmission de données dans un TTI (intervalle de temps de transmission) de 1 ms [20]. Quand un utilisateur se trouve dans une cellule adjacente et utilise les mêmes RBS, alors un ICI (Inter Cell Interference) est créé. Lorsque le signal des stations de base adjacentes se joint au signal souhaité, on appelle cela interférence intercellulaire [20]. Lorsqu'un utilisateur s'éloigne du service de sa station de base et se rapproche aux stations de base adjacentes, le rapport SINR (rapport signal sur interférence plus bruit) reçu se dégrade principalement pour deux raisons. La première est la dégradation de la puissance du signal reçu de la SBs serveuse. La seconde est la puissance du signal brouilleur provenant des SBs voisines devenant forte. Mathématiquement, les interférences intercellulaires dans le sens descendant peuvent être calculées en utilisant la formule (2.4) :

$$I_{inter,UE}^{DL} = \sum_{SB=2}^N P_{SB,Totale} \times \alpha \times r_{SB}^{-\gamma} \times 10^{\frac{\Delta L_{SB}}{10}} \quad (2.3)$$

Où $P_{SB,Totale}$ est la puissance totale transmise des SB, y compris un gain d'antenne. N est le nombre de stations de base interférentes, $r_{SB}^{-\gamma}$ est la perte du chemin, γ représente l'exposant de perte, ΔL_{SB} est associée à une décoloration lente suite à une distribution statistique avec zéro, et r_{SB} représente la distance entre la SB interférente et le mobile. Le facteur α a été introduit en raison du manque de facteur d'orthogonalité dans le modèle original [21] [22]. la figure 2.3. montre les interférences intercellulaires dans le sens descendant :

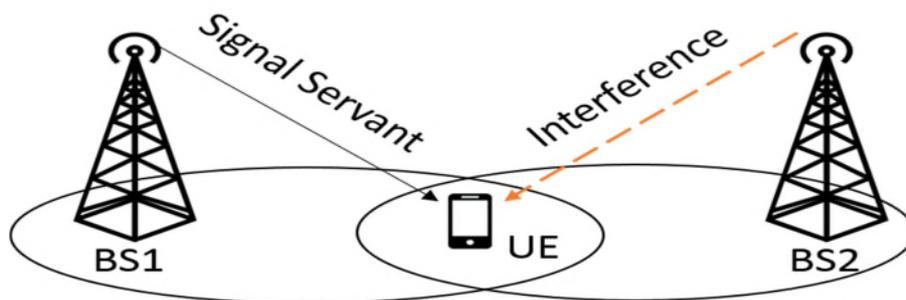


Figure 2.3. Interférence Intercellulaire Dans le sens Descendant.

4.2. Interférence Intracellulaire

Plusieurs antennes au niveau de l'émetteur génèrent ce qu'on appelle des degrés de liberté spatiaux : la possibilité de séparer spatialement plusieurs signaux transmis depuis le même point. En effet, une information précise de la réponse du canal spatial est requise au niveau de l'émetteur, ainsi que des antennes multiples sont suffisamment séparées au niveau

du récepteur. En l'absence de ces caractéristiques idéales, les systèmes de transmission multiutilisateurs (MU-MIMO) impliquent toujours des interférences entre eux [23]. Ce type d'interférences se produit à l'intérieur d'une cellule donnée. Dans les transmissions MIMO pour un seul utilisateur, plusieurs flux peuvent également être considérés comme des interférences intracellulaires.

Dans le sens descendant, la station de base peut provoquer des interférences sur l'utilisateur en raison d'une perte partielle d'orthogonalité, il reçoit un signal utile provenant de la station de base, mais peut capter les signaux destinés aux autres utilisateurs qui se trouvent dans la même cellule [24]. À cet effet, un facteur d'orthogonalité est défini par l'équation (2.4)

$$I_{intra,UE}^{DL} = (P_{SB,Total} - P_{SB \rightarrow UE}) \times \alpha \times L_{SB \leftarrow UE} \quad (2.4)$$

Dans cette équation, $P_{SB,Total}$ est la puissance totale transmise par la station de base, $P_{SB \rightarrow UE}$ est la puissance transmise par la station de base à l'utilisateur dans laquelle l'inférence est calculée, $L_{SB \leftarrow UE}$ est la perte de propagation entre la SB et l'UE et enfin α est le facteur d'orthogonalité qui peut prendre des valeurs entre 0 (pour les codes orthogonaux complets) et 1 (absence d'orthogonalité). La figure 2.4. montre les interférences intracellulaires dans le sens descendant :

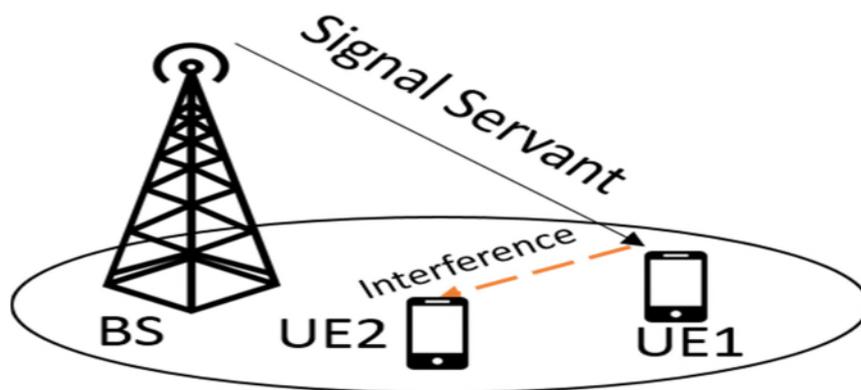


Figure 2.4. Interférence Intracellulaire Dans le sens Descendant.

5. Coordination d'interférence dans les réseaux LTE

La coordination des interférences intercellulaires est une méthode permettant d'améliorer la qualité du signal aux bords des cellules tout en utilisant différents blocs de ressources aux bords des cellules potentiellement interférentes. Des stratégies d'allocation de puissance et de fréquence peuvent être utilisées par les utilisateurs de centre et de périphérie de cellule pour atténuer les ICI [25]. Bien qu'une augmentation de la puissance d'émission puisse améliorer le rapport signal sur les interférences et le bruit, mais elle peut

considérablement augmenter l'interférence globale du système. Il existe deux catégories principales de techniques de coordination d'interférences intercellulaires : la coordination d'interférences intercellulaires statique et dynamique [26].

5.1. Coordination Statique d'Interférence

La coordination des interférences statiques est mise en œuvre en utilisant des techniques de réutilisation fractionnelle des fréquences (FFR) [27]. Les fractions d'un canal sont attribuées à différents secteurs aux limites de cellules et cette attribution ne change pas dans le temps. Dans la FFR chaque cellule est divisée de manière statique en zones de centre et de bord de cellule. Le premier contient les UE proches de la station de base, tandis que le dernier contient les UE proches de la frontière de la cellule. Dans la mesure où ils sont plus proches des cellules voisines et relativement éloignés de leurs serveurs eNodeB, les UE en périphérie de cellule connaîtront davantage d'ICI. Par conséquent, l'objectif principal de FFR est de protéger les blocs RB attribués à ces UE de problèmes d'interférence [26]. FFR modifie la distribution des RB entre les différentes zones de la cellule afin de créer un ensemble protégé de RB pour les équipements en périphérie de cellule. La figure 2.5 illustre un groupe de trois cellules LTE où l'attribution du spectre entre le centre et les zones de bord de cellule est effectuée conformément à la FFR [28].

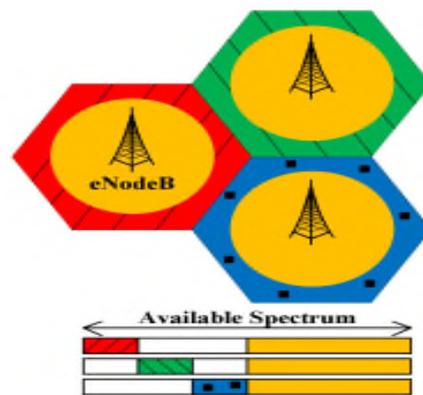


Figure 2.5. Réutilisation fractionnelle des fréquences (FFR).

5.2. Coordination Dynamique d'interférences

La coordination dynamique ou dans la planification sensible aux brouillages, il n'existe pas d'attribution de fréquence fixe pour chaque secteur. Les ressources allouées aux utilisateurs situés au bord de la cellule sont déterminées par les ordonnanceurs en fonction des

conditions du réseau de manière dynamique [29]. ICIC dynamique est mise en œuvre par échange de messages X2, qui achemine des informations d'interférence, avec la station de base voisine après chaque période ICIC. L'interface X2 est une interface entre deux nœuds eNodeB voisins [29], les Stations de base peuvent apprendre le statut d'interférence de leurs voisins à partir des messages et allouer des ressources radio telles que la fréquence et la puissance de transmission à leurs UE de manière à éviter les interférences entre cellules. La figure 2.6.présente la coopération dynamique d'interférences entre deux stations de bases :

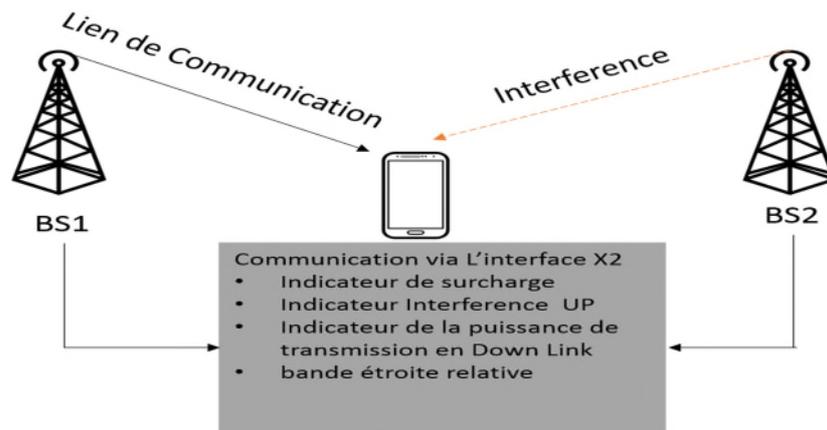


Figure 2.6. Coopération Dynamique d'Interférence.

6. Optimisation des réseaux LTE

Dans la littérature, le concept d'optimisation repose sur la recherche d'une ou plusieurs solutions optimales à des problèmes Np-Hard [30]. Cependant, il existe deux méthodes pour la recherche d'une telle solution. La première se fait par calcul statistique appelé généralement méthode exacte. En effet, l'approche exacte consiste à trouver la solution optimale et de valider l'optimalité de cette dernière. A noter que le temps de traitement est très grand [31].

La deuxième méthode est dite méthode approchée, elle repose sur l'utilisation d'algorithme automatique pour trouver la solution sub-optimal (proche de l'optimalité). Les méta-heuristiques sont une classe de ces algorithmes. D'autres méthodes à savoir la méthode de construction progressive construisent une solution de proche en proche selon des règles prédéfinies et comportent des algorithmes gloutons. Les méta-heuristiques les plus utilisées actuellement sont les algorithmes génétiques [32].

6.1. L'optimisation Multi-objective

Les problèmes de planification des réseaux cellulaires sont généralement multi objectifs. L'optimisation de la couverture ne peut se faire sans l'optimisation des interférences ou bien sous la contrainte de la capacité. L'interdépendance de ces problèmes exige des modélisations mathématiques très pointues. Il faut donc trouver des solutions de compromis en tenant compte des préférences du décideur. L'optimisation multi-objective consiste donc à déterminer un ensemble de vecteurs de variables qui satisferont toutes les contraintes du problème produit [33]. L'approche traditionnelle de l'optimisation multi-objective transforme habituellement le problème initial en un format mathématiquement gérable, de sorte que l'algorithme étudié optimise un problème simple.

7. Planification réelle au niveau Opérateur

Le processus de planification et d'optimisation chez un opérateur est un cycle périodique qui peut être appelé constamment dans le même réseau mobile, soit juste après le déploiement du réseau, ou après le lancement de réseau. Ce cycle commence par la surveillance des performances à travers les statistiques (KPI). Ensuite, un Drive Test est appliqué dans le réseau pour parcourir les zones affectées de problèmes de connexion tels que les coupures d'appel dans les zones Overlap (chevauchement). Le Drive Test se déroule en deux étapes : la première étape est la vérification d'un seul site appelé SSV (Single Site Vérification), ceci est illustré dans la figure 2.7. Le SSV vise à s'assurer que chaque site est correctement déployé et que les paramètres antennaires pour la couverture sont parfaitement configurés. La deuxième étape est la vérification de tous les sites en parcourant les zones de chevauchement, comme il est montré dans la figure 2.8. Cette étape est très importante car elle nous donne un aperçu de la continuité d'appel entre les sites et le passage d'une station de base à une autre et qui doit se faire sans coupure d'appel [34].

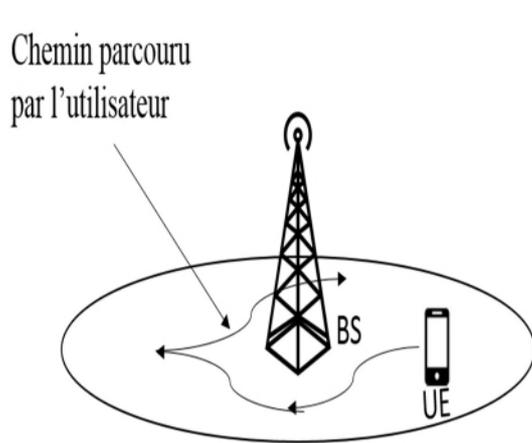


Figure 2.7. Vérification de site unique.

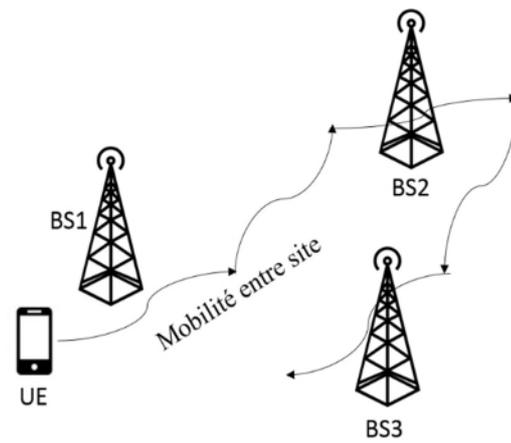


Figure 2.8. Test de conduite intersites.

Pour l’opérateur, les problèmes Radio sont étroitement liés aux paramétrages des antennes. Pour cela, l’ajustement de l’un des paramètres peut remédier au problème rencontré. La figure 2.9 donne un résumé des solutions possibles pour améliorer la qualité de service.

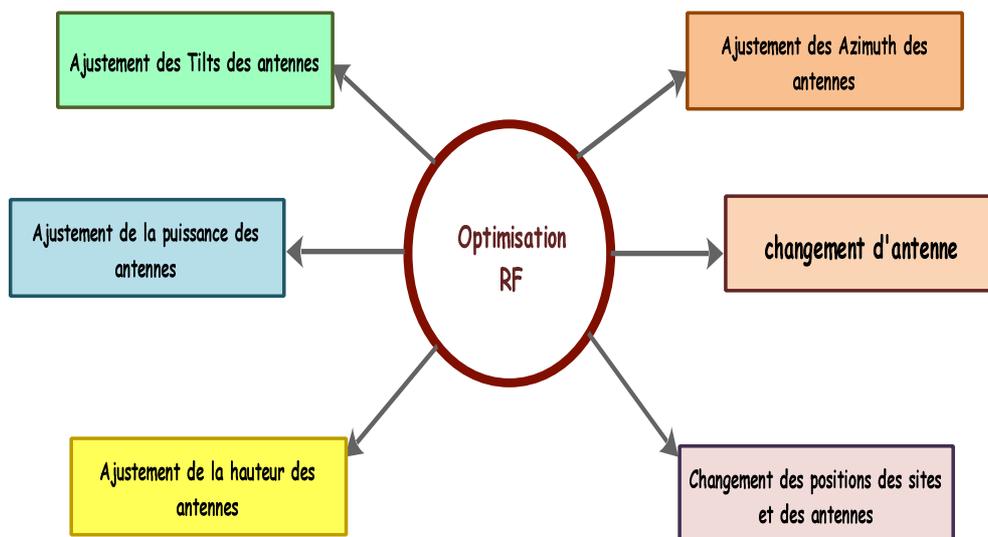


Figure 2.9. Solution d’optimisation de la Radio Fréquence.

8. Conclusion

L’objectif fondamental de la planification revient d’une part à sélectionner les emplacements des sites et de fournir un bon service à leurs abonnés avec un coût réduit. D’autre part, les antennes déployées doivent être configurées pour répondre à un grand nombre de critères de qualité de services (interférence, couverture, capacité). Ce chapitre, dresse un panorama des différentes étapes de planification et d’optimisation. Tout d’abord, nous avons élaboré le contexte de dimensionnement en commençant par l’emplacement des

stations de base qui est une étape primordiale dans le dimensionnement de la couverture, ainsi que le choix judicieux des paramètres antennaires. Ensuite, nous avons spécifié les approches de planification à savoir celle de la couverture, de capacité et du point de vue économique avec la minimisation du coût d'investissement. En outre, nous avons explicité que les problèmes de planification sont interdépendants. Plus loin, nous avons introduit la notion d'interférence inter et intra cellulaire et aussi la coordination des interférences dans un réseau LTE. Au final, l'optimisation multi-objective est introduite pour mieux apercevoir l'interdépendance entre les différentes qualités de services.

Dans le prochain chapitre, nous allons voir l'impact de ces paramètres antennaires sur un réseau LTE HetNet.

Chapitre 3 :

*Couverture réseau et
paramètres d'antennes*

1. Introduction

Avec l'augmentation de la demande en trafic dans les réseaux de radio communication d'une façon démesurée ces dernières années, diverses recherches ont été effectuées dans les réseaux LTE telles que les paramètres antennaires où on cherche à satisfaire les besoins des utilisateurs en termes de qualité de service. Plusieurs hypothèses de ces paramétrages ont été prises en considération car ils interviennent en tant qu'une tâche essentielle lors de la planification des réseaux cellulaires

Dans ce chapitre, nous introduisons notre objectif afin de voir l'influence des paramètres d'antenne dans un réseau LTE HetNet. Tout d'abord, nous définissons les paramètres antennaires utilisés dans le réseau ainsi que les types d'antennes pouvant être déployées, ensuite, nous proposons une méthodologie de calcul de la couverture basée sur l'intensité du champ ainsi que le rapport signal sur bruit (SINR). Un choix du modèle de propagation pour le calcul de l'atténuation est considéré.

La problématique de couverture reste une des tâches importantes dans la planification du réseau. Elle repose sur le positionnement des stations de base et aussi sur le choix des paramètres antennaires judicieux qui peuvent d'une part augmenter la couverture ainsi que la capacité et d'autre part les réduisent. Les opérateurs mobiles se focalisent généralement durant l'optimisation sur la modification d'une puissance antennaire, la hauteur, le tilt ainsi que l'azimut. Dans notre travail, nous proposons de choisir des paramètres antennaires d'une manière statistique dans un réseau LTE hétérogène comportant des stations micro et macro cellulaire.

2. Paramètres antennaires

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner ou capter le champ électromagnétique. Elles sont classées par définition en fonction de leurs diagrammes de rayonnement (omnidirectionnel), le tilt, l'azimut, la puissance et la hauteur qui doivent être bien définis pour pouvoir étudier correctement leurs impacts sur le réseau LTE.

2.1. Type d'antenne

Plusieurs antennes peuvent être utilisées pour rayonner dans un réseau cellulaire. Le type d'antenne influe sur le rayon de couverture et la forme de la zone couverte par la station de base [35]. Généralement, les antennes employées pour couvrir un réseau mobile sont les

antennes omnidirectionnelles dont le diagramme de rayonnement est étendu sur toute la surface (elle rayonne la puissance des ondes radio uniformément dans toute direction dans le plan). Ainsi, les antennes larges directionnelles et small directionnelles sont appliquées dans des environnements ruraux où l'utilisateur se trouve à une visibilité directe c'est-à-dire line of Sight [36], la figure 3.2 illustre le diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle. Une antenne est caractérisée aussi par les pertes de diagramme horizontal et les pertes de diagramme vertical de l'antenne (AVDL), qui est déterminée à l'aide de l'inclinaison θ entre le mobile et l'antenne.

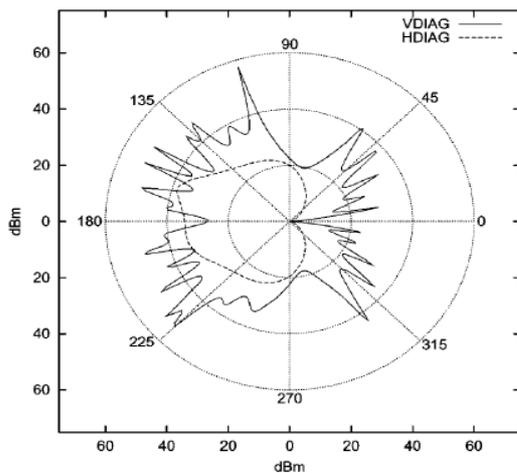


Figure 3.1. Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle.

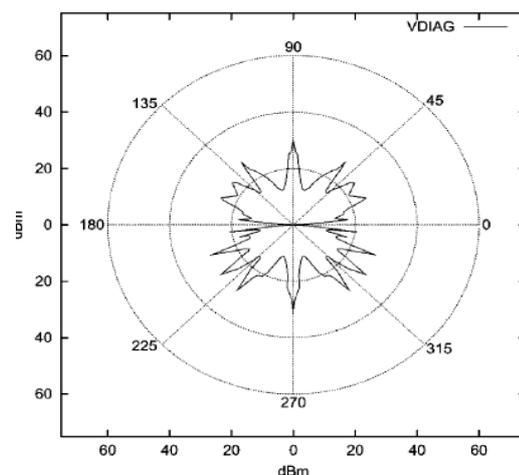


Figure 3.2. Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.

2.2. Puissance de transmission

Les puissances radio varient de faible à forte puissance, elles permettent de couvrir un territoire de plus ou moins grand dimension. Le nombre de récepteurs pouvant capter un signal dépend de la qualité de l'antenne réceptrice et la puissance de l'émetteur. La puissance d'émission d'une station de base est exprimée souvent en décibel par milliwatt (dBm). La puissance de transmission est définie dans un intervalle allant de 20 à 65dBm [2].

2.3. Tilt et azimut

Le tilt d'antenne correspond à l'angle entre le faisceau principal de l'antenne et le plan horizontal (voir la figure 3.3). Le tilt est un paramètre très important dans la mesure où il influe considérablement sur la couverture du réseau. En effet, la modification de l'angle du tilt influe sur la surface de la zone couverte par l'antenne, par exemple l'augmentation de l'angle

du tilt induit une diminution de la zone couverte. Le tilt est donné en degrés, cependant il peut avoir des valeurs positives qui signifient que le faisceau est dirigé vers le bas, cette procédure est dite downtilt. Il peut également avoir des valeurs négatives lorsque le faisceau est dirigé vers le haut, cette procédure est dite uptilt.

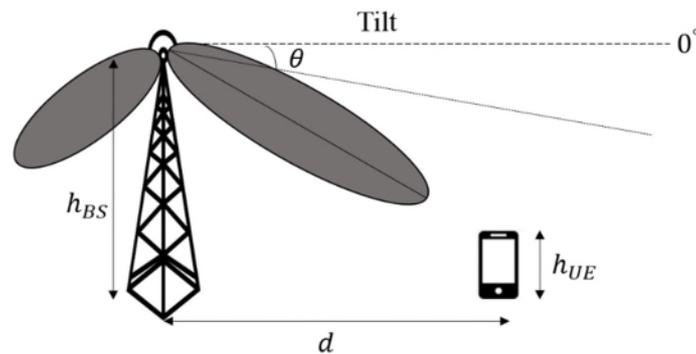


Figure 3.3. Représentation du tilt.

L'azimut est la direction principale de l'antenne formée par rapport au nord magnétique (voir la figure 3.4), exprimé en degrés. C'est un facteur essentiel pour le calcul de la puissance émise par l'antenne dans toutes les directions. Dans la suite de notre étude le type de l'antenne utilisée est omnidirectionnelle dont la valeur de l'azimut est nulle [37].

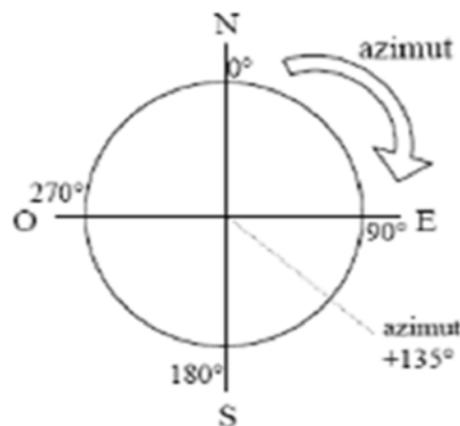


Figure 3.4. Représentation de l'azimut [2].

2.4. Hauteur de la station de base

La hauteur représente un paramètre très important durant la planification d'un réseau LTE. En effet, Une position d'antenne trop faible a de mauvaises probabilités de couverture. Par contre, les positions hautes d'antenne offrent une bonne couverture et une capacité réduite. Sur un terrain relativement plat ou dans une vallée, l'abaissement de la hauteur de

l'antenne réduit efficacement les interférences canal. La figure 3.5 représente deux positions différentes d'antenne à savoir une position haute et une position basse [38].

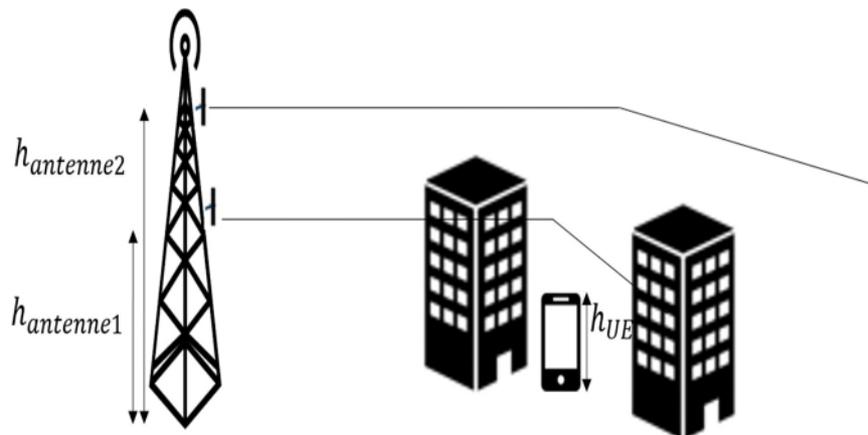


Figure 3.5. Hauteur d'antenne dans un milieu de propagation en présence d'obstacle.

3. Modèle de propagation

Les modèles de propagations sont des outils mathématiques utilisés dans les réseaux cellulaires pour calculer l'atténuation des ondes propagées. En effet, pour recevoir une puissance suffisante au niveau des utilisateurs, il est nécessaire de prévoir les champs rayonnés durant la phase de dimensionnement. Plusieurs modèles peuvent être utilisés selon l'environnement de propagation afin de calculer le bilan de liaison. Parmi les modèles de propagation utilisés dans les réseaux cellulaires on site :

3.1. Modèle d'Okumura-Hata

Proposé par Okumura-Hata après plusieurs mesures effectuées à différentes fréquences dans la ville du Japon [13]. Ce modèle est utilisé pour calculer la perte de trajet maximale entre la station de base et l'utilisateur. Il dépend principalement de la hauteur de la station de base, de l'utilisateur ainsi que la distance entre eux. Le modèle est dit empirique car il repose sur des mesures du terrain pour une large gamme des hauteurs d'antennes et de distances de couverture dans certaines zones urbaines et suburbaines. Le calcul de perte de trajet est réalisé par une équation paramétrique proposée par Hata et donnée comme suit :

$$Path\ loss = 69.55 + 26.16\log_{10}(f) - 13.82\log_{10}(h_{SB}) + (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{SB}))\log_{10}(d) - a(h_{UE}) \quad (3.1)$$

Avec $150\text{MHz} < f < 1800\text{MHz}$ est la fréquence porteuse, $30 < h_{SB} < 200\text{m}$ représente la hauteur de la station de base et d est la distance entre la station de base et l'utilisateur comprise entre $1 - 20\text{Km}$. $a(h_{UE})$ est le facteur de correction pour la hauteur de l'antenne du mobile. Il est représenté comme suit pour une petite ou moyenne ville :

$$a(h_{UE}) = (1.1\log_{10}(f) - 0.7)h_{UE} - (1.56\log_{10}(f) - 0.8) \quad (3.2)$$

Pour une grande ville :

$$a(h_{UE}) = 8.29[\log_{10}(1.54 \times h_{UE})]^2 - 1.1 \quad f \leq 200\text{MHz} \quad (3.3)$$

$$a(h_{UE}) = 3.2[\log_{10}(11.75 \times h_{UE})]^2 - 4.97 \quad f \geq 400\text{MHz} \quad (3.4)$$

3.2. Modèle de propagation Walfisch-Ikegami

Ce modèle est conçu afin de simplifier l'environnement de propagation qui contient des immeubles élevés et des largeurs de rue identique. C'est un modèle empirique dont la tâche principale est de prédire l'atténuation entre une station de base se trouvant dans le toit d'un immeuble et un utilisateur se localisant entre des buildings très haut. Comparant au modèle d'Okumura-HATA, le Walfisch-Ikegami est plus complexe à cause de la variation du terrain ce qui le rend particulièrement applicable aux microcellules.

Les formules Walfisch-Ikegami sont données par [13] :

Lorsque le récepteur est en LOS :

$$L_p(d) = 42.6 + 26\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \text{ dB} \quad (3.5)$$

Lorsque le récepteur est en NLOS :

$$L_p(d) = 32.4 + 26\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + L_{rst} + L_{msd} \quad (3.6)$$

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

$$L_{rst} = -16.9 - 10\log_{10}(w) + 10\log_{10}(f) + 20\log_{10}(H_{toit} - h_{UE}) + L_{cri} \quad (3.7)$$

$$L_{cri} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \text{Pour } 0 \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) & \text{Pour } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55^\circ) & \text{Pour } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (3.8)$$

L_{msd} est la perte de diffraction à plusieurs niveaux donnée par l'équation (3.9) :

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10}(d) + k_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(d) \quad (3.9)$$

Avec :

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 + h_{SB} - H_{toit}) & \text{Pour } h_{SB} > H_{toit} \\ 0 & \text{Pour } h_{SB} \ll H_{toit} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{pour } h_{SB} > H_{toit} \\ 54 - 0.8 \times (h_{SB} - H_{toit}) & \text{pour } h_{SB} < H_{toit} \text{ et } d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8 \times (h_{SB} - H_{toit}) \times \left(\frac{d}{0.5}\right) & \text{pour } h_{SB} \leq H_{toit} \text{ et } d < 0.5 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{pour } h_{SB} > H_{toit} \\ 18 - 15 \times \frac{h_{SB} - H_{toit}}{H_{toit}} & \text{pour } h_{SB} \leq H_{toit} \end{cases} \quad (3.12)$$

$k_f = -4 + 0.7 \times \left(\frac{f}{925} - 1\right)$ Pour les villes de taille moyenne et les centres de banlieue avec une densité d'arbre modérée et $k_f = -4 + 1.5 \times \left(\frac{f}{925} - 1\right)$ pour les centres métropolitains.

3.3. Calibration du modèle de propagation

Appelé aussi modèle semi-empirique, ils sont introduit à cause de l'insuffisance de la précision des modèles précédents. Le choix du mode calibré est dû principalement aux données géographiques. D'une part, ces modèles doivent répondre à deux conditions à savoir la rapidité et la précision. La préparation d'une carte numérique est nécessaire pour la réalisation d'un tel modèle. De plus, une partie des préparatifs consiste à collecter et à tester l'équipement de mesure par des outils informatisés. D'autre part, Les emplacements de mesures de l'émetteur de test doivent être soigneusement examinés pour une bonne rentabilité du modèle.

4. Intensité du signal et rapport signal sur bruit

Durant notre travail, les outils de mesures au niveau de l'utilisateur sont l'intensité du signal reçu ainsi que le rapport signal sur bruit. Toutefois pour une bonne estimation de la couverture, il est important d'augmenter le seuil de comparaison au niveau mobile. Par exemple, les auteurs ont considéré un seuil d'intensité reçu de $FS \geq -90dBm$ [2] et sans

prendre en considération le rapport signal sur bruit qui représente un facteur déterminant pour la couverture radio cellulaire.

L'intensité du signal est la mesure de l'alimentation présente dans un signal radio reçu par un émetteur. Elle dépend principalement du modèle de propagation ainsi que des pertes de diagramme de rayonnement des antennes utilisées. Notant que la mesure de la force du signal est difficile à forger arbitrairement et elle est fortement corrélée à l'emplacement des émetteurs. En effet, un utilisateur se trouvant à une distance plus grande qu'un autre reçoit un signal plus faible que son homologue comme illustré dans la figure 3.6 [39].

$$FS(x, y) = P_{Station\ de\ base} + G_{antenne} - Perte_{station\ de\ base} - PathLoss - AVDL(\beta SB\theta) \quad (3.13)$$

Avec P_{SB} est la puissance de transmission, G_{ant} $per_{te_{SB}}$ représente le gain d'antenne et les pertes des câbles respectivement. PL est le model de propagation de CostHata calculé par l'équation précédente. L'indice β définie l'angle vertical entre la Station de Base et le point de test, il est calculé par l'équation (3.14).

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{h_{SB} - h_{UE}}{d}\right) \quad (3.14)$$

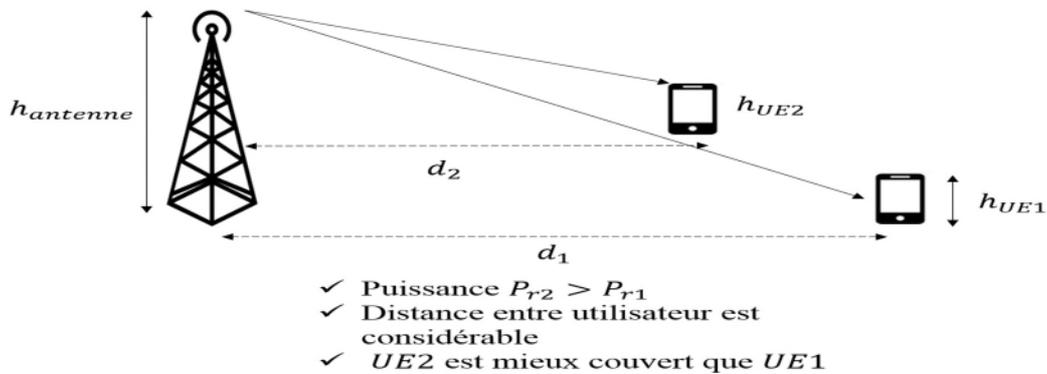


Figure 3.6. Comparaison de couverture avec puissance de réception.

Un autre outil de mesure de la couverture est le rapport signal sur bruit. Les utilisateurs qui se trouvent dans une cellule sont confrontés aux problèmes des interférences provenant des stations de base voisines comme le montre la figure 3.7. L'objectif d'un planificateur est de contrôler le niveau d'interférence à un seuil tolérable. Le niveau du signal reçu devrait être plus haut que le niveau de bruit reçu. Dans un contexte de couverture ce rapport doit être supérieur au seuil toléré. Un utilisateur est dit couvert ou bien en communication si le SINR à son niveau est élevé. L'équation (3.15) donne le rapport signal sur bruit :

$$SINR = \frac{P_r^i}{\sum_{j=0, j \neq i}^n P_r^j + n_0} \quad (3.15)$$

Avec :

P_r^i : Puissance reçue d'un signal provenant d'une station de base d'indice i au niveau d'un utilisateur se localisant à une distance bien définie.

$\sum_{j=0, j \neq i}^n P_r^j$: Somme des puissances reçue des signaux provenant des stations de base voisines représentant des signaux interférents.

n_0 : Bruit blanc.

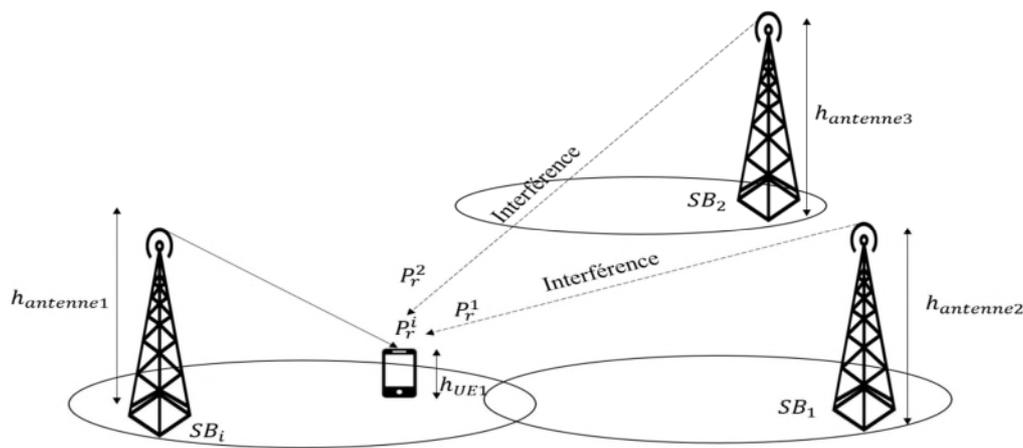


Figure 3.7. Représentation du calcul rapport signal sur bruit.

5. Handover inter et intra cellulaire

Dans un réseau cellulaire, les utilisateurs ont tendance à être mobiles. Ils se déplacent dans une cellule, c'est-à-dire d'un secteur à un autre comme ils peuvent changer carrément de cellule. L'objectif d'un opérateur est de maintenir la connexion des utilisateurs lors du changement cellulaire. Le mécanisme de transfert inter et intra cellulaire est appelé Handover. En effet, deux types de handover sont appliqués dans un réseau cellulaire. Le premier appelé handover intracellulaire qui se réalise lors du changement des secteurs à l'intérieur de la même cellule. Tandis que le second est le handover intercellulaire dont le processus est le passage d'une cellule à une autre (changement de station de base). Cependant, ce type de handover est le plus compliqué car l'utilisateur qui se localise dans la zone de chevauchement reçoit deux signaux le premier est celui de la station de base communicante, le second signal

est le signal de la station de base adjacente. La réalisation du handover nécessite une condition mathématique sur les puissances des deux stations de base adjacentes [38].

La condition pour obtenir les contraintes de transfert est lorsque la force du signal reçu de la SB1 est à moins de 7dB de l'intensité du champ reçu d'une station de base voisine SB2 comme le montre la figure 3.8.

Mathématiquement parlant la condition du handover est donnée par l'équation (3.16) :

$$Hand = \{PT_i: PT_i \in C_j \text{ et } \exists j' \neq j \text{ tell que } |FS_j(PT_i) - FS_{j'}(PT_i)| \leq 7dB\} \quad (3.16)$$

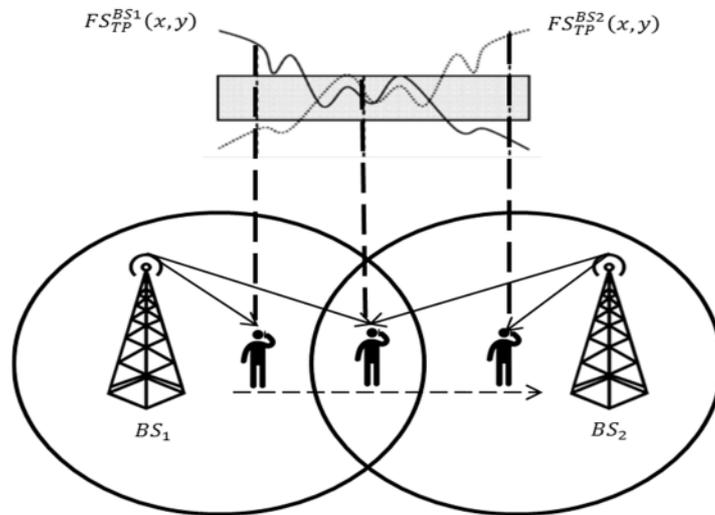


Figure 3.8. Handover Intercellulaire.

D'autre part le handover peut se déclencher si les conditions (3.17) et (3.18) sont réalisées :

$$RSRP_{SB \text{ adjacente}} \geq RSRP_{SB \text{ communicante}} + HOM \quad (3.17)$$

$$HO \text{ Trigger} > TTT \quad (3.18)$$

Où $RSRP_{SB \text{ adjacente}}$ et $RSRP_{SB \text{ communicante}}$ sont le RSRP reçu de la cellule cible et de la cellule serveuse, respectivement, et HO Trigger est le temporisateur de déclenchement du transfert intercellulaire qui commence à compter lorsque la condition (1) est remplie. [39].

8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini les paramètres antennaires (tilt, azimut, hauteur et puissance de transmission), les types d'antennes déployées à savoir les modèles de propagations utilisés ainsi que l'intensité et le rapport signal sur bruit dans un réseau LTE

hétérogène. Le chapitre suivant sera consacré aux simulations et aux résultats obtenus seront présentés, commentés et interprétés, donnant lieu à quelques perspectives de recherche.

Chapitre 4 :

*Simulation et interprétation
des résultats dans un réseau
hétérogène*

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons essayer de faire une simulation d'un réseau hétérogène et voir l'influence des paramètres antennaires sur la couverture radio des stations de base. Plusieurs scénarios seront considérés, chacun se focalisant sur un aspect donné.

2. Environnement de simulation

Dans cette section, nous allons présenter une simulation d'un réseau hétérogène composé d'une macro station de base et d'une micro station de base. D'autre part, les utilisateurs sont distribués aléatoirement sur la surface d'étude avec une capacité fixe de 43 Erlang. La micro station de base est déployée à une certaine distance de la macro station de base. La simulation est réalisée avec Matlab et les résultats sont donnés dans les sections suivantes. La figure 4.1 illustre le modèle proposé.

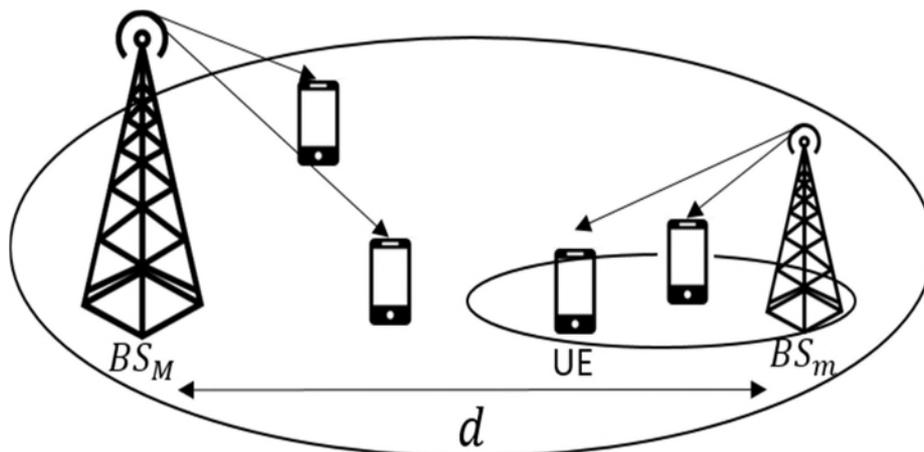


Figure 4.1. Illustration de l'environnement réseau étudié.

3. Résultats de simulation

Sur la base du modèle proposé, nous discutons les différents résultats et problèmes obtenus durant la simulation.

3.1. Problème d'emplacement de la micro station de base

L'objectif de ce point est de voir à quelle distance la station de base micro doit être insérée (déployée). Dans la littérature, on parle alors de problème de positionnement qui est discuté dans [30]. Nous testons dans notre travail pour deux distances séparant la macro

Chapitre 4 Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

station de base de la micro station, pour 4000 m, ensuite pour 8000m. Les résultats obtenus sont donnés dans les figures 4.2 et 4.3.

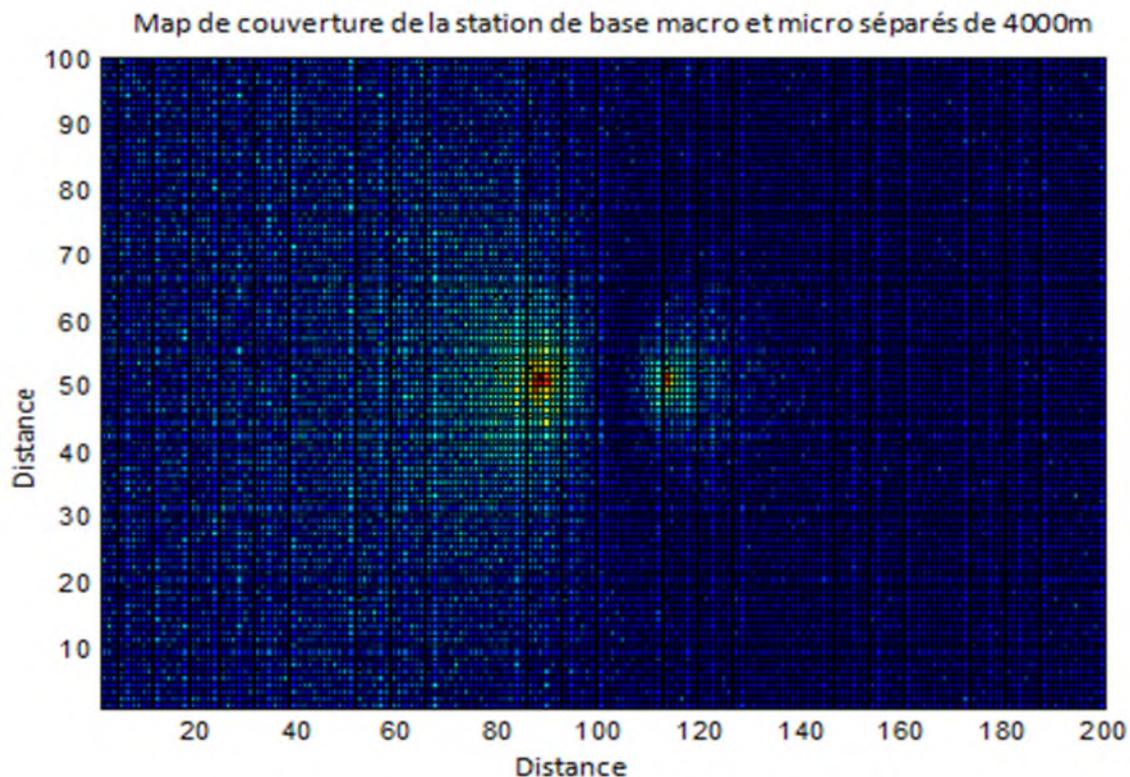


Figure 4.2. (a) Map de la couverture des deux stations de bases séparées d'une distance $d = 4000$ m.

La figure 4.2 (a) représente une Map de la couverture radio cellulaire des deux stations de base micro et macro séparés d'une distance de 4000m. Le bleu représente une intensité du signal (RSSI) médiocre c'est-à-dire que les utilisateurs ne peuvent pas communiquer avec les stations de bases. Par contre, en vert clair elle représente une intensité du signal RSSI atteignant les 39 dBm mais ça reste que la couverture est très faible. En jaune et rouge sont les niveaux les plus élevés de la puissance reçue à savoir 49dBm et 58dBm comme donné dans la figure 4.2. (b). Ce niveau, ne représente pas une bonne qualité du signal pour que les utilisateurs puissent communiquer malgré le choix d'un seuil élevé pour conditionner la couverture à savoir -119.53dBm.

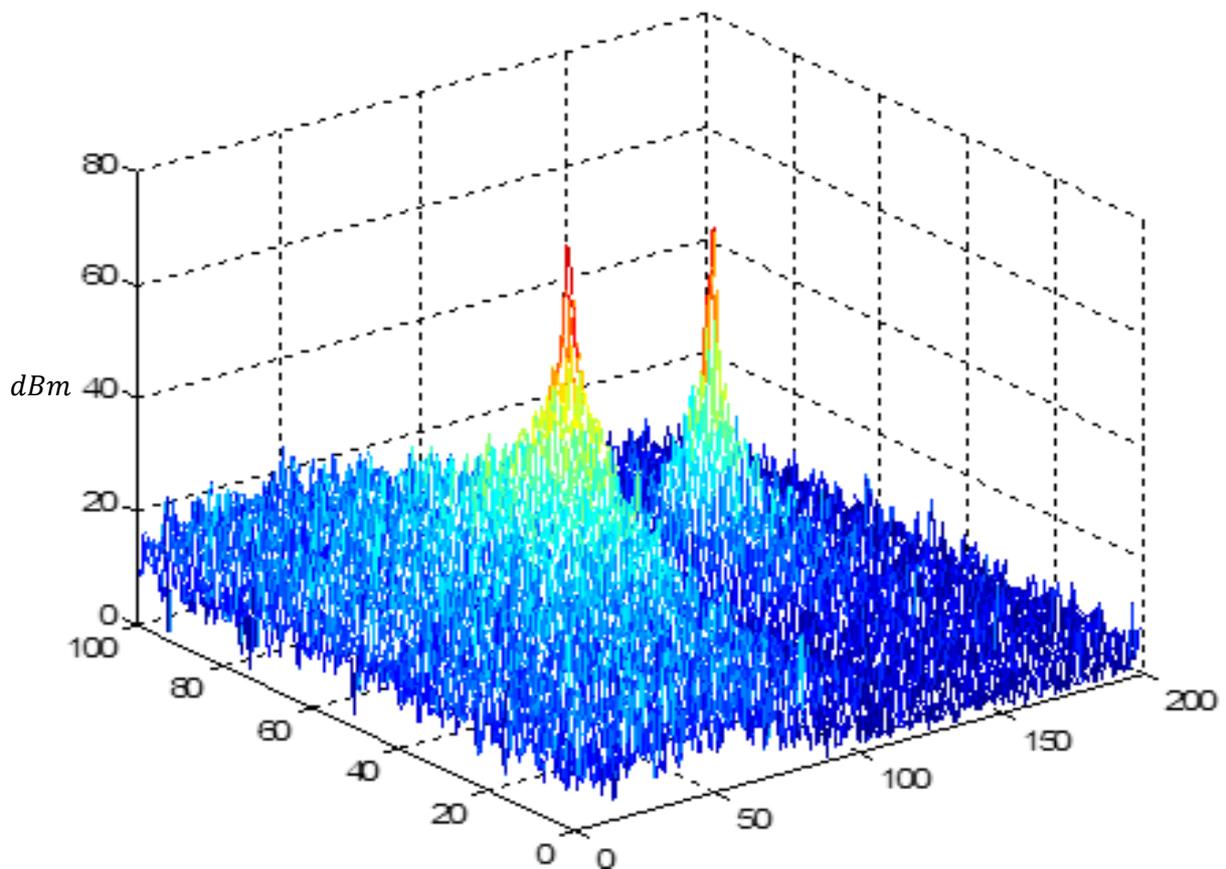


Figure 4.2. (b). Niveau RSSI.

Dans le premier cas avec une puissance de transmission 43dBm pour la macro station de base et de 28dBm avec la micro station de base.

D'autre part, plus la micro station de base est proche de la macro, nous remarquons qu'il y a des utilisateurs localisés dans la macro station de base mais qui sont couverts par la micro station de base. Ce phénomène est appelé overshooting ou dépassement de couverture. Pour cela, on doit changer au niveau des paramètres radio (antennaires) ou bien modifié l'emplacement de la micro station de base. La figure 4.2. (c) illustre le problème d'overshooting rencontré.

Chapitre 4 Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

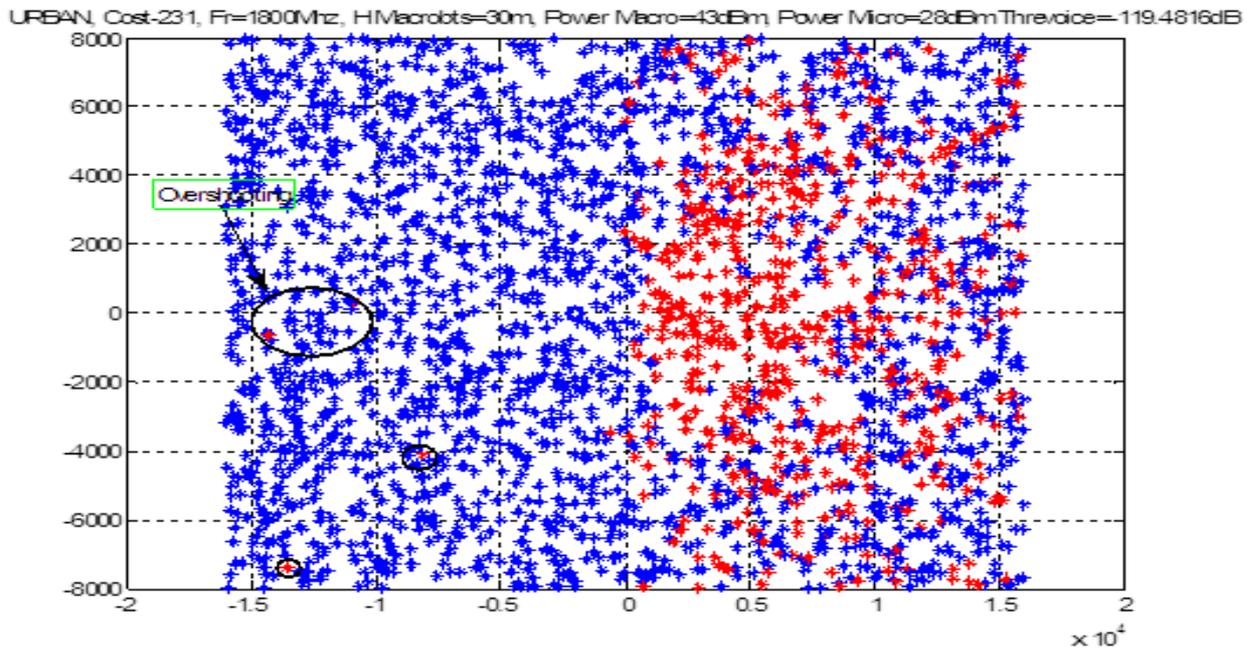


Figure 4.2. (c). Overshooting causé par la micro station de base sur la macro station de base.

Pour éliminer le problème d'Overshooting nous avons augmenté la distance entre la macro et la micro station de base à une distance de 8000 m (voir la figure 4.3 (a)).

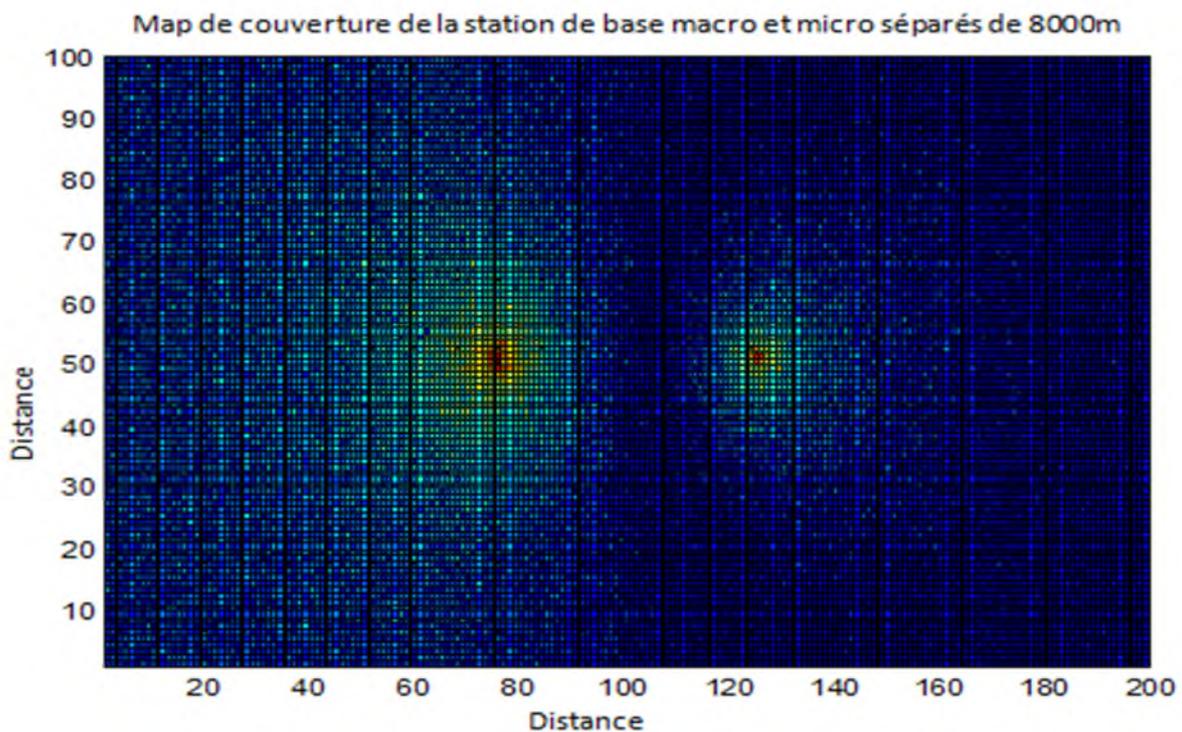


Figure 4.3. (a) : Map de la couverture des deux stations de base séparées d'une distance $d=8000\text{ m}$.

Chapitre 4 Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

Nous constatons que le nombre d'utilisateurs connectés a augmenté dans la micro station de base, chose qui est logique car nous avons choisi un autre emplacement de la station micro et par conséquent les utilisateurs non couverts sont devenus couverts par la station micro. Cependant, on peut garder la même position de la micro station de base et modifier au niveau du tilt ou bien la puissance de transmission pour éliminer ce phénomène. A noter que les approches de changement de position restent une solution finale dans le cas où le changement de paramètres ne donne pas ses fruits. Le niveau RSSI est donné dans la figure 4.3. (b).

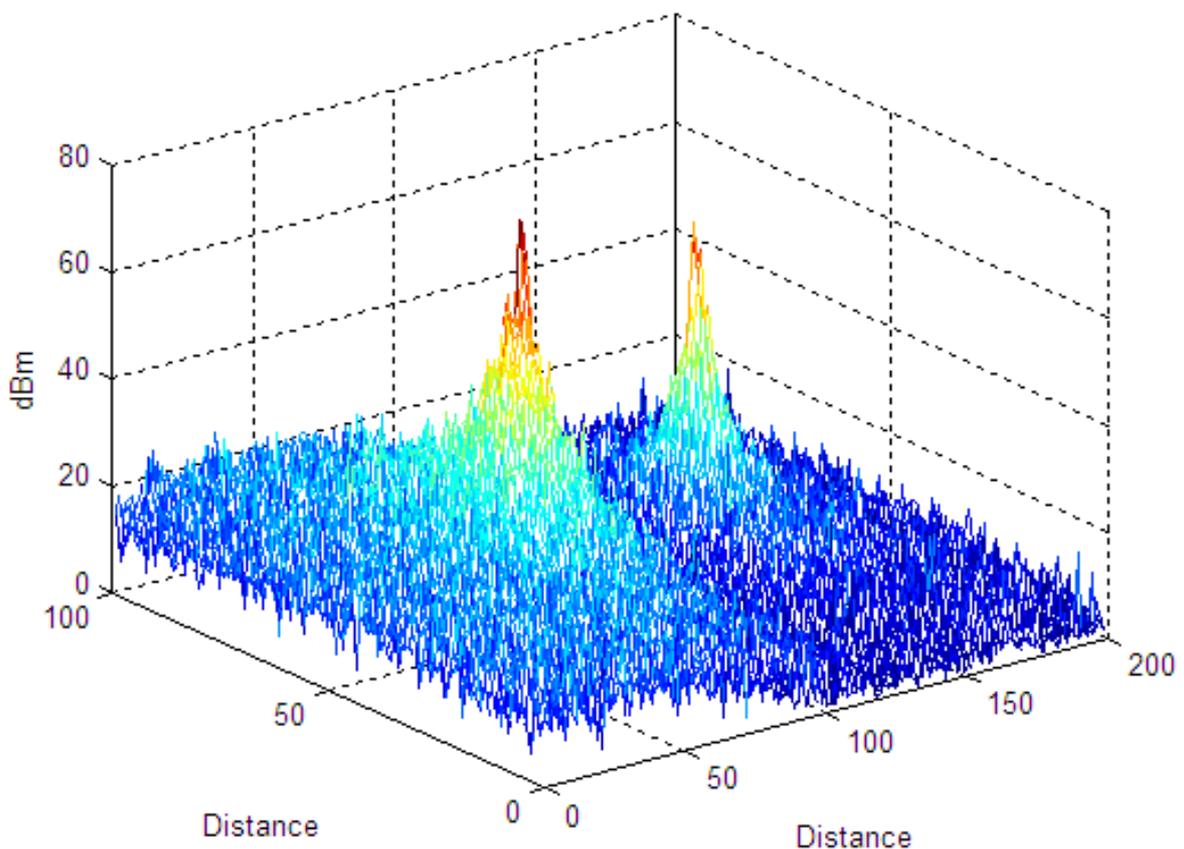


Figure 4.3. (b). Niveau RSSI après modification de la distance.

Chapitre 4 Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

Le phénomène d'Overshooting est ainsi éliminé comme montré par la figure 4.3. (c)

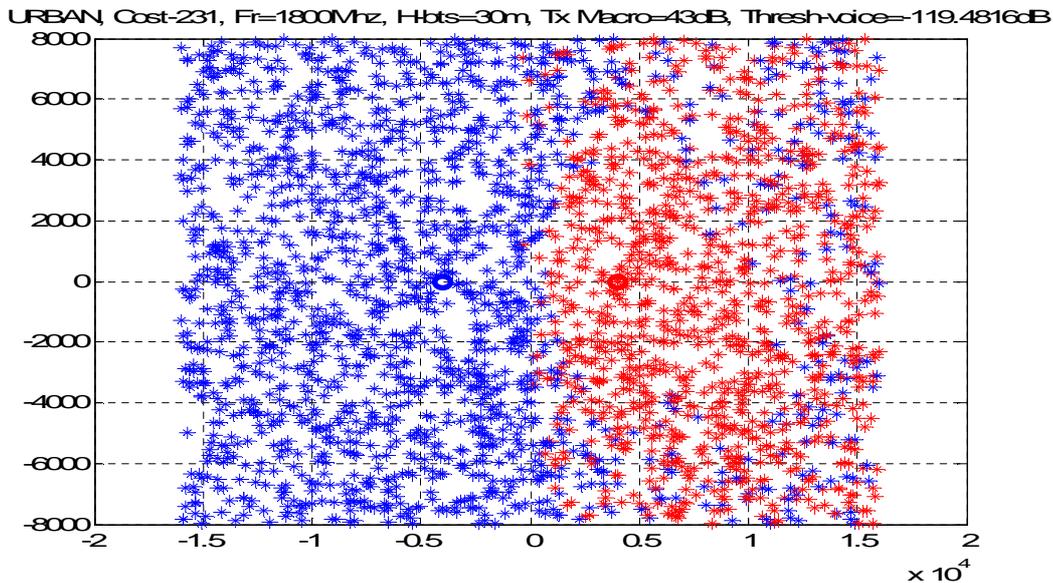


Figure 4.3. (c) : Elimination de l'overshooting par déplacement de la micro station de base.

3.2. Influence de la puissance de transmission sur la couverture

Afin de voir l'influence de paramètres sur la couverture, nous avons examiné la probabilité de couverture en fonction de la distance des utilisateurs dans la station de base à différentes puissances de transmission. La figure 4.4 montre la probabilité de couverture pour une puissance de transmission de 40, 46 et 50dBm. D'après les résultats obtenus la probabilité de couverture augmente quand la puissance augmente. Par exemple, à une distance de 10^4 m de la station de base macro la probabilité de couverture pour une puissance de 40dBm est égale à 0.5, pour une puissance de 46dBm la probabilité est égale à 0.9, pendant qu'elle avoisine 1 pour une puissance de 50dBm. Cependant, l'augmentation de la puissance de la station de base macro peut augmenter la couverture mais en contrepartie les interférences intercellulaires augmentent. Pour cela, il faut vraiment choisir la puissance optimale pour maximiser la couverture et réduire l'overshooting. Notons que dans notre cas on n'a pas pris en considération les obstacles, c'est-à-dire une communication NLOS (Non-Line of Site).

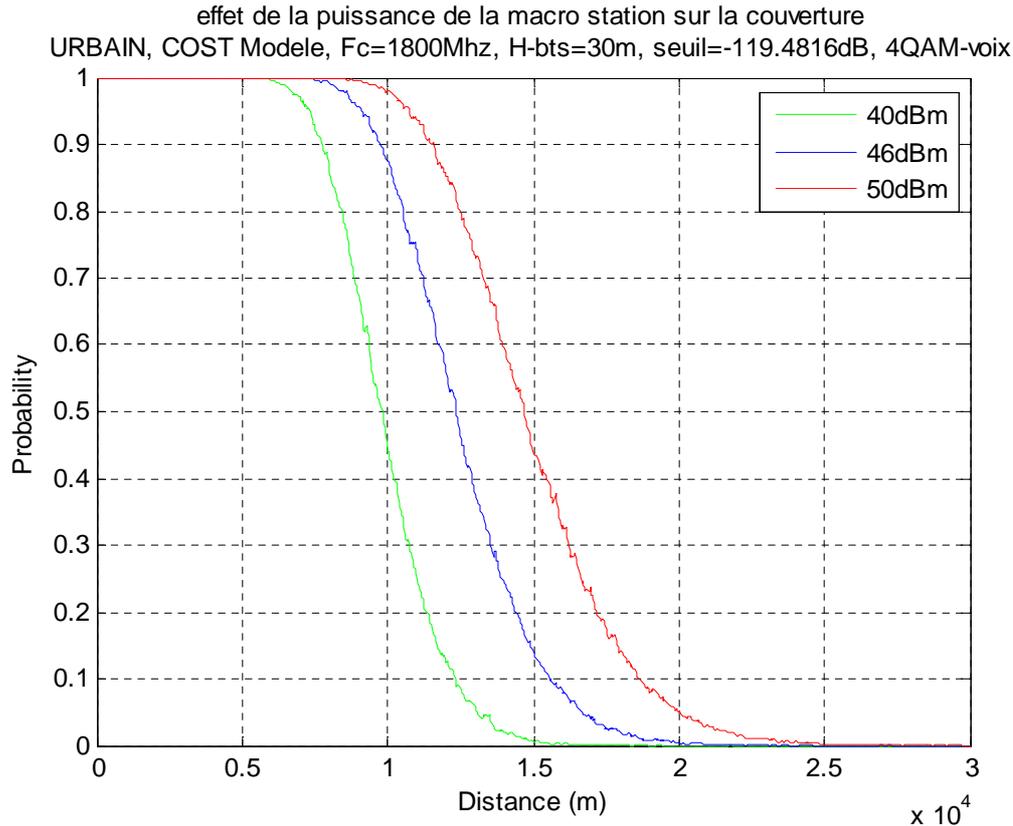


Figure 4.4. Influence de la puissance de transmission d'une macro station de base sur la couverture radio dans un environnement HetNet.

3.3. Influence de la Hauteur sur la couverture réseau LTE HetNet

La hauteur d'antenne est aussi un paramètre très important dans la couverture radio cellulaire. En effet, l'emplacement de l'antenne à une certaine hauteur peut influencer la couverture. Nous avons essayé de varier la hauteur de la macro station de base en choisissant les valeurs de 20, 30 et 40m. Les résultats obtenus sont donnés dans la figure 4.5. On constate que la hauteur peut être un facteur clef pour l'augmentation de la couverture. La probabilité de couverture est de l'ordre de 0.4 à une distance de 10⁴ de la station de base pour une hauteur de 20m, tandis que pour une hauteur de 40m la probabilité de couverture avoisine les 1. D'autre part, le choix de la hauteur est lié à l'environnement de propagation ; plus la région est constituée de grand building plus la hauteur doit être haute.

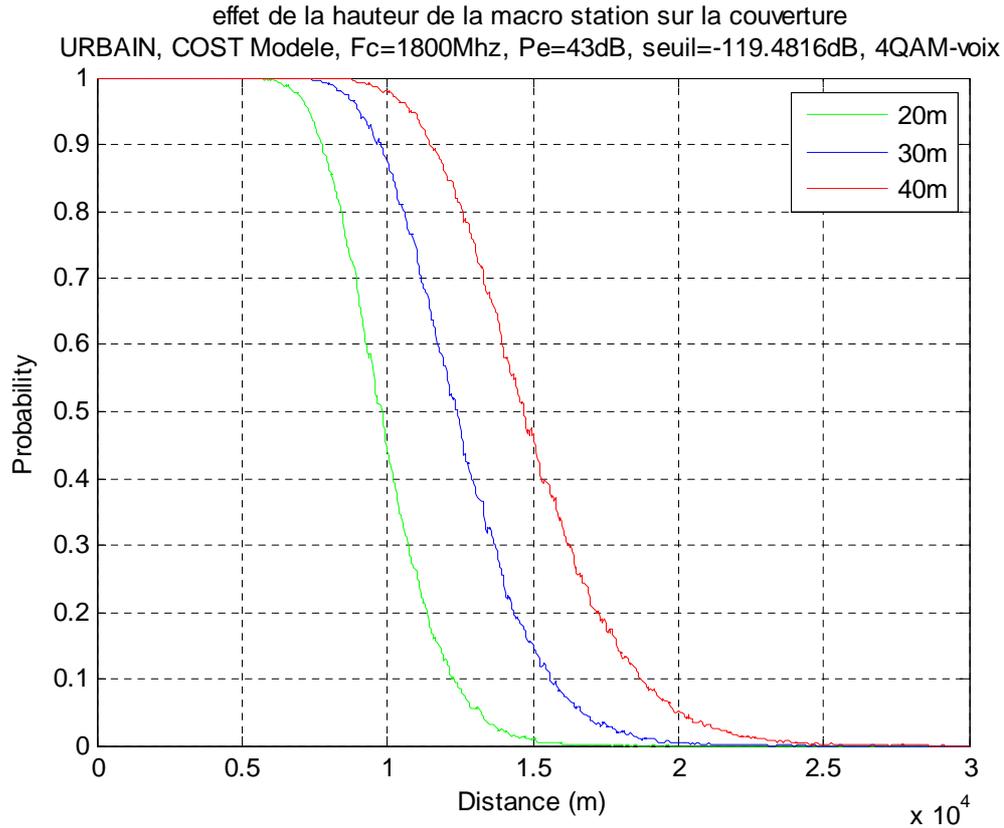


Figure 4.5. Probabilité de couverture en fonction de la distance avec des hauteurs différentes.

3.4. Optimalité Hauteur, puissance, tilt

Dans notre travail nous avons considéré que les antennes sont omnidirectionnelles, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas d'azimut. Nous cherchons actuellement à trouver la hauteur, la puissance ainsi que le tilt optimal pour trouver une bonne couverture radio. La figure 4.6 montre une comparaison de couverture dans différents cas de paramétrages dans un réseau LTE HetNet.

Chapitre 4 Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

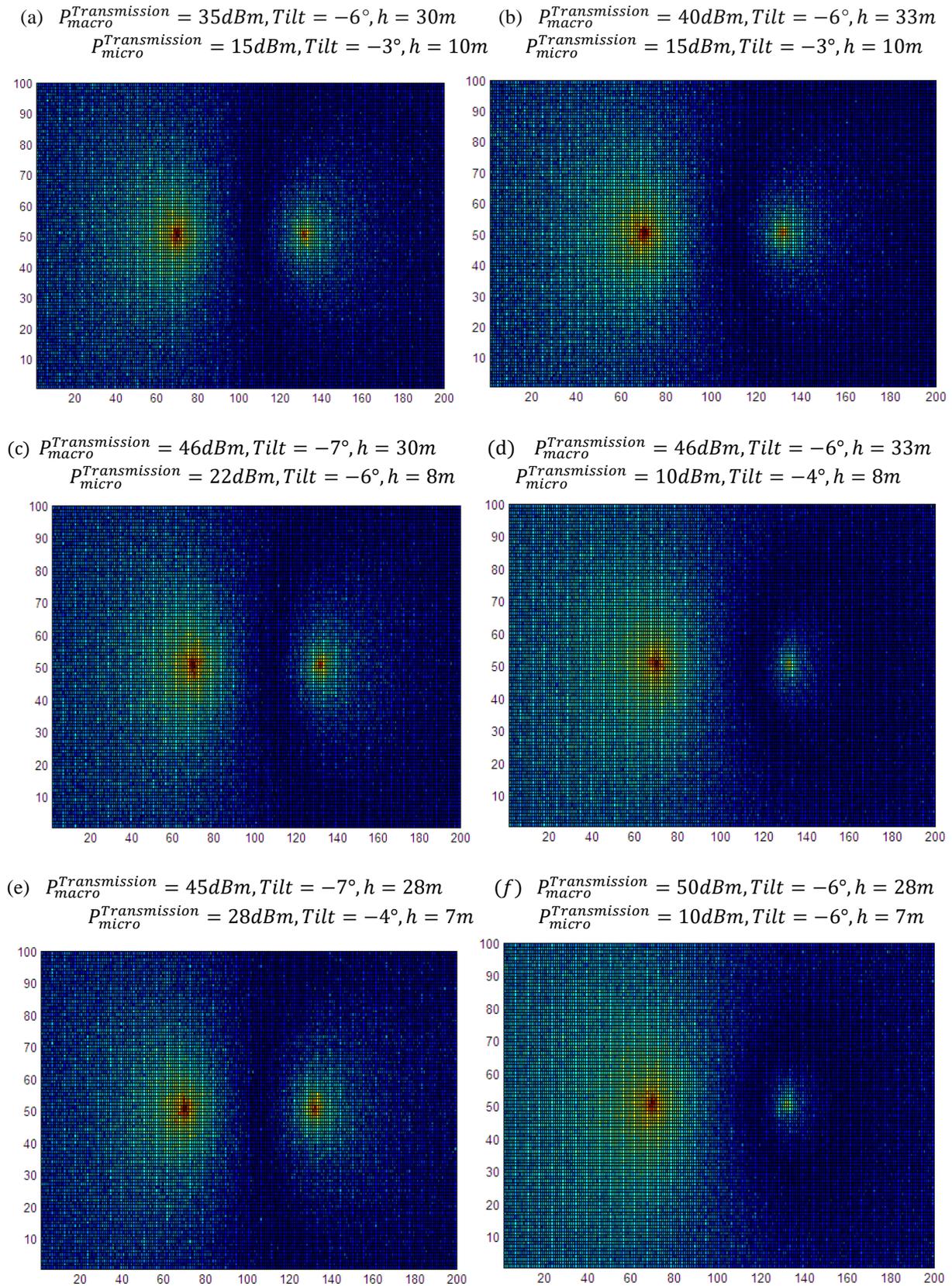


Figure 4.6. Comparaison et choix du paramétrage optimal pour le réseau.

Chapitre 4 Simulation et interprétation des résultats dans un réseau hétérogène

La figure 4.6 illustre la couverture de la micro station de base et macro station de base avec des paramètres antennaires différents. En effet, nous varions les trois paramètres antennaires pour choisir une qui convient pour le réseau. D'après les figures 4.6 (a) et 4.6 (b), on remarque que la zone de couverture a augmenté en augmentant la puissance de la macro station de base uniquement. Mais plus la puissance de la macro station de base augmente avec des grandes valeurs, plus le rayon de couverture de la micro station de base doit être réduit pour éviter des interférences, ce cas est représenté dans les figures 4.6 (d) et 4.6 (f). D'autre part, la comparaison entre 4.6 (e) et 4.6 (f) nous laisse conclure que le changement du Tilt suivi de l'augmentation de la puissance peut être un atout pour augmenter la couverture de la micro, et que la réduction de la puissance de la macro est suivie d'une augmentation de la micro, car la portée de la macro sera réduite, ce qui entraîne des utilisateurs recevant un RSSI très réduit.

En conclusion, on peut dire que les trois paramètres influencent la couverture dans un réseau LTE HetNet et que le paramétrage de la micro station de base est toujours lié à la macro pour éviter des interférences. De plus, les résultats que nous avons développés montrent l'existence d'une interdépendance entre les paramètres pour améliorer la qualité de service du réseau. Par exemple, une puissance élevée peut être source de bonne couverture mais à une grande hauteur la station de base peut interférer les stations adjacentes (micro et/ou macro).

4. Conclusion

Le choix des paramètres antennaires reste un sujet complexe qui nécessite une optimisation continue. Même si les résultats que nous avons présentés dans ce chapitre donnent une idée concrète sur l'influence des divers paramètres des antennes sur la couverture réseau, le choix d'une configuration optimale de ceux-ci reste un challenge pour les communautés académique et industrielle. Dans ce domaine, des méthodes méta-heuristiques telles que celles basées sur les algorithmes génétiques sont proposées dans la littérature.

Conclusion générale

La technologie LTE (Long Term Evolution) présente la technologie la plus performante dans les systèmes de télécommunication. Ce standard a marqué une évolution grâce à son débit élevé, latence réduite, bande de fréquence flexible ainsi qu'une meilleure qualité de service aux utilisateurs.

L'objectif de notre travail a pour but de choisir les différents paramètres des antennes pour définir des configurations de façon à avoir une meilleure couverture ainsi qu'une capacité maximale. Pour y arriver, nous sommes passées par des étapes essentielles. Nous avons commencé par une étude approfondie du réseau LTE hétérogène, ses caractéristiques, son architecture ainsi que ses techniques d'accès. Nous sommes par la suite intéressés à expliquer le processus de dimensionnement et de la planification du réseau.

En outre, nous avons fait une étude sur les antennes, nous avons défini les paramètres antennaires utilisés dans le réseau ainsi que les types d'antennes pouvant être déployées. D'autre part, nous avons proposé une méthodologie de calcul de la couverture basée sur l'intensité du champ, les modèles de propagation utilisés et le rapport signal sur bruit (SINR).

Vu la complexité du problème d'optimisation, nous proposons comme perspectives à ce travail, la résolution d'un tel problème d'optimisation en utilisant les méthodes méta-heuristiques appliquées au réseau LTE hétérogène.

Références bibliographiques

- [1] BOUCHENTOUF Hadjer,BOUDGHENE STAMBOULI Riyad."Etude des performances des réseaux 4G(LTE)".mémoire master. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2013.
- [2] AGUENIOUSonia,HAMMADACHEDalila."Etude de l'influence de la puissance antennaire sur la couverture dans un réseau LTE".mémoire master. Université A. MIRA-BEJAIA, 2018.
- [3] Kanounzakaria,Kazi aoul sofiane."Application du système d'information géographique pour les réseaux GSM". Mémoire licence. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2015.
- [4] SLIMANI Anwar. "Dimensionnement et planification d'un réseau GSM". Mémoire master.UniversitéAbou BakrBelkaid-Tlemcen ,2010.
- [5] Yannick Bouguen, Éric Hardouin François, Xavier Wolff. "*LTE et les réseaux 4G*". Groupe Eyrolles, 2012. ISBN : 978-2-212-12990-8 2002.
- [6] Houda TOUNSI. "Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie Telecom". Mémoire master. Université virtuelle de Tunis, 2016.
- [7] MERABET Adil. " Ingénierie et optimisation du réseau mobile pour une couverture maximale avec minimisation d'antennes". Thèse magistère. Université A. MIRA-BEJAIA, 2012.
- [8] ZENATI Ilyas,BOUFERSAKHAOUssama."Dimensionnement et planification d'un réseau LTE" mémoire master.UniversitéAbou BakrBelkaid-Tlemcen, 2017.
- [9] FELLAHI Ghizlaine." Planification et optimisation d'un reseau de la 4G (LTE) pour la Wilaya de Telemcen".memoiremaster.AbouBakrBelkaid-Tlemcen, 2015.
- [10] Francis Dominique, Christian G.Gerlach, James.P,' Selforganizing interference management for LTE', mobile and wireless communication, Bell Labs Technical journals, PP 19-4, 2010.
- [11] William C.Y,'Mobile Communication design fundamentals', 2nd Ed, John Wiley & Sons, 1993.
- [12] Lars Ahlin, Jens Zander, 'Principles of Wireless communication', 2nd Ed, student itterature, 1998.
- [13] HarriHolma and AnttiToskala. WCDMA for UMTS - HSPA Evolution and LTE. John Wiley and Sons Ltd., 2010.
- [14] WillianC.Y.Lee, 'Mobile Communications engineering', The McGraw-Hill companies 2nd Ed, 1998.

Références bibliographiques

- [15] K. Tutschku, "Demand-based Radio Network Planning of Cellular Mobile System". In Proc. of IEEE INFOCOM 1998, Conference on Computer Communications, vol. 3, pp 1054-1061, San Francisco, CA, USA, Apr 1998.
- [16] Ajay R. Mishra, 'Fundamentals of cellular network planning and optimization, 2G,3G , Evaluation 4G', John Wiley & sons, 2004.
- [17] JukkaLempiainen, MattiManninen, 'UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management', European Communications Engineering', 2004.
- [18] JukkaLempiainen, MattiManninen, 'Radio Interface Planning For GSM/GPRS/UMTS', 2nd ed, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [19] SalaheddinHosseinzadeh, HadiLarijani, Krystyna Curtis, 'An enhanced modified multi wall propagation model', Global Internet of Things Summit (GIoTS), 2017.
- [20] A. Gamst, E. G. Zinn, R. Beck and R. Simon, "Cellular Radio Network Planning".IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, pp: 8-11, 1986.
- [21] Stefano Rini, ShlomoShamai,'on the capacity of the dirty paper channel with fast fading and discrete channel states', IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), pp:1-4, 2016.
- [22] David J. Reader; William G. Cowley, 'Blind maximum likelihood sequence detection over fast fading channels', 8th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 1996), pp:1-4, 1996.
- [23] Yen-HuiYeh; Sau-Gee Chen, 'An efficient fast-fading channel estimation and equalization method with self ICI cancellation', 12th European Signal Processing Conference, pp:449-452, 2004
- [24] M. J. Withers, 'Single-receiver diversity system for reducing the effect of fast fading in mobile radio', Electronics Letters, Volume: 20, Issue: 4, Pages: 81 – 92, 1971.
- [25] P. Olivier, J. Tiffon, 'Fast-fading characterisation in urban mobile propagation at 855 MHz in Paris', Electronics Letters, Volume: 21, Issue: 19, pp: 830 – 832, 1985.
- [26] P. DeGrab, 'Bill and keep at the central office as the efficient interconnection regime', Federal Communications Commission, Office of Plans and Policy, 2000.
- [27] B.H.Pleury, P.E.Leuthold, 'Radio wave propagation in mobile communication: an overview of European research', in IEEE communication magazine, Vol.34, pp.70-81, 1996.
- [28] LeïlaNajjarAtallah; Sylvie Marcos, 'Time delay and direction of arrival estimation of multiple users in slowfading channels', 2002 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Pages: III-2865 - III-2868, 2002.
- [29] AyariAymen;KhedherHouda;AyadiMohamed;Ez-Zahraouy; TabbaneSami,'Probabilistic model for mobility in cellular network subscriber', 1st International Conference on Wireless

Références bibliographiques

Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronics Systems Technology, Pages: 351 – 355, 2009.

[30] Nandish P. Kuruvatti; Julian F. Saavedra Molano; Hans D. Schotten, 'Mobility context awareness to improve Quality of Experience in traffic dense cellular networks', 24th International Conference on Telecommunications (ICT), pp.1-7, 2017.

[31] Zigang Yang; Xiaodong Wang, 'Sequential Monte Carlo for mobility management in wireless cellular networks', 11th European Signal Processing Conference, pp.1-7, 2002.

[32] Ajay. R.Mishra, 'Advanced Cellular Network Planning and Optimization 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G'. John Wiley & Sons, Ltd, pp.544, 2007.

[33] K. E. Oliver, S. M. Allen and S. Hurley, "Utilizing Network Dimensioning to Improve Automated Cell Planning". In proc. 60th IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 5, pp. 3419-3423, Sept. 2004.

[34] Ericsson document number TR33584. Planning and Drive test

[35] C.Y. Lee and H.G. Kang, 'Cell Planning with Capacity Expansion in Mobile Communications: A Tabu Search Approach', IEEE Trans. Vehicular Technology. Vol. 49, issue 5, pp. 1678–1691, Sept. 2000.

[36] Simon R. Saunders, Alejandro Aragón Zavala, Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, 2nd ed, Wiley, 2005.

[37] Ryszard Struzak, Radio-wave propagation basics, ICTP-ITU-URSI School on Wireless Networking for Development. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics ICTP, Trieste (Italy), February 2006.

[38] R. M. Whitaker, L. Raisanen and S. Hurley, 'A Model for Conflict Resolution Between Coverage and Cost in Cellular Wireless Networks', 37th Annual Hawaii International Conference, pp: 1-8, Jan, 2004.

[39] Ouamri.Med.Amine, Zenadji Sylia, Abdelkrim Khireddine, 'Optimal Base Station Planning Using Genetic Algorithm for LTE Network', 12th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications, BWCCA Springer, 2017.