

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie

Département ATE

Projet de Fin d'Etude

**Présenté pour l'obtention du Diplôme De
master en Télécommunication**

Options : Systèmes de Télécommunication

Présenté par

LEKRIM Sabrina

MEHNAOUI Samir

Thème

**La gestion des interférences inter-cellulaires dans
un réseau LTE**

Soutenu le 3 juillet 2019

Devant le jury

Presidente **Mme. Achour.S**

Examineur **M. Benamirouche.N**

Encadreur **M. Tounsi.M**

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier Allah le tout puissant, ce mémoire n'aurait jamais été réalisé sans sa bénédiction.

Nous adressons nos remerciements à notre encadreur **Mr. TOUNSI** pour ces conseils judicieux, et ces remarques objectives.

Nous remercions les membres du jury, **Mme Achour** Et **Mr. Benamirouche** D'avoir acceptés d'examiner notre travail.

Nous profitons de cette opportunité pour exprimer notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie, à notre formation.

Nous tenons à remercier nos familles de nous avoir soutenues, nous ne serons jamais assez reconnaissantes envers nos parents qui ont toujours tout mis en œuvre pour qu'on s'épanouisse dans tout ce qu'on entreprend.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé de près ou de loin durant notre travail et en particulier tous nos camarades de la promotion.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail...

A ma très chère mère qui m'a soutenu durant ces années d'études

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

A mon très cher père qui a été toujours à mes côtés pour me soutenir et

M'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*A mes chers frères **Lounis et Mouhoub** et mes adorables sœurs **Yasmine et***

***Maria** pour leurs soutiens, je suis chanceuse de vous avoir à mes côtés.*

*A mon âmes jumelle **Samira**, ma très chère amie et sœur qui a été toujours là*

Pour moi, tu resteras ma meilleure malgré la distance qui nous séparera

Que notre amitié soit éternelle.

A tous mes oncles et tantes.

*A toutes mes amies **Sana, Nouara, Merieme Chahinez, Souad.***

*A toute la promotion **ST 2019.***

Merci.

Sabrina

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail...

A mes parents qui ont fait de leur mieux pour m'apporter toute l'aide dont j'ai pu avoir besoin pour réussir dans mes études et dans ma vie, leur soutien et leur bénédiction ont fait de moi la personne dont je suis maintenant.

Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

*A ma grand-mère '**Mama Tita**' pour son amour et ses prières que dieu la protège et la garde, ainsi que toute ma grande famille.*

*A mes frères '**Lyes**', '**Yanis**' et '**Said**', ainsi que ma belle-sœur '**Nesrine**' à qui je souhaite la réussite, le bonheur et la joie dans leur vie.*

*A mon meilleur ami et cousin '**Amine**' que je suis fier aussi d'appeler mon frère, sans oublier tous mes cousins et mes cousines.*

*A mes amis de la digitale arts **Fayçal**, **Oussama**, **Nadjib**, **Hamid** et **Sidali**, que je considère comme une deuxième famille.*

A tous mes amis et tous ceux qui m'aimes et que j'aime, qui m'ont soutenu et qui ont cru en moi.

Et finalement à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et à tous mes collègues de la promotion.

Samir

Table des matières

Liste des figures.....	vii
Liste des abréviations.....	ix
Introduction générale	1
I. CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE RESEAU LTE	4
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 ÉVOLUTION DES RESEAUX RADIO MOBILES	4
I.2.1 Concept cellulaire	4
I.2.2 Les différentes générations de téléphonie mobile	5
I.2.2.1 Réseaux mobiles de première génération (1G)	5
I.2.2.2 Réseaux mobiles de deuxième génération (2G) / Réseau GSM	6
I.2.2.3 Réseaux mobiles de troisième génération (3G) / Réseau UMTS.....	7
I.2.2.4 Réseaux mobiles de quatrième génération (4G)	7
I.3 ARCHITECTURE ET ENTITES LTE	8
I.3.1 Réseau cœur EPC.....	8
I.3.2 Réseau radio eUTRAN	9
I.3.2.1 Les interfaces réseau de l'E-UTRAN.....	10
I.4 TECHNOLOGIES DU RESEAU LTE.....	10
I.4.1 Technique d'accès multiple	10
I.4.1.1 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).....	10
I.4.1.2 L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access).....	11
I.4.1.3 SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access).....	12
I.4.2 Structure de la trame LTE	14
I.4.2.1 La trame FDD	14
I.4.2.2 La trame TDD	15
I.4.3 Blocs de ressources	15
I.4.4 La technologie MIMO « Multiple-Input Multiple-Output »	16
I.4.5 Le Handover	17
I.4.6 La technologie SON « Self Optimizing/Organizing Network »	17
I.5 ÉLÉMENTS DE QOS « QUALITY OF SERVICE »	18
I.6 CONCLUSION	19
II. CHAPITRE 2 : ELEMENTS DE PLANIFICATION RADIO LTE.....	21
II.1 INTRODUCTION	21
II.2 PLANIFICATION RADIO.....	21
II.3 CRITERES DE DIMENSIONNEMENT	22
II.3.1 Dimensionnement de couverture.....	22
II.3.1.1 Les étapes de dimensionnement de couverture [23].....	23
II.3.2 Dimensionnement de capacité	24
II.3.3 Bilan de liaison (RLB).....	24

II.3.4	<i>Modèle de propagation</i>	26
II.3.4.1	Modèle Macro-cellulaire.....	26
II.3.4.2	Modèle Micro-cellulaire	27
II.3.4.3	Type de modèle de propagation	27
II.3.5	<i>Planification des sites</i>	29
II.3.6	<i>Paramètres antennaires</i>	31
II.3.6.1	Fréquence	31
II.3.6.2	Directivité	31
II.3.6.3	Gain	32
II.3.6.4	Azimut	32
II.3.6.5	Tilt	32
II.3.6.6	Puissance d'émission.....	33
II.4	CONCLUSION	34
III.	CHAPITRE 3 : TECHNIQUES DE COORDINATION DES INTERFERENCES.	36
III.1	INTRODUCTION	36
III.2	PROPAGATION ET RAPPORT SINR	36
III.3	COORDINATION DES INTERFERENCES INTER-CELLULAIRES ICIC	37
III.3.1	<i>IFR 1 et IFR 3 (Integer Frequency Reuse)</i>	38
III.3.1.1	Integer Frequency Reuse 1 (IFR 1)	38
III.3.1.2	Integer Frequency Reuse 3 (IFR 3)	40
III.3.2	<i>Soft Frequency Reuse (SFR) [34]</i>	41
III.3.3	<i>Fractional Frequency Reuse (FFR)</i>	42
III.4	CONCLUSION	46
IV.	CHAPITRE 4 : SIMULATIONS ET INTERPRETATIONS	48
IV.1	INTRODUCTION	48
IV.2	ETAPES DE SIMULATION	48
IV.3	RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	49
IV.3.1	<i>Simulations avec les modèles IFR1 et IFR 3</i>	49
IV.3.1.1	Evaluations du IFR1 et IFR3	49
IV.3.1.2	Evaluation du SINR pour IFR1 et IFR3	51
IV.3.1.3	Evaluation de l'efficacité spectrale pour IFR1 et IFR3	52
IV.3.2	<i>Simulations et comparaison des techniques IFR3, SFR et FFR-</i>	53
IV.3.2.1	Evaluation du SINR pour IFR3, SFR et FFR.....	54
IV.3.2.2	Evaluation de l'efficacité spectrale pour IFR3, SFR et FFR	55
IV.3.2.3	Evaluation du débit pour IFR3, SFR et FFR.....	55
IV.4	CONCLUSION	56
	Conclusion Générale.....	57
	Bibliographie	
	Résumé	

Liste des figures

<i>Figure I.1: Concept de division cellulaire.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure I.2 : Évolution des différentes générations de réseaux mobiles</i>	<i>5</i>
<i>Figure I.3 : Architecture générale d'un réseau EPC [8].</i>	<i>9</i>
<i>Figure I.4 : Architecture de l'E-UTRAN[9].</i>	<i>9</i>
<i>Figure I.5 : Allocation de sous-porteuses en OFDM et OFDMA.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I.6 : Allocation des sous-porteuses en mode OFDMA [9]......</i>	<i>12</i>
<i>Figure I.7 : Codage radio OFDMA et SC-FDMA.</i>	<i>13</i>
<i>Figure I.8: Différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA.</i>	<i>14</i>
<i>Figure I.9: Structure d'une trame FDD.</i>	<i>14</i>
<i>Figure I.10: Structure d'une trame TDD</i>	<i>15</i>
<i>Figure I.11 : Grille de ressources temps fréquence</i>	<i>16</i>
<i>Figure I.12: Illustration des technologies SISO, SIMO, MISO et MIMO [13].</i>	<i>17</i>
<i>Figure I.13: : Le principe de la technologie SON [22]......</i>	<i>18</i>
<i>Figure II. 1 : Processus général de la planification des réseaux mobiles</i>	<i>21</i>
<i>Figure II. 2 : Processus de dimensionnement d'un réseau LTE [12].</i>	<i>22</i>
<i>Figure II. 3 : Etapes de dimensionnement de couverture[23].</i>	<i>23</i>
<i>Figure II. 4 : Illustration de calcul de dimensionnement de capacité [23]</i>	<i>24</i>
<i>Figure II. 5 : Les bilans de liaison sur les deux voies montantes et descendantes [24].</i>	<i>27</i>
<i>Figure II. 6 : Paramètres du modèle Walfish-Ikegami.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure II. 7 : Les différents types de sites (omni-directionnel, bi-secteur, tri-secteur) [26]....</i>	<i>29</i>
<i>Figure II. 8 : La relation entre l'empreinte du site et le nombre de secteur[23].</i>	<i>30</i>
<i>Figure II. 9 : L'antenne mono-directionnelle.</i>	<i>32</i>
<i>Figure II. 10 : L'antenne directionnelle.</i>	<i>32</i>
<i>Figure II. 11 : Représentation d'azimut.</i>	<i>33</i>
<i>Figure II. 12 : Représentation du Tilt.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure III. 1: Fonctionnement de la technique ICIC</i>	<i>37</i>
<i>Figure III. 2 : Illustration de l'IRF 1.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure III. 3 : Illustration de l'IFR3.</i>	<i>40</i>
<i>Figure III. 4 : Illustration fde la SFR.</i>	<i>41</i>
<i>Figure III. 5 : Illustration de la FFR.</i>	<i>43</i>
<i>Figure III. 6 : L'allocation des frequences avec la technique FFR</i>	<i>43</i>

<i>Figure IV.1 : Organigramme des simulations IFR1 et IFR 3.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure IV.2 : Organigramme des simulations IFR3, SFR et FFR.</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV.3: le SIR moyen des utilisateurs en fonction de la distance pour le modèle IFR1...49</i>	
<i>Figure IV.4 : SIR moyen des utilisateurs en fonction de la distance poue le modèle IFR350</i>	
<i>Figure IV.5 : SINR moyen en fonction du path loss du modèle IFR1.51</i>	
<i>Figure IV.6: SINR moyen en fonction du path loss du modèle IFR351</i>	
<i>Figure IV.7: Evaluation de l'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de la distance du modèle IFR 152</i>	
<i>Figure IV.8 : Evaluation de l'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de la distance du modèle IFR 3.53</i>	
<i>Figure I.9 : SINR des utilisateurs en fonction de de la distance pour les modèles IFR3, FFR et SFR54</i>	
<i>Figure I.10 : L'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de la distance pour modèles IFR3, FFR et SFR.....55</i>	
<i>Figure I.11: Le débit moyen par utilisateur en fonction e la distance pour les modèles IFR3, FFR et SFR.....55</i>	

Liste des abréviations

3GPP: Third Generation Partner Ship

1G: 1^{ère} Génération

2G: 2^{ème} Génération

3G: 3^{ème} Génération

4G: 4^{ème} Génération

A

AMPS: Advanced Mobile Phone System

ABS: Almost Blank Subframe

ASN-GW: Access Service Network Gateway

E

eNB: Evolved Node B

EPC: Evolved Packet Core Network

EPS: Evolved Packet System

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

F

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FDD: Frequency Division Duplexing

FFR: Fractional Frequency Reuse

G

GSM: Global System Mobile

H

HSS: Home Subscriber Server

HLR: Home Location Register

HFR: Hard Frequency Reuse

HetNet: Heterogeneous Network

I

IMS: Internet Protocol Multimedia Subsystem

IP: Internet Protocol

ICIC: Inter- Cell Interference Coordination

ICI: Inter Cell Interference

ISI: Inter-Symbol Interference

IFR: Integer Frequency Reuse

L

LTE: Long Term Evolution

M

MAC: Medium Access Control

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MME: Mobility Management Entity

MSC: Mobile service Switching Center

MT: Mobile Termination

N

NGN: Next Generation Network

NAS: Network Access Server

NMT: Nordic Mobile Telephone

O

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

P

PCRF: Policy and Charging Rules Function

PDN: Packet Data Network

PDN-GW: Packet Data Network Gateway

PDCP: Packet Data Control Protocol

PAPR: Peak to Average Power Ratio

PFR: Partial Frequency Reuse

Q

QoS: Quality of Service

R

RNC: Radio Network Controller

RRC: Radio Resource Control

RRM: Radio Resource Management

RLC: Radio Link Control

RSRP: Reference Signal Received Power

RE: Ressource Element

S

SAE: System Architecture Evolution

SC-FDMA: Single Carrier - Frequency Division Multiple Access

SGSN: Serving GPRS Support Node

SGW: Serving Gateway

S1-U: Interface entre eNodeB et S-GW (S1 User plan)

S1-C: Interface entre eNodeB et MME (S1 Control plan)

S11 : Interface entre MME et S-GW

SINR: Signal Interference Noise Ratio

SFR: Soft Frequency Reuse

T

TDD: Time Division Duplexing

TDMA: Time Division Multiplexing Access

TE: Terminal Equipment

U

UE: User Equipement

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network

UICC: Universal Integrated Circuit Card

USIM: Universal Subscriber Identity

X

X2 : Interface entre les eNB

Introduction générale

L'industrie du sans-fil a connu ces dernières années une croissance phénoménale des systèmes radio-mobiles. Plusieurs phases d'évolution dans un temps remarquablement court ont conduit à l'émergence et à la combinaison de diverses technologies permettant de nombreuses applications multimédia avec des débits de plus en plus importants, des latences réduites, et une qualité de service garantie pour un nombre d'utilisateurs sans cesse croissant.

La forte demande des abonnés aux opérateurs et aux fournisseurs mobiles d'accès internet à large bande leur a imposé de procéder à un design efficace, robuste et complet, pour l'amélioration des services, plateformes multi-technologiques capables de supporter de nouvelles applications innovatrices, une migration du réseau 3G vers la quatrième génération basée sur la technologie OFDMA se présente pour répondre à toutes ces demandes.

La 4G fournit un accès à une large gamme de services de télécommunication, y compris des services mobiles avancés, pris en charge par des réseaux fixes et mobiles, qui sont de plus en plus basés sur des paquets, ainsi que des applications à mobilité réduite ou élevée et une large gamme de débits de données, l'un de ses principaux défis consiste à augmenter la capacité du réseau.

Le dimensionnement et la planification radio d'un réseau cellulaire consistent à déterminer le nombre de stations de bases eNBs pouvant donner une capacité optimale et une couverture maximale avec le minimum des coûts en assurant la liaison radio et l'infrastructure du réseau[1], en tenant compte de la couverture radio et de la taille des cellules sous réserve de contraintes de la QoS.

Les interférences intercellulaires constituent toutefois le principal obstacle à l'amélioration des performances d'un système LTE. La coordination intercellulaire des interférences (ICIC) a été étudiée comme une approche permettant d'atténuer l'impact des interférences et d'améliorer les performances des systèmes basés sur OFDMA [1] [5].

C'est dans ce contexte que se situe notre projet de fin d'étude qui vise à gérer les interférences inter-cellulaires dans un réseau LTE.

Ce projet est organisé en 4 chapitres plus la présente introduction et une conclusion. Le premier chapitre présente un bref rappel sur l'évolution des générations de téléphone mobile, le concept cellulaire, définition du réseau 4G, son architecture et ses différentes technologies.

Le deuxième chapitre comprend les concepts de base liés au dimensionnement et aux éléments de planification radio LTE.

Le troisième chapitre définit l'approche ICIC dans le réseau LTE, et comporte quelques techniques et mécanismes de gestion des interférences.

Et enfin le quatrième chapitre qui expose les résultats de simulations que nous avons réalisées sur MATLAB ainsi que leurs interprétations.

Chapitre 1

Généralités sur le réseau LTE

I. Chapitre 1 : Généralités sur le réseau LTE

I.1 Introduction

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications.

La Quatrième génération des réseaux radio mobiles LTE « long term evolution », un projet lancé par le groupe 3GPP (3rd Generation Partnership Project) destiné à être comme son nom l'indique, une évolution à long terme de la troisième génération.

Dans ce chapitre nous allons faire un bref rappel sur l'évolution des générations de téléphone mobile en se basant sur le réseau 4G en donnant son architecture et ses différentes technologies.

I.2 Évolution des réseaux radio mobiles

I.2.1 Concept cellulaire

Un réseau cellulaire consiste à diviser le territoire en petites zones appelées cellules, chaque cellule est couverte par une station de base (BTS) à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite. C'est avec cette BTS que communiquent les abonnés se trouvant dans la cellule concernée. Les cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes bandes de fréquences afin d'éviter les interférences. L'ensemble des cellules dans lequel chaque fréquence de la bande est utilisée une seule fois est appelé « motif » ou « cluster ». Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir. Généralement une cellule est représentée sous forme d'hexagone car c'est la forme la plus proche de celle d'un cercle [2].

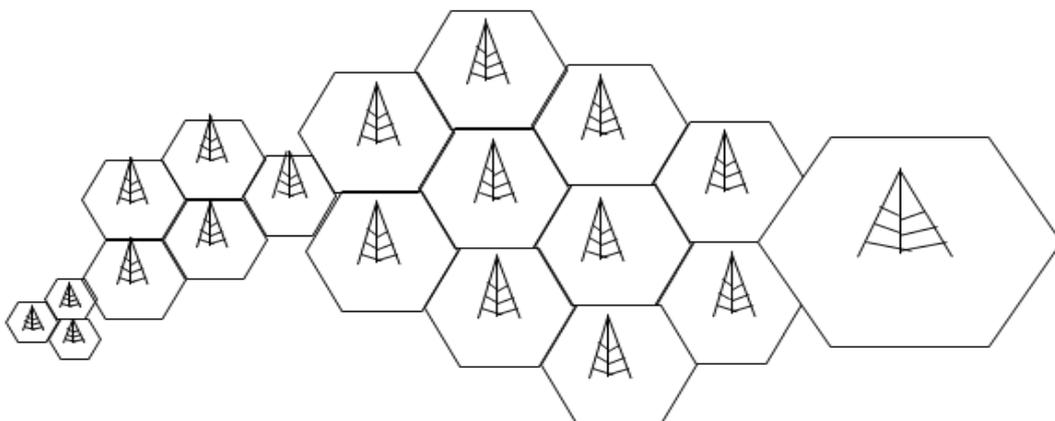


Figure I. 1 : Concept de division cellulaire.

I.2.2 Les différentes générations de téléphonie mobile

L'évolution de la téléphonie mobile qui s'est accélérée depuis la fin des années 1990, a connu plusieurs sauts technologiques, donnant naissance à chaque fois à une nouvelle génération de réseaux mobiles à savoir la 1G, 2G, 3G puis 4G. La figure suivante illustre ces différentes évolutions.

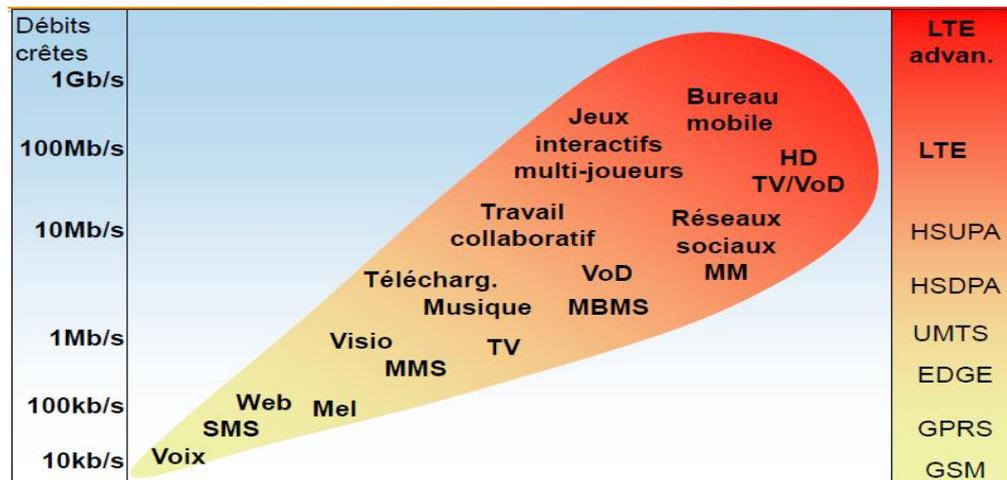


Figure I.2 : Évolution des différentes générations de réseaux mobiles

I.2.2.1 Réseaux mobiles de première génération (1G)

Les premiers réseaux de téléphonie mobile sont apparus à la fin des années 1970 et reposent sur une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde [3] :

- AMPS aux États-Unis.
- TACS au Japon et au Royaume-Uni.
- NMT dans les pays scandinaves.
- Radiocom2000 en France.
- C-NETZ en Allemagne.

Ces systèmes basés sur une commutation de cellules, un codage et une modulation analogiques, associent un canal fréquentiel sous la bande des 900 Mhz à un utilisateur par une technique d'accès multiples FDMA. La capacité très limitée de ces systèmes comme quelques appels et voix simultanés par cellule, les coûts exorbitants et les dimensions importantes des terminaux (limitant leur portabilité), ainsi que des tarifs élevés de communication ont accéléré le passage à une nouvelle génération.

I.2.2.2 Réseaux mobiles de deuxième génération (2G) / Réseau GSM

Cette génération a été déployée à partir des années 1990 sous diverses normes : GSM en Europe, PDC au Japon, IS-95 aux États-Unis, ...etc. Ces systèmes sont numériques et donnent accès au service voix en mobilité, ainsi qu'aux messages textes courts SMS (Short Message Service). Par exemple, les systèmes GSM sont caractérisés par [4] :

- Une transmission numérique et une commutation de circuits.
- Un duplexage FDD (une bande de fréquences par lien) :
 - Voie montante UL: 890 – 915 Mhz
 - Voie descendante DL : 935 – 960 Mhz
- Des services voix et data à très faible débits : 14 kbps jusqu'à 64 kbps.
- Une technique d'accès de type F/TDMA.

Les systèmes GSM ont connu deux évolutions majeures considérées presque comme de nouvelles générations dénommées : GPRS (2.5G) et EDGE (2.75G).

Les systèmes GPRS sont caractérisés entre autres par :

- Commutations de circuits /commutations de paquets.
- Débit théorique 171.2 kbps (jusqu'à 114 kbps en pratique).
- Technique d'accès de type F/TDMA.
- Service voix et data (accès internet etc.).

Les systèmes EDGE sont caractérisés entre autres par :

- Débit théorique 384 kbps (jusqu'à 150 kbps en pratique).
- Même technique d'accès que les deux précédentes.
- Quatre fois plus rapides que le GPRS.
- Ouverture aux mondes des applications multimédia.

I.2.2.3 Réseaux mobiles de troisième génération (3G) / Réseau UMTS

Apparus au début des années 2000, les systèmes 3G ont consacré grâce à une augmentation des débits, l'avènement du Multimédia : streaming, visiophonie, vidéoconférence... Deux familles de technologies ont connu un succès commercial : l'UMTS, issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Ces systèmes se distinguent de leurs prédécesseurs essentiellement par une interface radio complètement modifiée reposant sur un accès multiple à répartition par les codes (CDMA). Les systèmes UMTS ont connu diverses évolutions (ou Releases) qui vont donner naissance au LTE [5] :

- **Le HSPA (3.5G ou 3G+) :** Ces évolutions (HSDPA : *High Speed Downlink Packet Access*, HSUPA : *High Speed Uplink Packet Access*) ont été normalisées par le 3GPP (Release 5 (2002) et Release 6 (2005)) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence :
 - Débit de 5.8 Mbps sur la voie montante avec les modulations QPSK et BPSK.
 - Débit de 14.4 Mbps sur la voie descendante avec les modulations QPSK et 16 QAM.
 - Technique d'accès : W-CDMA.
 - Commutation de paquets permettant une gestion dynamique des ressources radio.
- **Le HSPA+ (3.75G ou 3G++) :** normalisée par le 3GPP en 2007 dans les releases 7 et 8 :
 - Débit de 42 Mbps sur la voie descendante avec la modulation 64-QAM.
 - Débit de 11 Mbps sur la voie montante avec la modulation 16-QAM.
 - Technique d'accès par codes W-CDMA.
 - L'adoption de la technologie MIMO.
 - Prise en charge des utilisateurs always-on.

I.2.2.4 Réseaux mobiles de quatrième génération (4G)

Dans le début des années 2000, plusieurs opérateurs mobiles et équipementiers télécoms et organisations se sont réunies dans le but de développer un réseau mobile dit de nouvelle génération basé sur la 3G et appelée LTE (*Long Term Evolution*). Le principal avantage de ce nouveau standard est de permettre des débits pouvant aller jusqu'à 1 Gbps en vitesses fixes (stable), et 100 Mbps pour les utilisateurs mobiles [6].

Au-delà de la LTE, nous avons la LTE-Advanced (4G), dénommée LTE-A, déployée à partir de 2012 et définie par la release 10/3GPP dans le but d'augmenter le débit en utilisant plusieurs porteuses (agrégations porteuses).

I.3 Architecture et entités LTE

Le réseau LTE est un réseau cellulaire constitué de plusieurs cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes. Le réseau est divisé en deux parties, une partie radio « *eUTRAN* » qu'on appelle réseau d'accès et un réseau cœur « *EPC* » (*Evolved Packet Core*). L'*EPC* se compose de quelques nœuds du plan de contrôle appelés *MME* (*Mobility Management Entity*), *HSS* (*Home Subscriber Server*) et de deux nœuds du plan d'utilisateur appelés *S-GW* (*Serving Gateway*) et *P-GW* (*Packet-data Network Gateway*) [6].

I.3.1 Réseau cœur EPC

Le cœur de réseau appelé « *EPC* » (*Evolved Packet Core*) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire tout IP qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet [7].

Le réseau cœur est constitué [8] :

- D'une base de données centrale *HSS* (*Home Subscriber Server*) gérant la mobilité et le rattachement des abonnés
- D'un ou plusieurs équipements gérant la localisation appelés *MME* (*Mobility Management Entity*).
- D'une ou plusieurs passerelles d'accès vers les réseaux tiers, appelées *PDN-GW*, ou plus simplement *PGW* (*Packet Data Network Gateway*) ;
- De passerelles en plus grand nombre appelées *SGW* (*Serving Gateway*), chacune gérant une zone donnée (par exemple, une région).

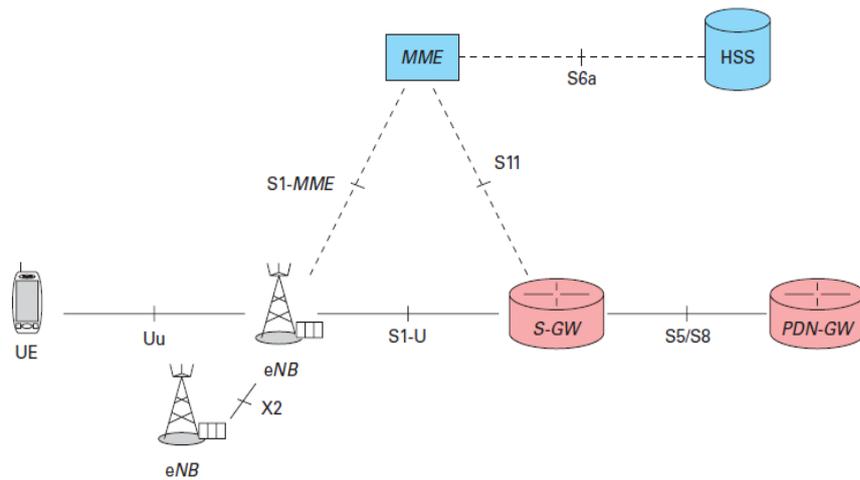


Figure I. 2 : Architecture générale d'un réseau EPC [8].

I.3.2 Réseau radio eUTRAN

Le réseau d'accès LTE nommé eUTRAN « Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network », comme le montre la figure I.3, est constitué des stations de bases appelées eNodeB dont leurs principales fonctions sont d'acheminer les flux de données de l'UE vers le réseau cœur EPC via l'interface S1 au moyen des fonctions comme le RRM (Radio Resource Management) et le CAC (Call Admission Control). Elles sont reliées entre elles par des liaisons en fibre optique et des liens IP via l'interface X2.

L'interface E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané de 100 Mbit/s avec une allocation de bande de fréquence de 20 MHz et un débit maximum montant instantané de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz [7] [10].

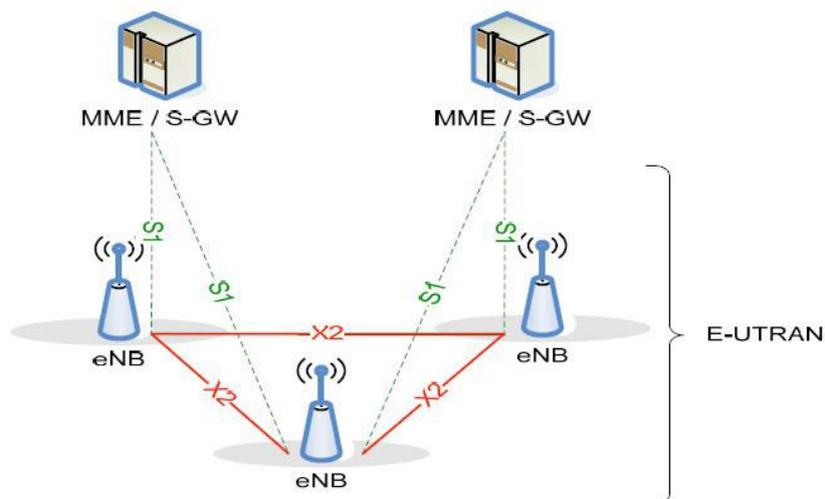


Figure I. 3 : Architecture de l'E-UTRAN[9].

I.3.2.1 Les interfaces réseau de l'E-UTRAN

Le modèle de l'interface réseau de l'E-UTRAN est composé de deux parties principales: la couche Radio Network (qui englobe les protocoles couches hautes de l'interface) et la couche Transport Network (qui réfère uniquement à la façon dont les données de la couche Radio Network sont transportées). Cette séparation assure une indépendance entre les deux couches.

En plus de la séparation selon le modèle OSI, chaque interface est divisée en deux plans, le plan usager (*User plane*) et le plan de contrôle (*Control plane*). Le plan usager transporte toutes les informations considérées comme des données utilisateurs, du point de vue de l'interface. Ceci consiste en des données purement usagers comme les paquets de voix et vidéos ou la signalisation de niveau application (comme SIP, SDP or RTCP). Avant la transmission sur l'interface, les différents paquets sont tout simplement envoyés à la couche Transport. C'est ce qui explique l'absence de tout protocole dans la couche Radio Network qui correspond au plan usager [9] [10].

- ✓ **L'interface S1** : qui connecte les eNodeBs au réseau cœur EPC, elle peut être divisée en un plan de contrôle S1 (S1-C) et un plan d'utilisateur (S1-U). Le S1-C est une interface de signalisation entre les eNodeBs et le MME, quant au S1 (S1-UP) il permet le transfert de données utilisateur entre l'eNodeB et le S-GW.
- ✓ **L'interface X2** : qui connecte les eNodeBs entre elles, elle contient un plan usager X2-U et un plan de control X2-C. le X2-C permet la signalisation entre les eNodeBs, et le rôle de X2-U s'agit de transporter des paquets de données entre elles [11].

I.4 Technologies du réseau LTE

I.4.1 Technique d'accès multiple

Le réseau LTE utilise comme technique d'accès l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) sur les liens descendants, et SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access*) sur les liens montants.

I.4.1.1 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

Le principe de l'OFDM consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre

sur un grand nombre de systèmes de transmission (des émetteurs, par exemple) indépendants et à des fréquences différentes.

Cette technique de transmission offre plusieurs avantages pour les systèmes radio mobiles. Entre autres, elle permet une grande immunité contre l'interférence entre symboles créée par les multi-trajets, et permet de gérer simplement des largeurs de bande variables et potentiellement grandes.

I.4.1.2 L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)

A la différence de l'OFDM où chaque sous porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, en OFDMA les utilisateurs se voient attribuer un nombre précis de sous-porteuses pour un time-slot prédéterminé, appelées PRB (Physical Resource Block). La technique OFDMA permet d'allouer des canaux secondaires différents selon les utilisateurs dans une fenêtre temporelle à configuration variable pour la transmission d'un certains nombres de symboles OFDM. La figure qui suit explicite la différence entre l'OFDM et l'OFDMA.

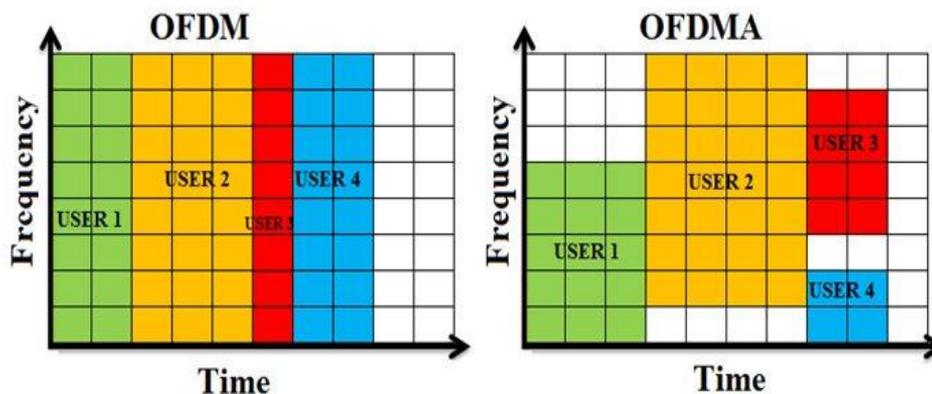


Figure I.5: Allocation de sous-porteuses en OFDM et OFDMA.

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

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7 μ s pour le LTE); cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radios de moyenne

et longue portée. OFDMA fournit une facilité et extensibilité de la bande passante par la configuration du nombre de sous-porteuses. Ceci permet à la station de base d'ajuster dynamiquement l'utilisation de la bande passante en fonction des exigences du système.

La figure ci-après met en évidence l'allocation des sous porteuses à différents utilisateurs en mode OFDMA [12] [13].

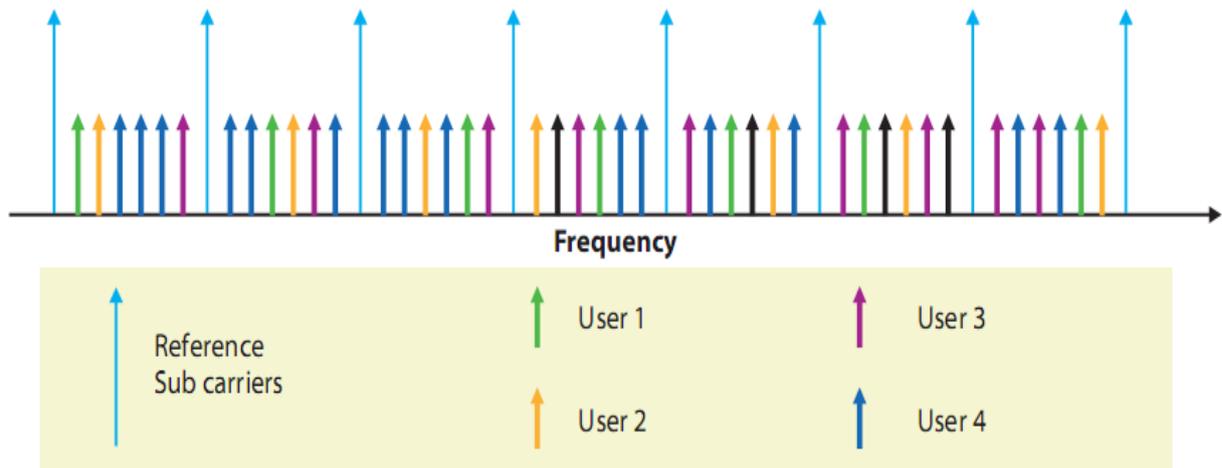


Figure I.6 : Allocation des sous-porteuses en mode OFDMA [9].

L'utilisation des signaux orthogonaux les uns aux autres pour les sous-porteuses contiguës (orthogonalité de l'OFDMA), évite les interférences mutuelles. Ce résultat est obtenu en ayant un écart de fréquence entre les sous-porteuses qui est égal à la fréquence des symboles sur chaque sous-porteuse. Cela signifie que lorsque les signaux sont démodulés, ils ont un nombre entier de cycles dans la durée du symbole et leur contribution aux interférences est égale à zéro; en d'autres termes, le produit scalaire entre chacune des sous-porteuses est nul pendant la durée de transmission d'un symbole (66.7 μ s en LTE, soit une fréquence de 15 KHz, ce qui correspond à l'écart de fréquence entre 2 sous-porteuses), et l'utilisation de nombreuses sous-porteuses permet aussi de s'adapter facilement à la puissance d'émission de chaque canal et pour chaque utilisateur.

I.4.1.3 SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access)

Sur le lien montant, les réseaux LTE utilisent un concept différent du précédent. La technique d'accès est appelée Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) [14] [15].

L'inconvénient majeur de la technique OFDMA, est son rapport PAPR (*Peak to Average Power Ratio*) assez élevé. Ceci est dû à la nature de l'OFDM, qui est basée sur la transmission

multi-porteuse, la puissance en un instant donné, est égale à la somme de toutes les puissances sur chaque sous-porteuse. Un PAPR élevé dégrade énormément l'efficacité de consommation d'énergie d'un amplificateur RF, ce qui rend impossible l'adoption d'un tel schéma de transmission pour le lien montant, tout en respectant la contrainte de la durée de vie des batteries des UE. En SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées alors qu'en OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse. Les deux techniques présentent une multitude de points communs entre elles comme l'indique la figure ci-dessous :

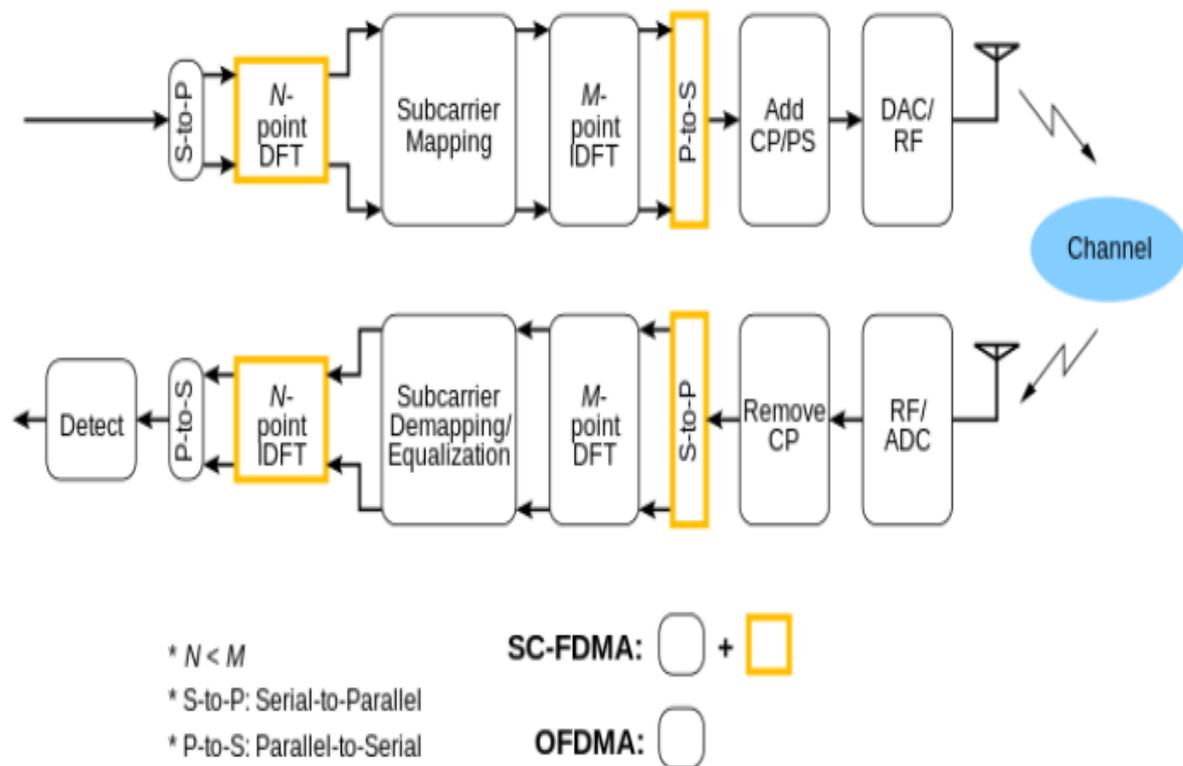


Figure I.7 : Codage radio OFDMA et SC-FDMA.

La différence majeure entre ces deux techniques, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse. La figure suivante illustre cette différence.

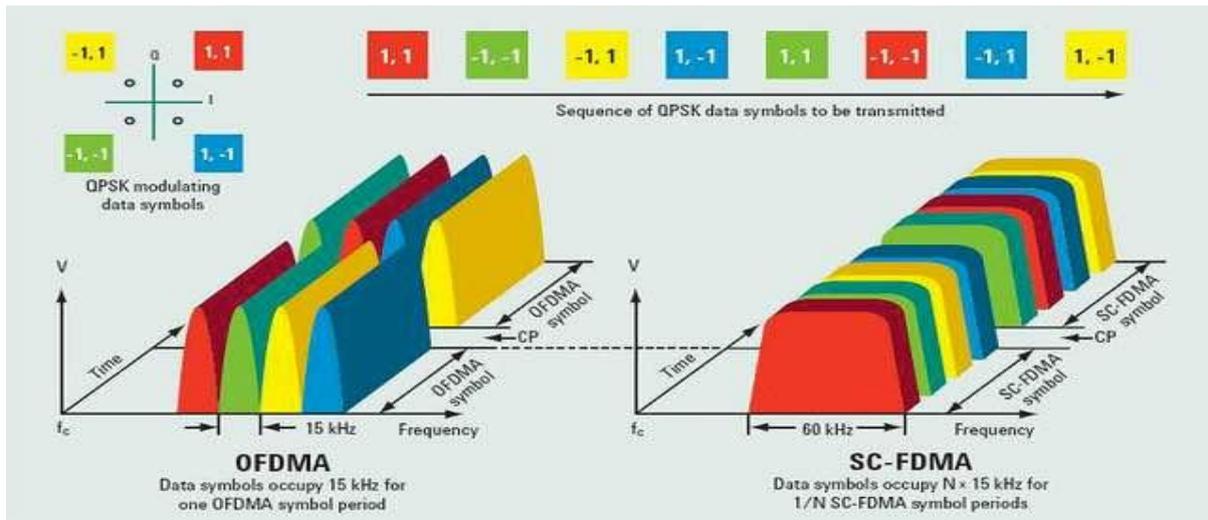


Figure 1.8 : Différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA [16].

I.4.2 Structure de la trame LTE

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

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

I.4.2.1 La trame FDD

La trame LTE/FDD dure 10 ms et est divisée en dix (10) sous-trames, chacune de 1ms. Chaque sous-trame se compose de deux slots de 0.5 ms. En LTE/FDD, la transmission des données Uplink et Downlink se fait dans deux canaux différents.

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

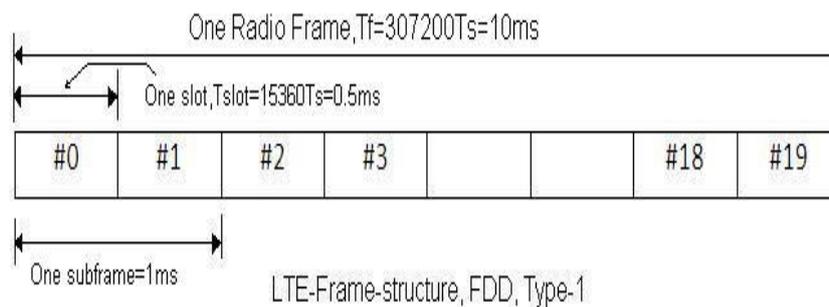


Figure 1.9 : Structure d'une trame FDD

I.4.2.2 La trame TDD

La trame LTE/TDD dure aussi 10 ms mais est divisée en deux demi-trames de 5ms, chacune se composant de cinq (5) sous-trames de 1 ms. Dans ce cas, les transactions de données Uplink et Downlink se font en même bande. La structure de la trame LTE/ TDD est illustrée dans la figure suivante :

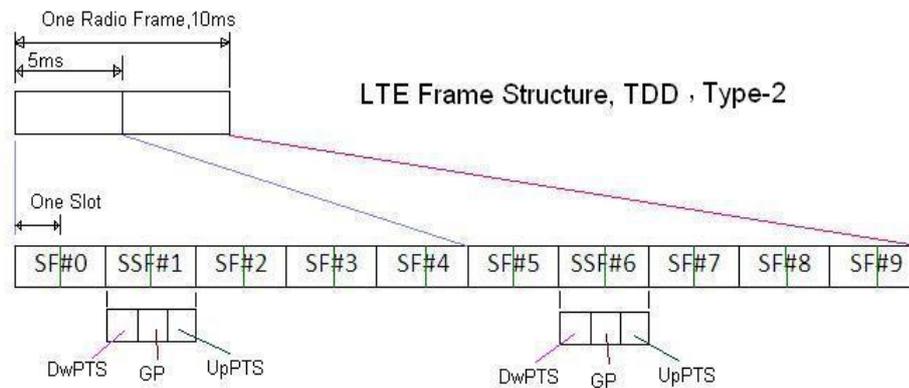


Figure I.10 : Structure d'une trame TDD

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

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

I.4.3 Blocs de ressources

En LTE, le planificateur de la station de base attribue aux utilisateurs un nombre précis de sous-porteuses dans la grille temps/fréquence, appelées blocs de ressources physiques (*PRBs, Physical Resource Blocks*). Le PRB est le plus petit élément d'allocation de ressources telles que les données sont allouées aux utilisateurs en termes de blocks.

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

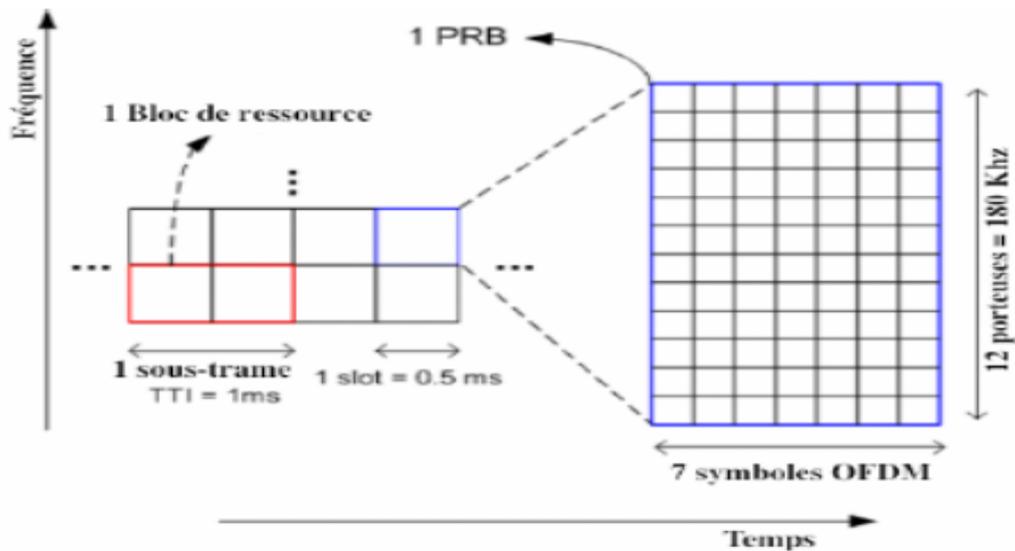


Figure I.11. Grille de ressources temps fréquence

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

I.4.4 La technologie MIMO « Multiple-Input Multiple-Output »

MIMO est une technique basée sur la diversité spatiale en transmission sans fil, pour éviter les multi-trajets. La mise en place d'une telle structure permet au système utilisé d'atteindre des débits importants et cela sans changer la largeur de la bande allouée au signal ni sa puissance d'émission.

Concrètement, plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, rendant la transmission de bonne qualité. Cela a pour conséquence l'amélioration du rapport signal à bruit et donc du taux d'erreurs binaires.

Lorsqu'un tel système comprend une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO (*Single Input Multiple Output*). De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, Il est nommé MISO (*Multiple Input Single Output*). Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (*Single Input Single output*) [16] [17].

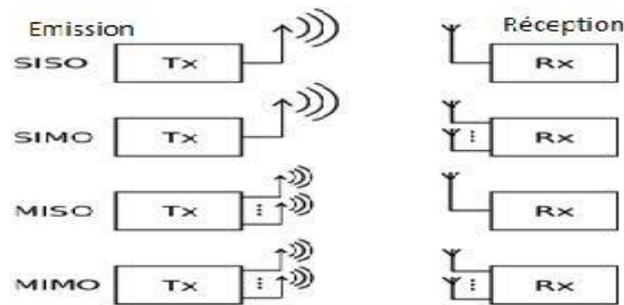


Figure I.12 : Illustration des technologies SISO, SIMO, MISO et MIMO [13].

I.4.5 Le Handover

Le handover est un mécanisme fondamental dans les communications cellulaires. Globalement, c'est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant qu'un UE puisse changer de cellule sans interruption de service [19].

Le handover se distingue de la redirection par une phase de préparation de la station de base de destination et par une bascule du flux de données plus rapide et souvent plus fiable (car plus proche de l'interface radio) : il suit le principe désigné en anglais *make before break*, c'est-à-dire de préparer l'environnement radio cible avant de relâcher l'existant [19].

Ce mécanisme permet l'itinérance entre cellules ou opérateurs.

I.4.6 La technologie SON « Self Optimizing/Organizing Network »

Le Self Organizing Networks (S.O.N.) est une technologie conçue pour permettre l'auto-configuration, l'auto-exploitation et l'auto-optimisation des équipements des réseaux cellulaires de téléphonie mobile. Il permet un déploiement rapide de nouvelles BTS ou d'eNode B sans nécessiter l'intervention de spécialistes pour modifier les équipements pré-existants.

Dans les réseaux cellulaires 2G et 3G, de nombreux paramètres de réseau sont configurés manuellement. La planification, la mise en service, la configuration, l'intégration et la gestion de ces paramètres sont efficaces et fiables pour l'exploitation du réseau mais leur coût est très élevé pour les opérateurs. En plus, ces interventions manuelles sont souvent sources d'erreurs et relativement lentes.

C'est pour remédier à ces problèmes que le groupe 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) a élaboré la technologie SON (*Self optimizing/organizing Network*) dans les normes LTE et LTE Advanced. Leur but était de permettre une auto-configuration des

équipements, améliorant ainsi la flexibilité et les performances du réseau tout en réduisant les coûts et les délais [20].

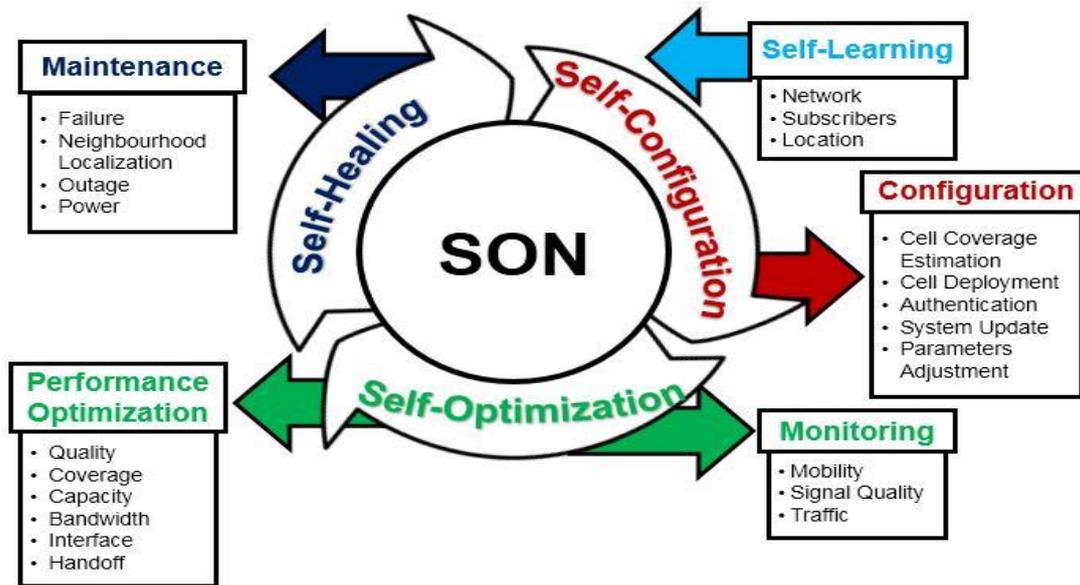


Figure I. 13 : Le principe de la technologie SON [21].

I.5 Éléments de QoS « Quality of Service »

La qualité de service (QDS) ou Quality of service (QoS) est la capacité de transmission dans de bonnes conditions un certain nombre de paquet dans une connexion entre un émetteur et un récepteur, et cela peut être présenté sous plusieurs termes tel que :

- La disponibilité
- Débit
- Délais de transmission (latence) : le temps de traversé que prend un paquet de données d'un bout à l'autre.
- Gigue : la variation de latence entre les paquets.
- Taux de perte de paquets : les données perdues lors d'une transmission de paquets.

Son but s'agit d'optimiser les ressources du réseau et de garantir de bonnes performances aux applications. La qualité de service sur les réseaux permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciée par application suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la couche réseau. Elle permet ainsi aux fournisseurs de services de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP [22].

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un bref aperçu sur le concept cellulaire ainsi que sur les différentes générations du téléphone mobile, nous avons décrit le réseau LTE, donné son architecture globale avec ses deux parties (EPC et eUTRAN), les différentes technologies utilisées tel que l'OFDMA, SC-FDMA, SON, MIMO ..., et nous l'avons fini par sa qualité de services QoS.

Chapitre 2

Eléments de planification radio LTE

II. Chapitre 2 : Eléments de planification radio LTE

II.1 Introduction

Le dimensionnement d'un réseau est la première étape du processus global de la planification permettant une première évaluation rapide de la densité et de la configuration des sites requis, de la capacité offerte des éléments du réseau à planifier et de la couverture à estimer conjointement avec la capacité.

Dans ce chapitre, nous allons introduire les concepts de base liés au dimensionnement et à la planification radio LTE.

II.2 Planification Radio

Dans les réseaux mobiles le dimensionnement et la planification radio sont deux fonctions qui partent ensemble. La planification radio suit l'étape de dimensionnement. Elle consiste à déterminer le nombre de stations de bases eNodeBs pouvant donner une capacité optimale et une couverture maximale avec le minimum de coût. Le planificateur radio cherchera à augmenter la zone de couverture tout en réduisant le nombre des équipements réseau et des eNBs. La couverture maximale signifie que le mobile peut se connecter à une cellule donnée à une distance maximale possible. Ceci est possible si le rapport signal sur bruit est moindre [5].

Le processus de planification d'un réseau radio mobile passe par plusieurs étapes, en tenant compte de divers critères.

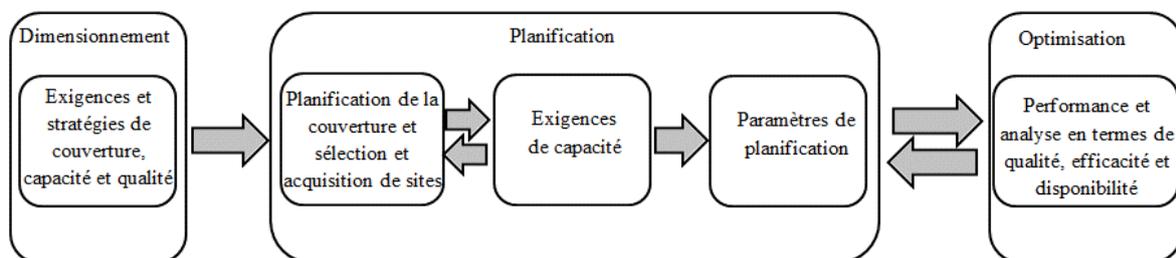


Figure II. 1 : Processus général de la planification des réseaux mobiles.

II.3 Critères de dimensionnement

On a deux méthodes à suivre. La première tient compte des exigences de la capacité et la deuxième tient compte des exigences de la couverture, pour déterminer le rayon de chaque cellule et puis le nombre des sites.

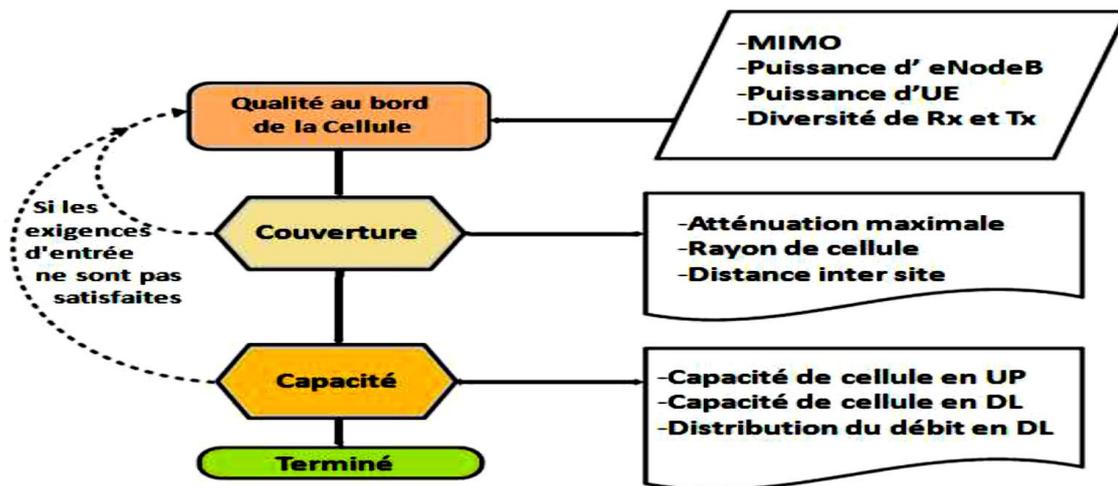


Figure II. 2 : Processus de dimensionnement d'un réseau LTE [12].

II.3.1 Dimensionnement de couverture

L'analyse de la couverture est fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception d'un réseau LTE. Cette étape se base sur le bilan de liaisons (RLB), qui permet d'estimer le taux de perte de trajet. Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites à déployer. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

La couverture d'une station de base possède des limites comme les perturbations provoquées par certains phénomènes. Le problème de couverture apparait lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien lorsque celles émises par l'antenne des eNodeBs n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile [9] [23].

II.3.1.1 Les étapes de dimensionnement de couverture [23]

- **Exigence de qualité**

L'exigence de qualité de couverture est d'atteindre le débit binaire demandé avec une certaine probabilité par exemple 64 kbps doivent être atteints avec une probabilité de 98%.

- **Dimensionnement de la liaison montante**

Nous cherchons dans cette étape le rayon de la cellule à partir du débit binaire à la bordure de la cellule.

- **Dimensionnement de la liaison descendante**

Si les exigences de qualité de liaison descendante sont remplies, on calcule la distance de site à mobile et on la compare avec le résultat limite du lien montant.

- **Couverture de canaux de contrôle**

La performance du canal de contrôle à la bordure de la cellule doit être vérifiée par rapport à la valeur de la distance intersites calculée

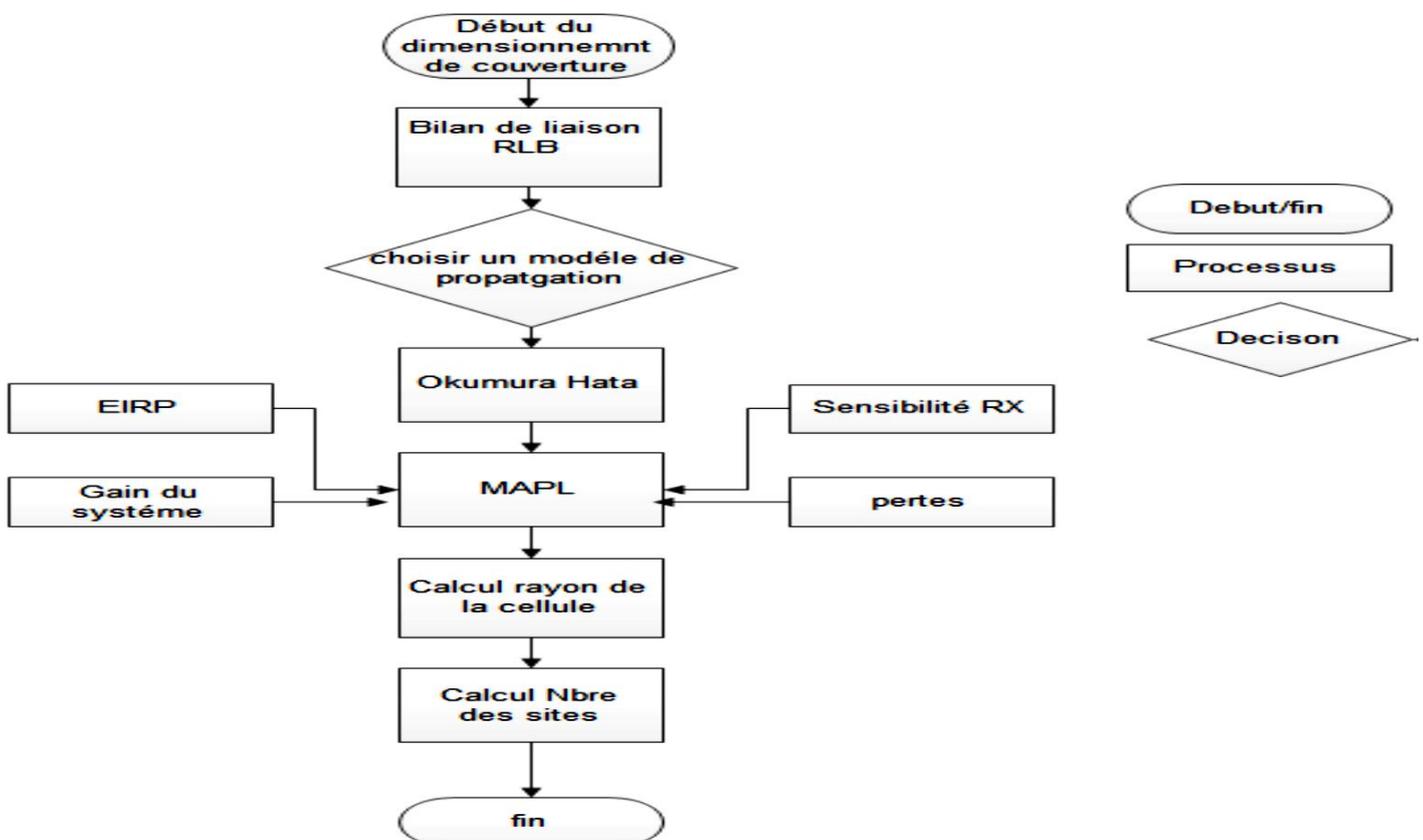


Figure II. 3 : Etapes de dimensionnement de couverture [23].

II.3.2 Dimensionnement de capacité

La vérification de la taille des cellules et du nombre des sites obtenus par l'analyse de couverture, sera effectuée par la capacité. Cette étape vise à vérifier si le système peut supporter la charge demandée sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés.

Le dimensionnement de capacité permet de trouver la capacité maximale qui peut être supportée par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre des sites nécessaires pour satisfaire les trafics des abonnés dans une zone donnée. La capacité théorique du réseau est limitée par le nombre d'eNodeBs installés dans le réseau. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que type de la zone, service, nombre des abonnés, interférences ... [9] [23].

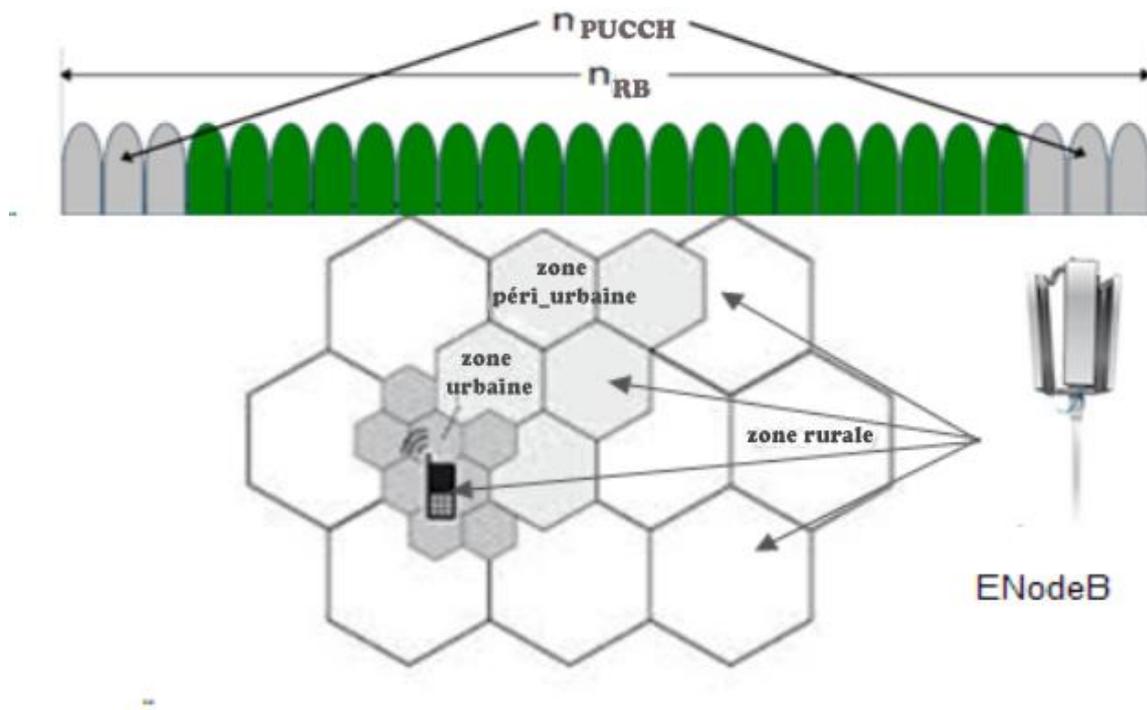


Figure II. 4 : Illustration de calcul de dimensionnement de capacité [23].

II.3.3 Bilan de liaison (RLB)

Le calcul du bilan de liaison est une étape fondamentale dans le dimensionnement de la couverture. Il permet de déterminer les pertes de trajet maximales MALP (Maximal Allowable Pathloss). Cette valeur servira au modèle de propagation pour déterminer le rayon des cellules. Le RLB prend en compte les paramètres suivants [23].

- La puissance d'émission
- Les gains.
- Les pertes d'antenne.
- Les gains de diversités.
- Les marges d'interférence.

La formule du bilan de liaison varie selon qu'il s'agisse d'une liaison montante ou descendante. Le bilan de liaison dépend souvent de plusieurs paramètres.

Uplink :

$$\begin{aligned} MAPL [dB] = & PIRE_{UL} - S_{eNB} - LNF - IM_{UL} - L_{pen} - L_{body} + G_{eNB} \\ & + G_{eNB \text{ antenne}} \end{aligned} \quad (II.1)$$

Downlink :

$$MAPL [dB] = PIRE_{DL} - S_{UE} - LNF - IM_{DL} - L_{pen} - L_{body} + G_{UE \text{ antenne}} \quad (II.2)$$

Avec :

PIRE : puissance Isotrope Rayonnée Equivalente, c'est la puissance qu'il faut fournir à une antenne pour avoir la même puissance à la même distance.

S : désigne la sensibilité.

LNF : Log Normal Fading margin.

IM : Marge d'interférence.

La figure II.5 montre les bilans de liaison sur une voie montante et descendante :

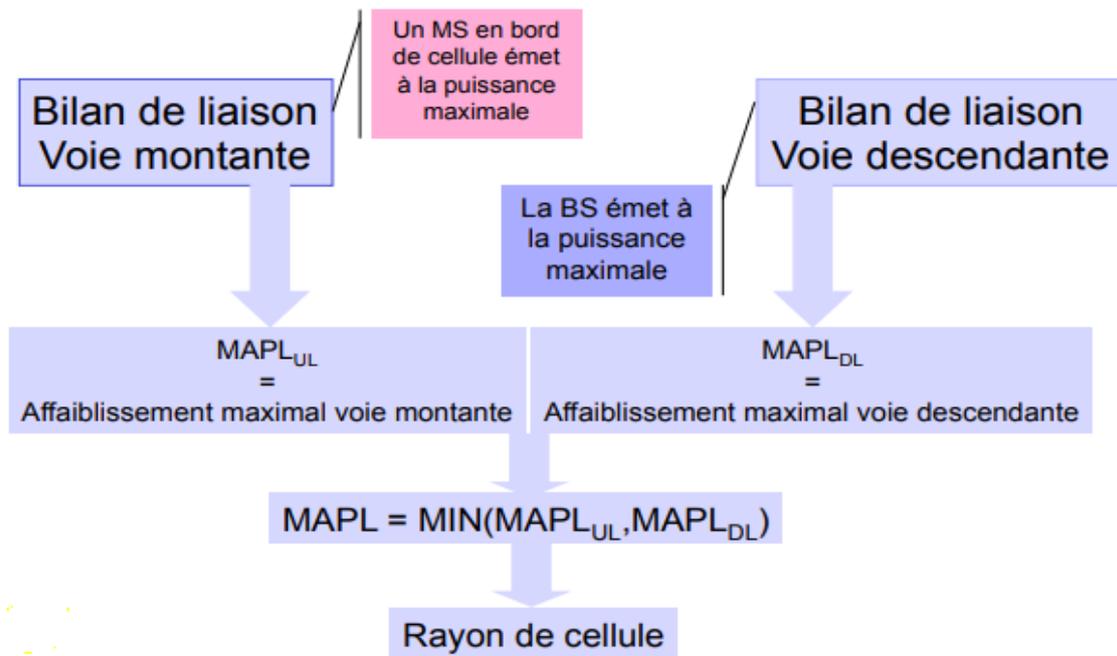


Figure II. 1 : Les bilans de liaison sur les deux voies montantes et descendantes [24].

II.3.4 Modèle de propagation

Le choix d'un modèle de propagation est une procédure essentielle au début du déploiement du réseau, il dépend de plusieurs facteurs naturels tels que l'aspect géographique, les conditions de propagation et les conditions météorologiques et il doit prendre en compte des caractéristiques des abonnés, du terrain (urbain, suburbain, rural) et de la hauteur des antennes émission réception... etc.

Les modèles de propagation peuvent être divisés en deux principales catégories [25].

II.3.4.1 Modèle Macro-cellulaire

Les modèles Macro-cellulaires sont des modèles généralement fondés sur l'analyse des obstacles qui se trouvent dans les collines, forêts, etc. Ils sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement rural. Ces modèles s'appuient généralement sur des données géographiques de type maillé de sol et de sursol. Une mise au point par ajustement de variables est opérée à l'aide de mesures expérimentales du fait de la pauvreté des informations géographiques fournies et de la simplicité des algorithmes de calcul.

II.3.4.2 Modèle Micro-cellulaire

Contrairement aux modèles statistiques Macro-cellulaires qui prédisent une couverture radio moyenne et pas très précise essentiellement en milieu ouvert, les modèles Micro-cellulaires essaient de prédire une zone de couverture moins étendue mais plus précise. Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement urbain ou semi-urbain.

II.3.4.3 Type de modèle de propagation

✚ Modèle Okuruma-Hata

Le modèle Okumura-Hata est le modèle le plus utilisé pour la planification de la couverture de macro-cellules. Il tient compte de la fréquence, de la hauteur de l'antenne de la station mobile et celle de la station de base et de la distance entre l'émetteur et le récepteur. Il prend en considération également des caractéristiques de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural). Voici l'approche analytique du modèle dans les zones urbaines [10].

$$PL = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - \alpha(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_t)] \log(d) \text{ dB} \quad (\text{II.3})$$

Avec

PL : perte de trajet (path loss).

f: la fréquence varie de 150 MHz jusqu'à 1000 MHz.

h_t : la hauteur de l'antenne de la station de base varie de 30 m à 200m.

h_m : la hauteur de l'antenne de la station mobile en mètre varie de 1m à 10 m.

d : distance entre le mobile et la station de base.

α : facteur de correction de la hauteur de l'antenne de la station mobile.

✚ Le modèle cost231-Hata

C'est une extension du modèle Okumura-Hata, il opère sur les fréquences comprises entre 1,5 et 2 GHz, avec des hauteurs d'antenne de station mobile jusqu'à 10 m et des hauteurs d'antenne de station de base de 30 à 200 m. Il est utilisé pour prédire les pertes de trajet d'un système radio mobile en milieu urbain.

Le modèle cost231-Hata contient des corrections pour les environnements urbains, suburbains et ruraux.

Son expression analytique dans les zones urbaines est donnée ci-dessous [10].

$$L_b = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_{te}) - \alpha(h_{re}) \quad (\text{II.4}) \\ + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log d + C_m$$

Avec :

d : distance séparant l'UE et la station de base.

f : la fréquence d'émission.

h_{te} : hauteur de l'antenne de la station de base.

h_{re} : hauteur de l'antenne de l'UE.

α : facteur de correction de la hauteur de l'antenne de la station mobile.

C : facteur de correction, il est défini à 0 dB pour les environnements suburbains ou ouverts et à 3 dB pour les environnements urbains.

Le modèle Walfish-Ikegami

C'est une combinaison des deux modèles Walfish et Ikegami, il est proposé par cost231, et il est plus adapté aux petites macros cellules dans les zones urbaines ou bien des micros cellules où l'antenne est placée au niveau des toits [10]. C'est un modèle empirique qui prend en compte la perte de propagation en espace libre, la perte par diffraction et la perte par réflexion entre les toits des bâtiments voisins ce qui lui permet d'offrir une bonne précision. La figure .6 illustre les paramètres liés au modèle [25].

On notera que :

b : est la valeur moyenne pour la séparation des bâtiments, elle est calculée à partir du centre d'un bâtiment au centre d'un autre bâtiment et est également donné en mètres.

h_{Roof} : La hauteur moyenne des bâtiments ainsi que la valeur moyenne de l'espacement qui est notée par w nécessite que le terrain convient mieux à la zone suburbaine.

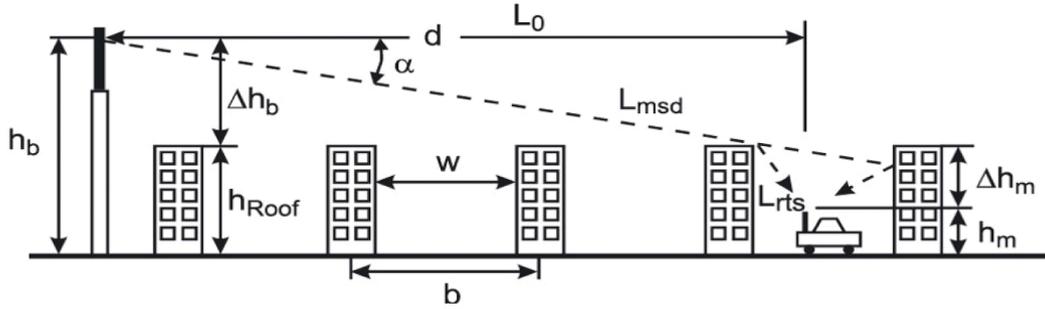


Figure II. 2 : Paramètres du modèle Walfish-Ikegami.

II.3.5 Planification des sites

Après avoir défini le modèle de propagation convenable et estimé les pertes de trajet en utilisant le BLR, nous pouvons enfin déterminer le rayon de la cellule [23].

$$R_{cell} = 10^{\alpha} \quad (\text{II.5})$$

Avec

$$\alpha = \frac{MAPL - A + 13.82 \log h_{eNB} - \alpha(h_{UE})}{(44.9 - 6.55 \log(h_{eNB}))} \quad (\text{II.6})$$

A : fréquence dépendante de la valeur d'atténuation.

$$R_{cell} = 10^{\frac{MAPL - A + 13.82 \log h_{eNB} - \alpha(h_{UE})}{(44.9 - 6.55 \log(h_{eNB}))}} \quad (\text{II.7})$$

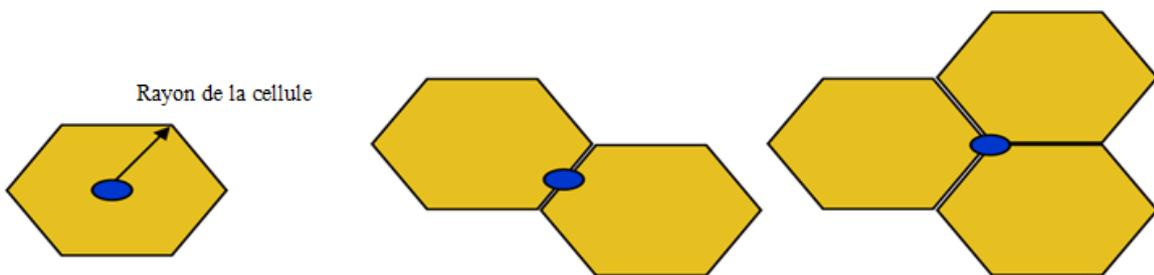


Figure II. 3 : Les différents types de sites (omni-directionnel, bi-sectoriel, tri-sectoriel) [26].

Une fois le rayon de la cellule calculé, nous pouvons calculer l'empreinte du site S_{cell} qui dépend du nombre de secteurs par site N_{site} . La figure ci-après exprime la relation entre l'empreinte du site et le nombre de secteurs

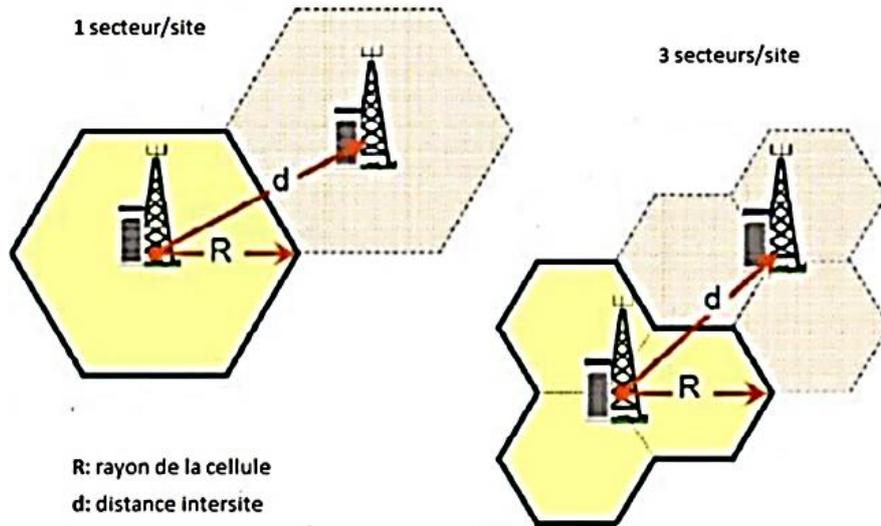


Figure II. 4 : la relation entre l’empreinte du site et le nombre de secteur[23].

Pour calculer les empreintes des différents sites, le calcul est comme suit [23] :

- Site Omni-directionnel

$$d = \sqrt{3} \cdot R \quad (\text{II.8})$$

$$S_{1-cell} = 2.6 \cdot R_{cell}^2 \quad (\text{II.9})$$

- Site bi-directionnel

$$S_{2-cell} = 1.3 * 2.6 \cdot R_{cell}^2 \quad (\text{II.10})$$

- Site tri-directionnel

$$d = \frac{3}{2} R \quad (\text{II.11})$$

$$S_{3-cell} = 1.95 * 2.6 \cdot R_{cell}^2 \quad (\text{II.12})$$

Le calcul du nombre de sites est obtenu par la formule suivante :

$$N_{site} = \frac{S_{zone}}{S_{cell}} \quad (\text{II.13})$$

S_{zone} : c’est la superficie totale de la zone

II.3.6 Paramètres antennaires

L'antenne est un dispositif permettant de rayonner et de capter des ondes électromagnétiques dans un appareil ou une station d'émission ou de réception. Lors de la planification des réseaux cellulaires, le paramétrage antennaire pour chaque site intervient comme étant une tâche essentielle qui doit satisfaire les utilisateurs en termes de qualité de services [25].

II.3.6.1 Fréquence

La fréquence est la caractéristique la plus importante d'une antenne. En LTE les bandes de fréquence s'étendent de 450 MHz – 3.8 GHz.

II.3.6.2 Directivité

C'est la direction vers laquelle l'antenne va émettre ses rayonnements. En LTE il existe deux type de directivité de l'antenne :

Antennes omnidirectionnelles

Leurs avantages sont qu'elles peuvent recevoir et émettre des signaux dans toutes les directions, elles fournissent une couverture de 360° dans le plan azimutal (horizontal) et elles sont faciles à installer.

Comme la réception des signaux venant de toutes les directions est considérée comme un avantage, il peut être aussi un inconvénient car ces antennes reçoivent des interférences de toutes les directions.

Antennes directionnelles

On dit qu'une antenne est directive quand elle concentre toute l'énergie qu'elle rayonne dans une direction de l'espace. Elle peut couvrir des zones de grandes distances, les interférences provenant des autres directions sont réduites, ces antennes sont plus puissantes que les précédentes. Les figures ci-après illustrent des exemples d'antennes mono directionnelle et directionnelle.



Figure II. 5 : Antenne mono-directionnelle.



Figure II. 6 : Antenne directionnelle.

II.3.6.3 Gain

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Le gain est l'amplification que l'antenne effectue du signal d'entrée. Ce gain s'exprime en dB ou dBi, et est d'environ 2 à 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles.

II.3.6.4 Azimut

L'azimut est un angle horizontal formé par la direction du nord magnétique et celle de la direction de l'antenne, mesuré en degré. Dans cet angle l'antenne émet sa puissance la plus importante.

II.3.6.5 Tilt

Le tilt de l'antenne ou son inclinaison est l'angle que forme l'antenne avec le plan vertical.

Le réglage du tilt permet :

- La diminution des interférences.
- Amélioration de la couverture de la région proche, ainsi que celle d'intérieur (indoor).
- Ajustement des frontières cellulaires (pour arranger les zones de Handover).

Les figures ci-après représentent les angles azimut et Tilt d'une antenne

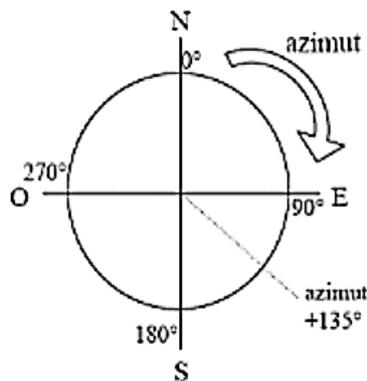


Figure II. 7 : Représentation d'azimut

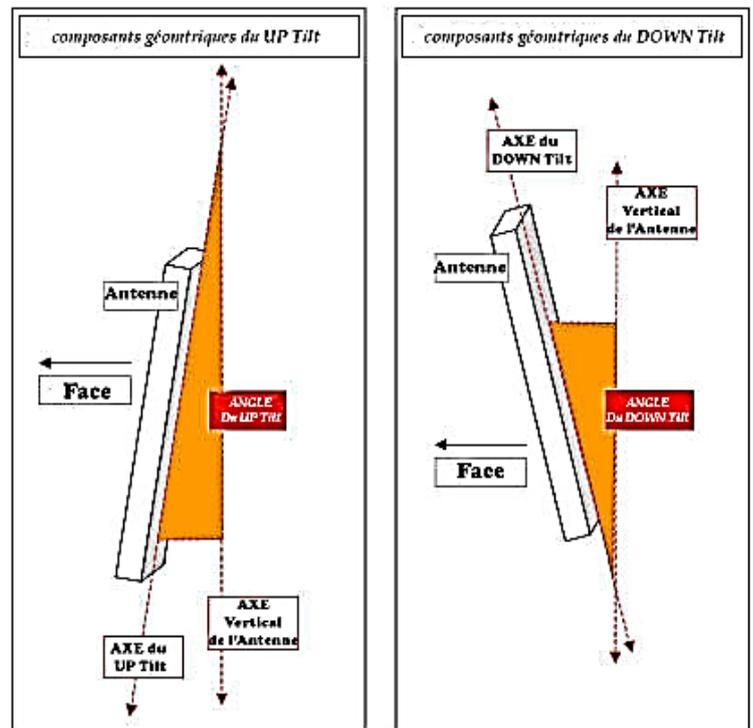


Figure II. 8 : représentation du Tilt.

II.3.6.6 Puissance d'émission

C'est la puissance électrique convertie par l'antenne en puissance magnétique, elle est transportée par une onde électromagnétique qui se propage dans différentes directions de l'espace et qui assure la transmission d'énergie de l'onde électromagnétique vers le récepteur. La puissance est centrée dans un ou plusieurs « lobes », un lobe principal qui correspond à la direction privilégiée de rayonnement et les lobes secondaires dits ainsi parasites et qu'on cherche à atténuer. Plus la puissance de transmission est élevée plus le nombre d'utilisateurs qui captent le signal est plus grand en prenant en considération le type d'antenne utilisé qui influe lui-même sur cette puissance, et puis la dimension du territoire couvert par cette antenne augmente plus et inversement.

La puissance d'émission est fournie par l'eNodeB, elle est définie dans l'intervalle allant de 20 à 65 dBm on la notera P_{em} , elle est mesurée en dBm :

$$P_t[dBm] = 10 \log(P_{em}[mw]) \quad (II.14)$$

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué d'une manière détaillée le processus de planification d'un réseau LTE avec ses différentes étapes.

Nous avons défini dans un premier temps les critères de dimensionnement qui s'agissent de dimensionnement de capacité et de couverture, elles sont considérées comme la première phase à effectuer pour planifier un réseau mobile LTE. D'une part pour étudier l'environnement à couvrir, obtenir une estimation sur le nombre de sites et des eNodeBs à utiliser, et d'autre part pour définir la capacité du réseau.

Ensuite, nous sommes passés aux procédés de la planification radio qui constitue la deuxième phase du déploiement du réseau, après avoir dimensionné l'environnement il est nécessaire de choisir un modèle de propagation convenable et d'estimer les pertes de trajet afin de déterminer le rayon de la cellule qui va être utilisé pour calculer nombre de sites et des stations de base eNBs. Aussi nous avons donné le paramétrage antennaire et nous l'avons fini par définir la planification de couverture et de capacité.

Chapitre 3

Techniques de coordination des interférences

III. Chapitre 3 : techniques de coordination des interférences

III.1 Introduction

Dans les réseaux cellulaires, des interférences mutuelles peuvent se produire entre les cellules. Ces interférences peuvent être évitées ou réduites en lien ascendant et en lien descendant dans les réseaux LTE à travers un usage coordonné des ressources disponibles ; ce qui mène à améliorer le SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio) et le débit. La coordination entre les cellules assure une restriction et une sélection efficace lors de l'usage des ressources [27]. Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques techniques de coordination des interférences ainsi que des notions de propagation et de rapport SINR et finir par l'influence des interférences sur les handover.

III.2 Propagation et rapport SINR

Le SINR (rapport signal sur interférences plus bruit) est un facteur clé pour l'analyse des réseaux sans fil [28]. Il est une mesure de la qualité du signal [29]. De plus, il permet également d'analyser les politiques d'allocation de ressources radio et de planification, étant donné qu'elles dépendent du SINR atteint par un utilisateur UE [28]. Le SINR est très utilisé par les opérateurs, et par le secteur LTE en général, car il permet de mieux quantifier la relation entre les conditions RF et le débit. Les UEs LTE utilisent généralement le SINR pour calculer le CQI (indicateur de qualité de canal) qu'ils signalent au réseau. Il est toujours mesuré en interne par la plupart des UEs et enregistré par drive test tools. [29]. Deux facteurs jouent un rôle important dans l'évaluation du SINR: la localisation de la station de base et les phénomènes de propagation [28].

Le SINR indique combien le signal désiré est plus puissant que le bruit et les interférences [30], mathématiquement il peut être exprimé ainsi :

$$SINR = \frac{S}{I + N} \quad (III.1)$$

Où S c'est la puissance du signal, I la puissance des interférences et N la puissance du bruit.

La bonne définition d'un modèle de propagation conduit à un bon modèle du SINR. Considérant un réseau à une seule fréquence composée de n station de base, l'expression du SINR est donnée par [28] :

$$SINR(u) = \frac{P_i \cdot G_i(u)}{\sum_{j \neq i}^n P_j \cdot G_j(u) + P_{TN}} \quad (III.2)$$

D'où :

P_i est la puissance reçue allouée par la BS i et $\sum_{j \neq i}^n P_j$ est la puissance totale allouée par les BS allant de la j -ème jusqu'à la n -ème .

G_i est le gain de trajet entre l'utilisateur (u) et sa station de base i , (le gain de trajet est défini comme le gain du signal moyen entre un UE et sa BS de service. Cela inclut le path loss, l'ombrage et les gains d'antenne). $\sum_{j \neq i}^n G_j$ est le gain de trajet total entre un utilisateur (u) et les stations de base interférées allant de la j -ème jusqu'à la n -ème.

P_{TN} est la puissance du bruit.

III.3 Coordination des interférences inter-cellulaires ICIC

ICIC est une fonction RRM (Radio Resource Management) qui a pour rôle de gérer les ressources entre les cellules et de contrôler la puissance afin d'éviter les interférences en lien ascendant et en lien descendant dans l'E-UTRAN, ce qui permet d'augmenter la couverture et d'améliorer le débit au bord des cellules dans les réseaux LTE [27].

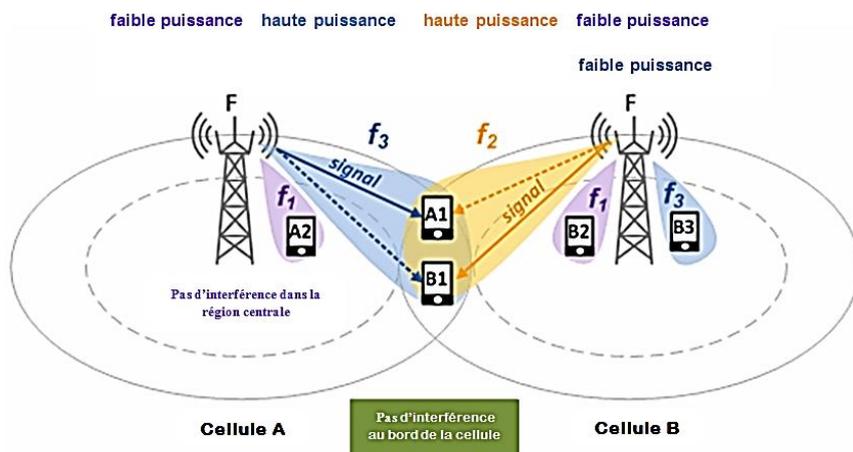


Figure III. 1: Fonctionnement de la technique ICIC [28].

III.3.1 IFR 1 et IFR 3 (Integer Frequency Reuse)

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

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

III.3.1.1 Integer Frequency Reuse 1 (IFR 1)

Cette technique signifie que toute la bande de fréquence LTE est utilisée dans une cellule et réutilisée dans chacune des cellules adjacentes [31], cela permettra d'atteindre une grande capacité de système, c'est à dire un débit de données élevé. Toutefois de fortes interférences inter-cellulaires [32], ce qui limite considérablement les performances des utilisateurs situés aux bords cellules. Ainsi, l'efficacité spectrale globale se trouve réduite [31], ce qui désavantage cette technique. La figure III.2 montre le fonctionnement de l'IRF 1.

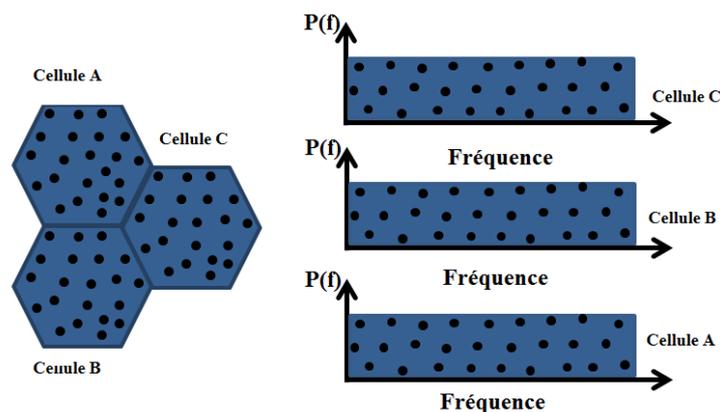


Figure III. 2 : Illustration de l'IRF 1.

Les UEs se trouvant sur les limites de cellules souffrent de l'ICI, de faibles débits. Chaque utilisateur à une distance r de l'eNB a une valeur spécifique de SINR, elle est donnée par l'équation suivante [33]:

$$\gamma_{IFR1}(x) = \frac{\sqrt{3}}{\pi} (\eta - 2)(2 - x)^{-2} \left(\frac{2}{x} - 1\right)^\eta \text{ dB} \quad (\text{III.3})$$

Où $x = c$ est la distance normalisée r/R_c , R_c désigne la demi distance séparant les BS voisines et η est le path loss.

L'efficacité spectrale est donnée par [33]:

$$C_{IFR1}(x) = \log_2(1 + \gamma_{IFR1}(x)) \text{ [bps/Hz]} \quad (\text{III.4})$$

En considérant une équité en débit, les utilisateurs se voient alloués une bande passante permettant d'atteindre le même débit D_u . Comme le SINR et l'efficacité spectrale dépendent de r , plus la distance d'un utilisateur à sa BS est grande, moins l'efficacité spectrale est importante et donc plus grande doit être la bande passante (ou le nombre de sous-porteuses) allouée à cet utilisateur. Soit $W_u(r)$ la bande passante allouée par l'ordonnanceur à un utilisateur situé à la distance r de la BS. Son débit utilisateur D_u peut maintenant être écrit de la manière suivante [33] :

$$D_u = W_u(r) C_{IFR1}(r) \quad (\text{III.5})$$

Sous la contrainte que la bande passante totale par cellule W ne peut pas être dépassée. Cette bande passante est calculée en intégrant sur la surface de cellule [33] :

$$W = 12 \int_0^{\pi/6} \int_0^{R_c/\cos\theta} W_u(r) \rho_u r dr d\theta \quad (\text{III.6})$$

Si N_u est le nombre d'utilisateurs dans une cellule, la densité d'utilisateurs est $\rho_u = N_u/2\sqrt{3}R_c^2$. En utilisant les équations ci-dessus, la valeur de ρ_u et la transformation de la variable r en x , le débit utilisateur est donné par [33] :

$$D_u = \frac{\sqrt{3}W/6}{N_u \int_0^{\pi/6} \int_0^{1/\cos\theta} \frac{x}{C_{IFR1}(x)} dx d\theta} \quad (\text{III.7})$$

Comme tous les utilisateurs reçoivent le même débit et puisqu'il y a N_u utilisateurs dans la cellule, le débit total de la cellule $D_{T,IFR1} = N_u D_u$ est obtenu en utilisant résultat précédent [33] :

$$D_{T,IFR1} = \frac{\sqrt{3}W/6}{\int_0^{\pi/6} \int_0^{1/\cos\theta} \frac{x}{C_{IFR1}(x)} dx d\theta} \quad (\text{III.8})$$

III.3.1.2 Integer Frequency Reuse 3 (IFR 3)

Dans cette technique la bande attribuée est divisée en trois sous bandes (éventuellement d'une même largeur) qui sont réutilisées en alternance [32] de telle sorte que les cellules adjacentes déploient toujours des fréquences différentes, Ce schéma permet de réduire les interférences entre cellules. Cependant, chaque cellule utilisant un tiers de la bande passante totale disponible, la perte de capacité est importante [31].

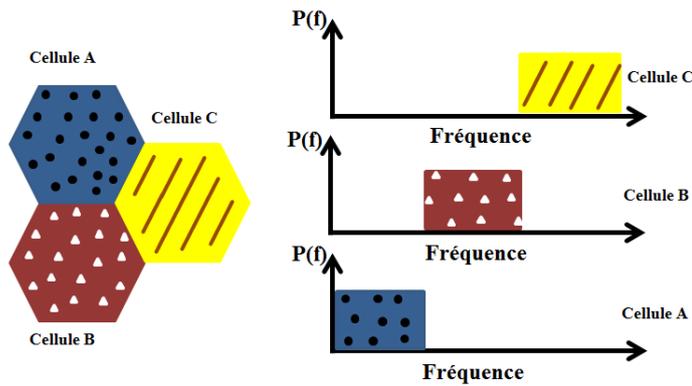


Figure III. 3 : Illustration de l'IFR3.

Pour l'IFR 3, les expressions analytiques du SINR et de C sont presque similaires aux précédentes, la différence réside dans le fait que seules les eNBs co-canal (utilisant la même bande de fréquences) sont concernées par le calcul des interférences et que la demi distance entre les stations de base et la densité ρ_{BS} doivent donc être modifiées. Pour ce faire il faut que remplacer R_c par $\sqrt{3}R_c$ et ρ_{BS} par $\sqrt{3}\rho_{BS}$ [33].

$$\gamma_{IFR3}(x) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} (\eta - 2) (2\sqrt{3} - x)^{-2} \left(\frac{2\sqrt{3}}{x} - 1 \right)^\eta \text{ dB} \quad (\text{III.9})$$

L'expression de l'efficacité spectrale est donnée par [33]:

$$C_{IFR3}(x) = \log_2(1 + \gamma_{IFR3}(x)) \text{ [bps/Hz]} \quad (\text{III.10})$$

Pour le calcul du débit total on peut utiliser la même équation que le IFR 1 en remplaçant $C_{IFR1}(x)$ par $C_{IFR3}(x)$ et que la bande W sera divisée par 3.

III.3.2 Soft Frequency Reuse (SFR) [34]

La réutilisation de fréquence souple (SFR) est considérée comme l'une des stratégies de planification de fréquences les plus efficaces pour atténuer l'interférence intercellulaire dans les systèmes radio mobiles.

Dans cette technique, pour chaque cellule de réseau, le spectre disponible est divisé en deux parties réservées: une bande de bord de cellule (cell-edge) et une bande de centre de cellule (cell-center). Les utilisateurs dans chaque cellule sont également divisés en deux groupes, les utilisateurs de cell-center (CCUs) et les utilisateurs de cell-edge (CEUs), sur la base de leur distance à la station de base ou sur d'autres facteurs de différenciation.

Les utilisateurs de bord de cellule sont limités à la bande de bord de cellule réservée tandis que les utilisateurs de centre de cellules ont un accès exclusif à la bande de centre de cellule et peuvent également avoir accès à la bande de bord de cellule mais avec une priorité inférieure.

Il convient de noter que la répartition du spectre entre le bord et le centre, diffère d'une cellule à une autre

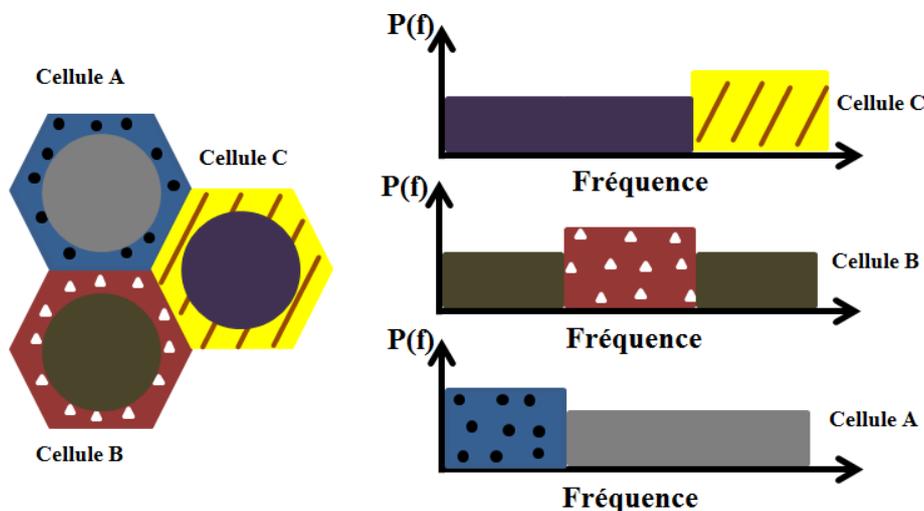


Figure III. 4 : Illustration de la SFR.

SFR est une autre technique statique où la distribution des ressources blocs RB et l'allocation de liaison descendante sont effectuées pour réduire l'ICI.

Sur la liaison descendante du système OFDMA, le rapport signal sur interférence et bruit

$$SINR_{k;n}^i = \frac{P_n^i \cdot G_{k;n}^i}{\sum_{j \neq i} P_n^j \cdot G_{k;n}^j + P_{TN}} \quad (\text{III.11})$$

(SINR) de UE_k sur RB_n dans la cellule *i* est donné par [34]:

Où (P_n^i) est la puissance d'émission de liaison descendante allouée par la station de base *i* pour le RB_n, ($G_{k;n}^i$) est le gain du canal pour UE_k servi par eNB_i sur RB_n, et (P_{TN}) est la puissance de bruit thermique sur le RB considéré. Le débit réalisable sur RB_n pour UE_k dans la cellule *i* est donc donné par [34]:

$$R_{k,n}^i = f(SINR_{k,n}^i) \quad (\text{III.12})$$

III.3.3 Fractional Frequency Reuse (FFR)

Le mode de déploiement FFR est une technique ICIC statique et ne requiert aucune coopération entre les BSs [35]. Chaque cellule est divisée statiquement en deux zones : le centre et la bordure. La première zone contient les utilisateurs proches de la station de base CCUs (Cell Center Users) tandis que l'autre zone intègre les mobiles se situant à l'extrémité de la cellule CEUs (Cell Edge Users). Puisque les utilisateurs frontaliers sont plus proches des cellules voisines et relativement loin de leur station de base associée, ils expérimentent un niveau élevé d'interférences intercellulaires en plus des pertes de propagation. Par conséquent, l'objectif principal de FFR est de protéger les ressources radios attribuées à ces utilisateurs des interférences [36].

FFR consiste à modifier la distribution des ressources fréquentielles entre les différentes zones de la cellule dans le but de créer un ensemble de ressource protégées pour les CEUs. Les utilisateurs du centre de la cellule se voient allouer le spectre selon le modèle Reuse 1. Le modèle de déploiement Reuse 3 est utilisé aux niveaux des extrémités des cellules afin de servir les CEUs avec des ressources radios protégées. La figure III. 5 illustre un cluster de trois cellules LTE où le spectre est alloué entre le centre et la bordure selon FFR [34].

Comme le spectre est divisé entre une région centrale et une région périphérique, les utilisateurs se situant à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule utilisent des ressources fréquentielles différentes. Ainsi, cette technique permet de diminuer les interférences intercellulaires surtout aux niveaux de la bordure des cellules. Cependant, le spectre est sous-

utilisé avec FFR puisque les utilisateurs aux niveaux des zones frontalières ne peuvent accéder qu'à une toute petite partie de la bande [34].

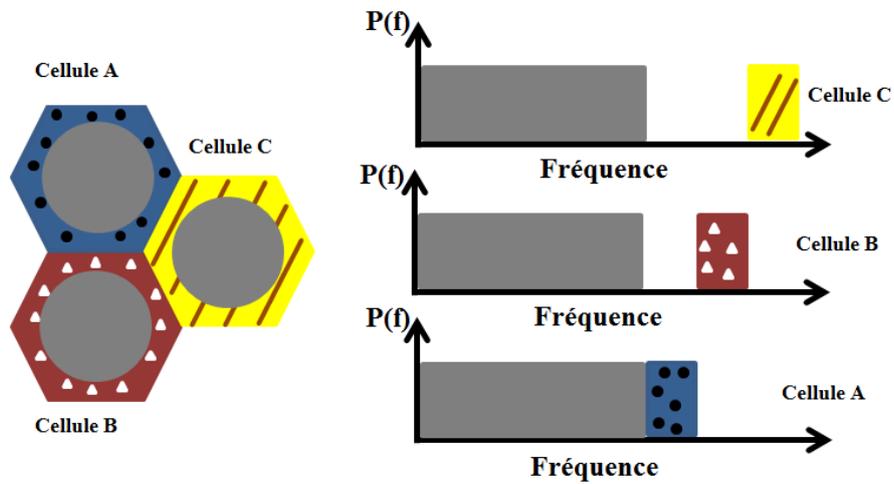


Figure III. 5 : Illustration de la FFR.

De plus l'utilisation du Reuse 3 au niveau du bord de la cellule diminue l'efficacité spectrale du système. Enfin, l'inconvénient principal de cette technique statique est que cela ne permet pas d'adapter la distribution des ressources fréquentielles entre les différentes zones selon la demande des utilisateurs [36].

Comme on voit sur la figure III.6, [34] la cellule est divisée en deux zones, intérieure et extérieure. La zone intérieure est circulaire avec un rayon $R_0 \leq R_c$ et le reste de la forme hexagonale c'est la zone extérieure. Sois W la bande passante totale du réseau.

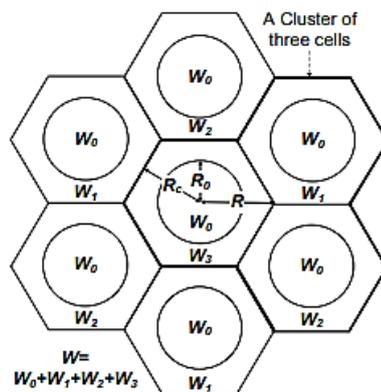


Figure III. 6 : l'allocation des fréquences avec la technique FFR

Avec $W = W_0 + W_1 + W_2 + W_3$ tel que $W_1 = W_2 = W_3$ qui sont les sous bandes utilisées sur les bords des cellules et W_0 c'est la bande utilisée aux centres des cellules.

Pour évaluer le débit de données total de la cellule, considérons d'abord la région circulaire

$$W_0 = \int_0^{R_0} W_u(r) \rho_u 2\pi r dr \quad (\text{III.13})$$

intérieure. Puisque cette région déploie le modèle de la réutilisation de fréquence 1,

L'expression de SINR est donnée par l'équation (III.3). Les utilisateurs sont uniformément répartis dans l'espace cellulaire avec $\rho_u = N_u / 2\sqrt{3}R_c^2$. Comme la zone intérieure est circulaire sa bande passante est donnée par [33] :

En remplaçant ρ_u par sa valeur et r par x , nous obtenons [33] :

$$W_0 = \frac{\pi}{\sqrt{3}} D_u N_u \int_0^{R_0/R_c} \frac{x}{C_{IFR1}(x)} dx \quad (\text{III.14})$$

Sois [33]

$$I_0 = \int_0^{R_0/R_c} \frac{x}{C_{IFR1}(x)} dx \quad (\text{III.15})$$

W_0 devient [33] :

$$W_0 = \frac{\pi}{\sqrt{3}} D_u N_u I_0 \quad (\text{III.16})$$

Etudions maintenant la zone extérieure qui déploie le modèle Reuse 3, dont le rapport SINR est donné par l'équation III.10. Dans le but de calculer le débit total utilisé dans la zone extérieure nous appliquons l'intégrale double utilisée dans l'équation III.7 pour obtenir [33] :

$$W_1 = 12 \int_0^{\pi/6} \int_{R_0}^{R_c/\cos\theta} W_{1,u}(r) \rho_u r dr d\theta \quad (\text{III.17})$$

En supposant une planification égale en débit de données $W_{1,u}(r)$ est donné par $W_{1,u}(r) = D_u C_{IFR3}(r)$ Après avoir remplacé ρ_u par sa valeur et transformé la variable r en x , on obtient [33]:

$$W_1 = \frac{6}{\sqrt{3}} D_u N_u \int_0^{\pi/6} \int_{R_0/R_c}^{1/\cos\theta} \frac{x}{C_{IFR3}(x)} dx d\theta \quad (\text{III.18})$$

Avec [33] :

$$I_1 = \int_0^{\pi/6} \int_{R_0/R_c}^{1/\cos\theta} \frac{x}{C_{IFR3}(x)} dx d\theta \quad (\text{III.19})$$

W_1 devient [33]:

$$W_1 = \frac{6}{\sqrt{3}} D_u N_u I_1 \quad (\text{III.20})$$

La bande passante W égale à $W = W_0 + W_1 + W_2 + W_3$ avec $W_1 = W_2 = W_3$ donc

$W = W_0 + 3W_1$. Le débit total cellulaire pour le cas FFR est donné par l'expression suivante [33] :

$$D_{T,FFR} = D_u N_u = \frac{\sqrt{3}W}{\pi I_0 + 18I_1} \quad (\text{III.21})$$

Considérant $N_u W_u = W_0 + W_1$, en intégrant le débit utilisateur sur la zone intérieure (utilisant reuse 1), le débit total dans la zone intérieure est donné par [33]:

$$D_{T,int} = \frac{\pi(W_0 + W_1)}{\sqrt{3}} \int_0^{R_0/R_c} x C_{IFR}(x) dx \quad (\text{III.22})$$

De même, le débit total utilisé dans la zone extérieure est donné par [33]:

$$D_{T,ext} = \frac{\pi(W_0 + W_1)}{\sqrt{3}} \int_0^{\pi/6} \int_{R_0/R_c}^{1/\cos\theta} x C_{IFR}(x) dx d\theta \quad (\text{III.23})$$

Et le débit total de la cellule est égal à [33] :

$$D_{T,FFR} = D_{T,int} + D_{T,ext} \quad (\text{III.24})$$

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini la coordination des interférences inter-cellulaire dans le réseau LTE.

Nous avons détaillé dans les techniques de réutilisations des fréquences comme IFR1 qui réutilise la même bande de fréquence dans toutes les cellules du réseau, IFR3 divise la bande de fréquence en trois sous-bandes et les réutilise en alternance d'une manière à éviter d'utiliser la même fréquence avec les cellules adjacentes, SFR consiste à diviser la cellule en deux zones, zone intérieure (cell-center) et zone extérieure (cell-edge) FFR qui utilise la technique de réutilisation IFR1 dans la zone intérieure et la technique IFR3 dans la zone extérieure. En donnant leurs équations, celle du SINR, efficacité spectrale et débit.

Chapitre 4

Simulations et interprétations

IV. Chapitre 4 : simulations et interprétations

IV.1 Introduction

Le standard des communications sans fil LTE a été conçu pour atteindre de très hauts débits de données et permettre une flexibilité en fréquence et en bande passante. L'utilisation des techniques de réutilisation de fréquence en LTE, assure une efficacité spectrale élevée. Cependant, les interférences intercellulaires (ICI) qui en résultent constituent l'une des principales limites. Plusieurs techniques ont été proposées pour remédier à ce problème.

Dans ce chapitre nous allons utiliser le logiciel MATLAB pour simuler les différentes techniques de réutilisations de fréquences et comparer leurs résultats.

IV.2 Etapes de simulation

Notre travail consiste en premier lieu à comparer le rapport sur interférences SIR et l'efficacité spectrale des deux modèles de réutilisation de fréquence IFR1 et IFR3, cette comparaison est réalisée selon les étapes suivantes :

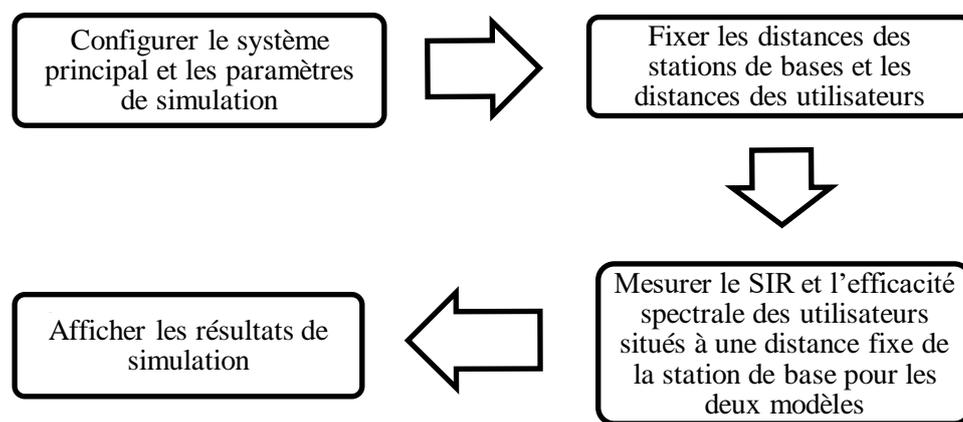


Figure IV.1 : Organigramme des simulations IFR1 et IFR 3.

En deuxième étape, nous allons procéder une comparaison entre les trois modèles de réutilisation de fréquence IFR3, SFR et FFR en termes de débit, de SINR et d'efficacité spectrale, la simulation est opérée suivant les étapes ci-dessous :

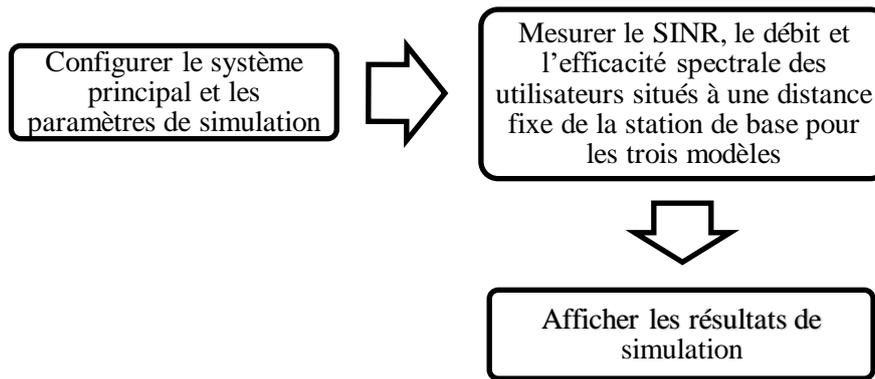


Figure IV.2 : Organigramme des simulations IFR3, SFR et FFR.

IV.3 Résultats et interprétations

IV.3.1 Simulations avec les modèles IFR1 et IFR 3

Dans une première phase nous allons mesurer les performances de capacité et les performances de rapport signal sur interférence (SIR) d'un réseau LTE qui se compose de 19 cellules et de 100 utilisateurs répartis aléatoirement dans chaque cellule avec un rayon de cellule $R_c=1000$ m et une bande passante de 5 Mhz.

IV.3.1.1 Evaluations du IFR1 et IFR3

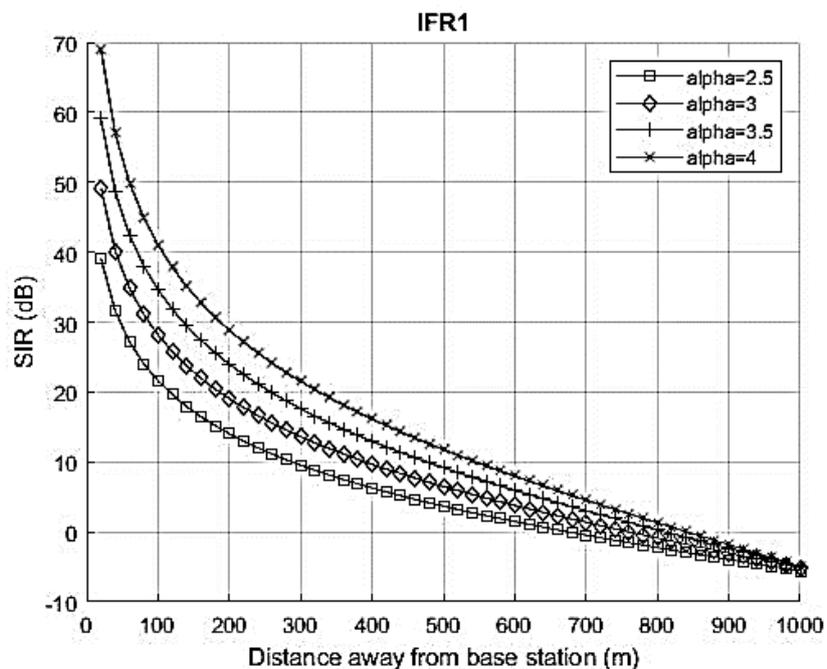


Figure IV.3: le SIR moyen des utilisateurs en fonction de la distance pour le modèle IFR1

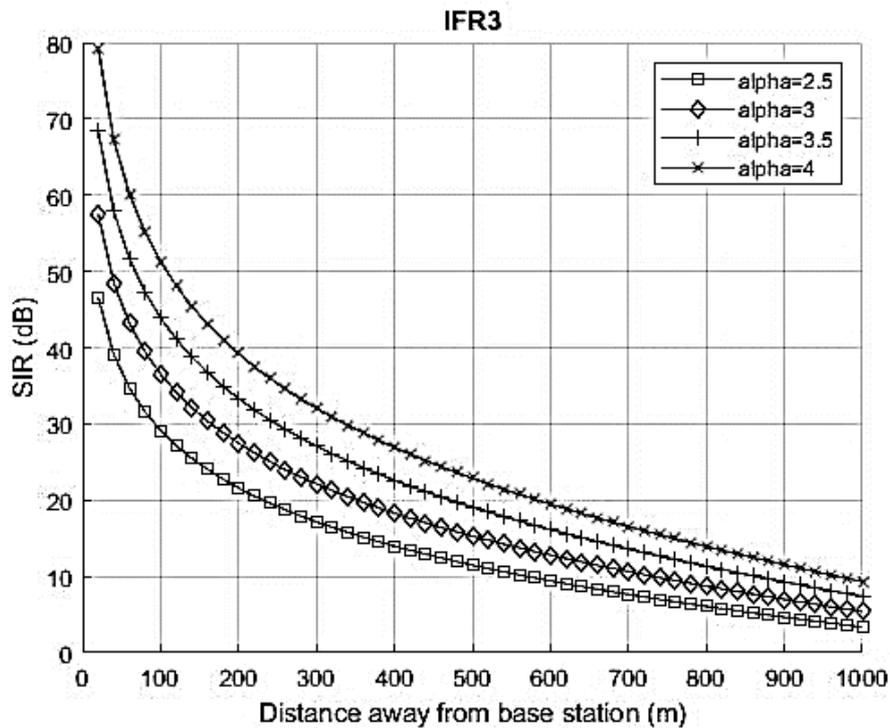


Figure IV.4 : SIR moyen des utilisateurs en fonction de la distance pour le modèle IFR3

Les figures IV.3 et IV.4 montrent les valeurs du SIR des modèles IFR1 et IFR3 en fonction de la distance des utilisateurs à la station de base pour des valeurs différentes du path loss $\alpha = 2.5, 3, 3.5, 4$, nous voyons que :

Plus les utilisateurs s'éloignent de la station de base plus la valeur du SIR diminue.

Pour IFR1 sa plus mauvaise valeur est observée à une distance de 1 Km, plus précisément au bord de cellule approximativement égale à -4dB pour $\alpha = 4$.

Pour IFR3 sa pire valeur est observée au bord de la cellule approximativement égale à 9 dB pour $\alpha = 4$.

Avec le modèle IFR3 les interférences sont considérablement réduites et les performances sont améliorées, de sorte que l'IFR3 est donc le meilleur en raison de l'attribution exclusive de fréquences pour une meilleure atténuation des interférences.

IV.3.1.2 Evaluation du SINR pour IFR1 et IFR3

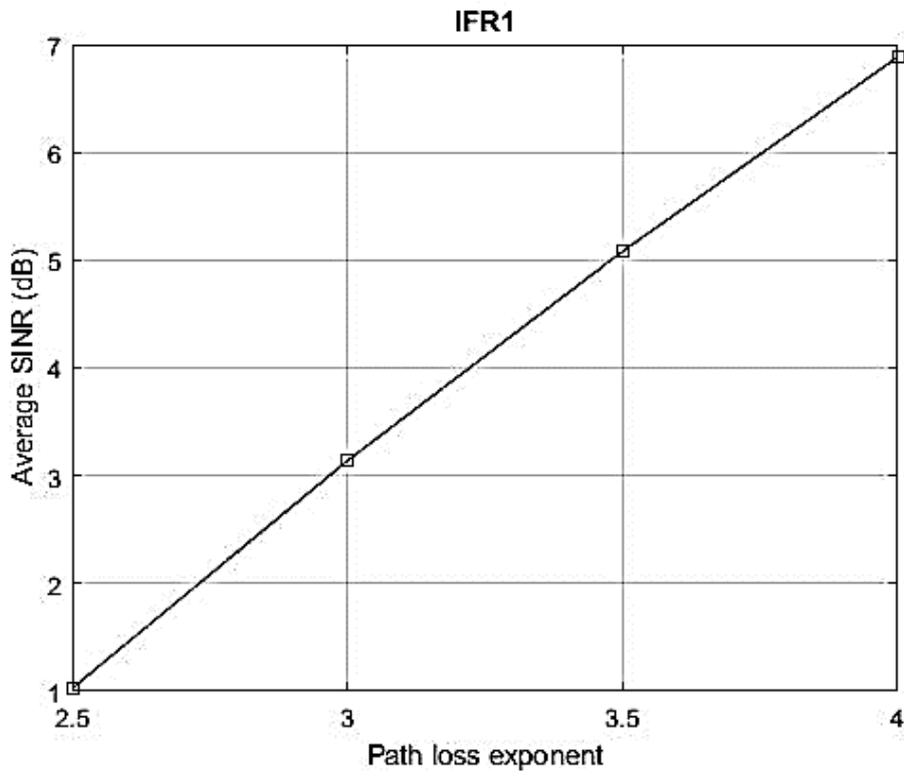


Figure IV.5 : SINR moyen en fonction du path loss du modèle IFR1.

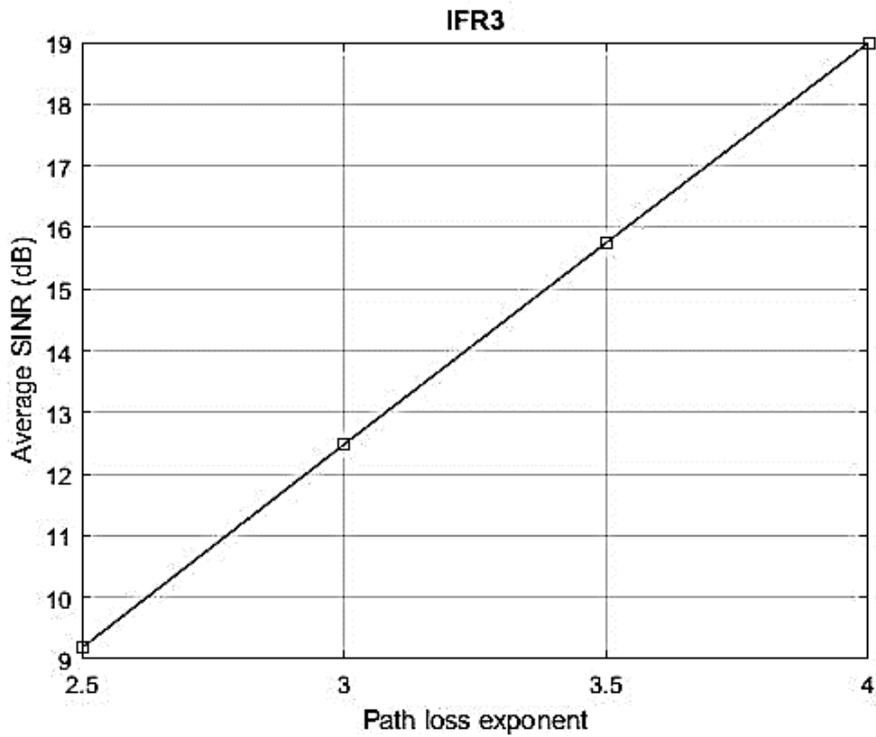


Figure IV.6 : SINR moyen en fonction du path loss du modèle IFR3

Les figures précédentes montrent que le rapport SINR est proportionnel au path loss, plus il est grand meilleur est le rapport. IFR3 présente un meilleur rapport que l'autre modèle.

IV.3.1.3 Evaluation de l'efficacité spectrale pour IFR1 et IFR3

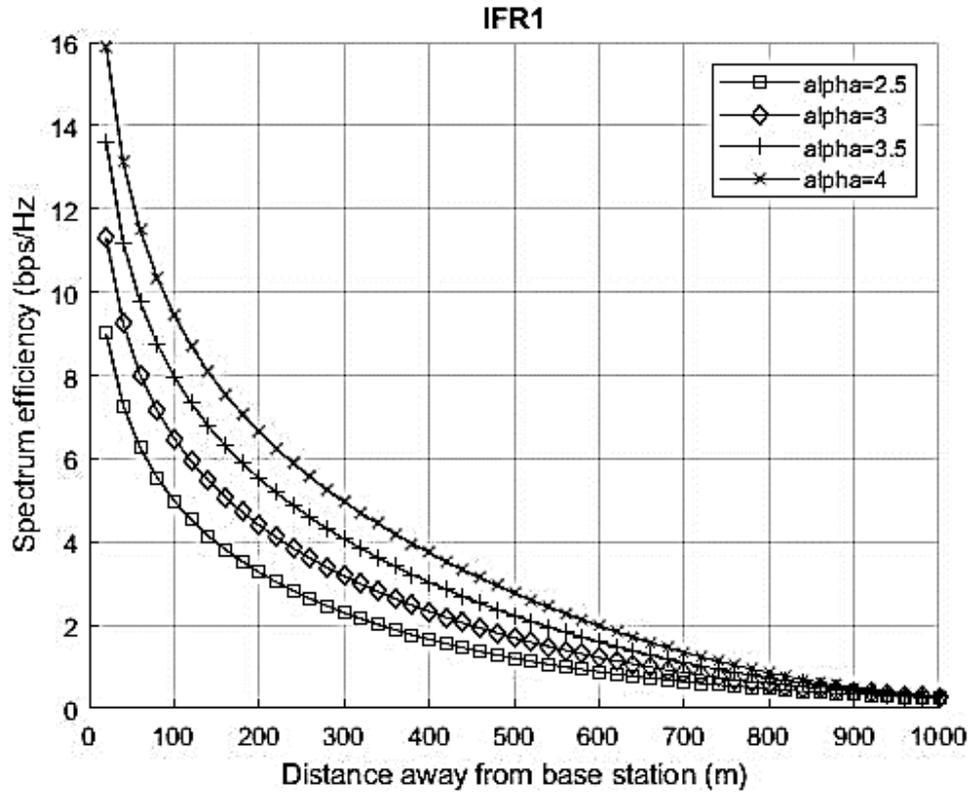


Figure IV.7: Evaluation de l'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de la distance du modèle IFR 1

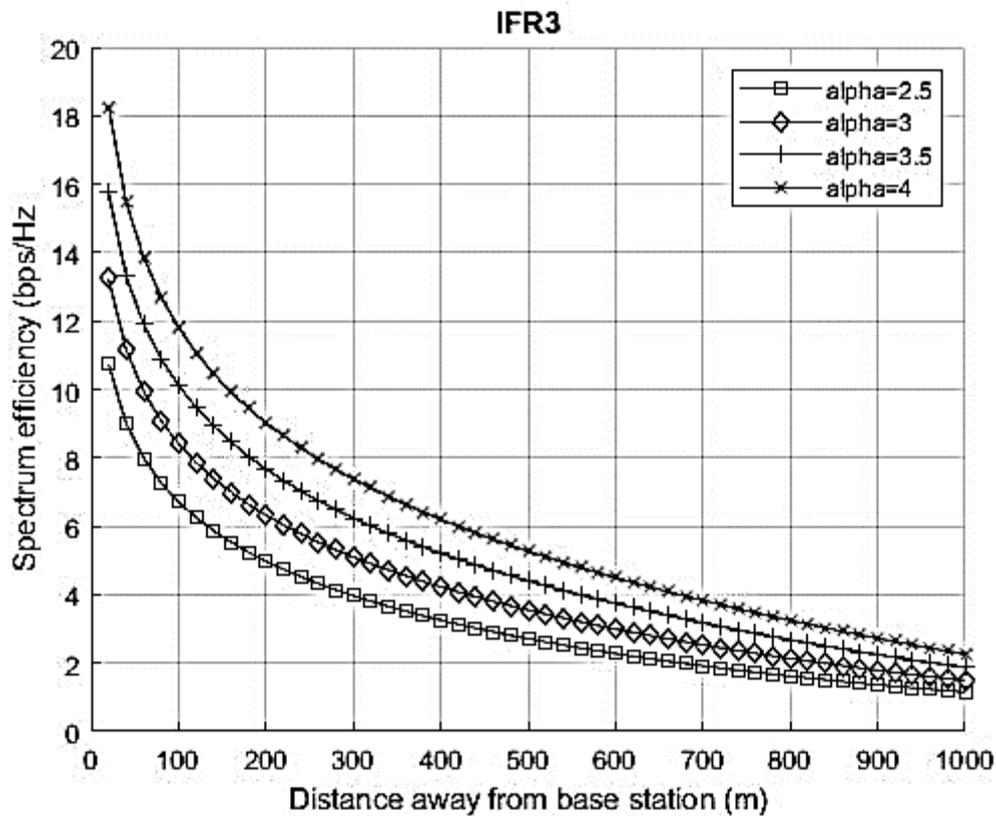


Figure IV.8 : Evaluation de l'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de la distance du modèle IFR 3.

Les figures IV.7 et IV.8 affichent l'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de leurs distances à la station de base des modèles IFR1 et IFR3.

Nous constatons que l'efficacité spectrale des deux modèles diminue plus nous nous rapprochons aux bords des cellules, cette dernière est proportionnelle au path loss, plus il est élevé plus cette valeur est meilleure.

IFR3 présente une efficacité spectrale plus élevés que celle du IFR1 mais une grande capacité est perdue, car seulement un tiers des ressources est utilisé dans chaque cellule

IV.3.2 Simulations et comparaison des techniques IFR3, SFR et FFR-

Dans la deuxième phase nous allons évaluer les performances des modèles de réutilisation de fréquences IFR3, SFR et FFR en termes de SINR, d'efficacité spectrale et de débit dans un réseau LTE composé de 19 cellules et de 100 utilisateurs répartis aléatoirement dans chaque cellule, avec une bande passante de 20 MHz divisé en 1200 sous-porteuses de 15 KHz chacune.

IV.3.2.1 Evaluation du SINR pour IFR3, SFR et FFR

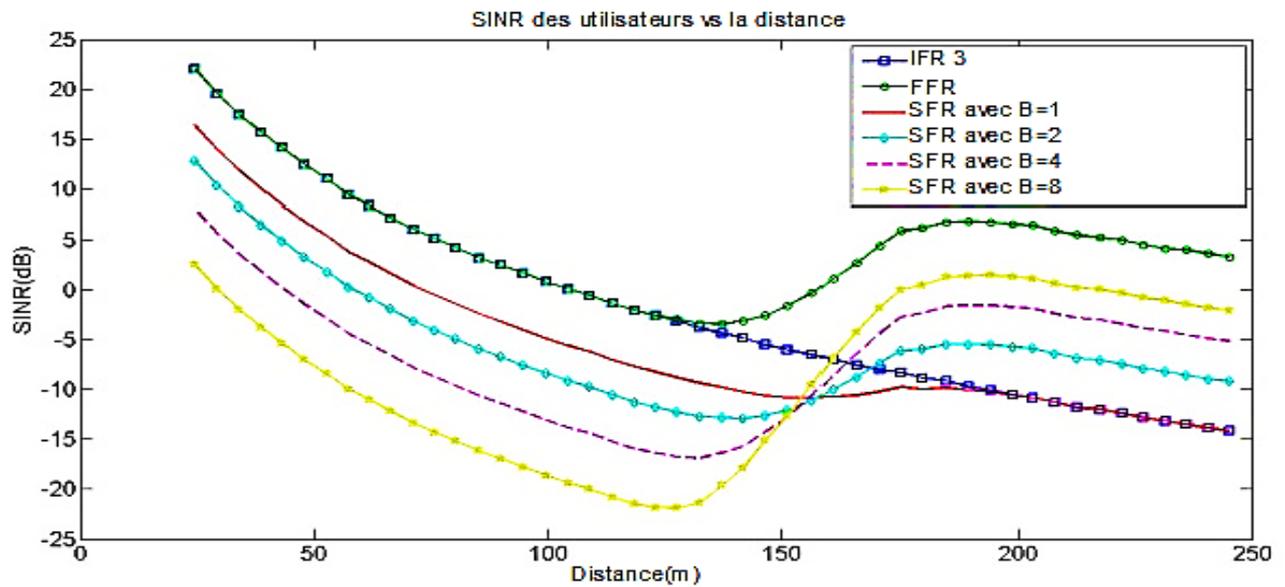


Figure IV.9 : SINR des utilisateurs en fonction de de la distance pour les modèles IFR3, FFR et SFR.

Cette figure affiche le SINR moyen par utilisateur en fonction de la distance moyenne par rapport à la station de base pour différents schémas de réutilisation de fréquences.

Dans la région interne, les techniques IFR3 et FFR ont une tendance SINR similaire dans la région interne car chaque utilisateur sera appliqué aux mêmes puissances d'émission et d'interférence et tous deux obtiendront les meilleures performances SINR.

Toutefois, dans la région externe, les utilisateurs de FFR souffrent moins d'interférences que l'IFR3, le premier à de meilleures performances que le second.

Pour SFR, lorsque nous augmentons le facteur de contrôle de puissance B, nous pouvons clairement constater que les performances SINR augmentent au niveau de l'extrémité de la cellule en raison de la puissance accrue du signal. Cependant, à mesure que B augmente, les utilisateurs de la région intérieure sont exposés à une plus grande interférence et, finalement, nous constatons une diminution considérable du SINR dans la région intérieure.

Le rapport SINR en général diminue à mesure que nous nous éloignons de la station de base.

IV.3.2.2 Evaluation de l'efficacité spectrale pour IFR3, SFR et FFR

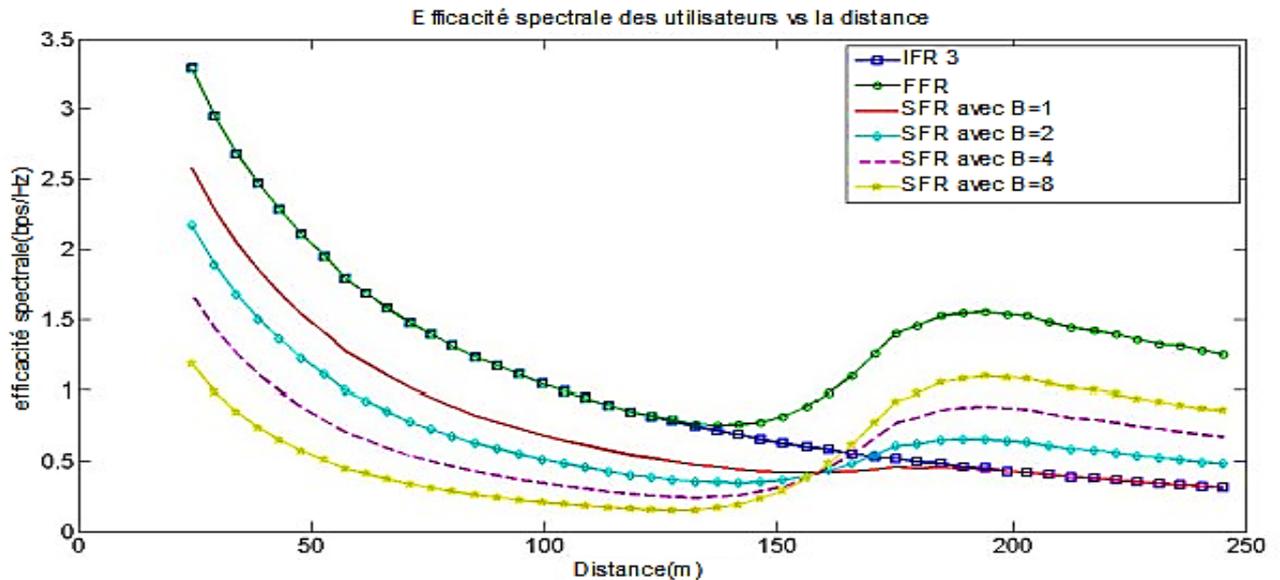


Figure IV.10 : L'efficacité spectrale des utilisateurs en fonction de la distance pour modèles IFR3, FFR et SFR.

La figure précédente montre l'efficacité spectrale moyenne par utilisateur exprimée en fonction de la distance moyenne par rapport à la station de base pour différents schémas de réutilisation des fréquences IFR3, SFR et FFR. Puisque l'efficacité spectrale est proportionnelle au SINR des tendances similaires à celles observées dans le SINR pour différents schémas de réutilisation de fréquence se produisent ici.

IV.3.2.3 Evaluation du débit pour IFR3, SFR et FFR

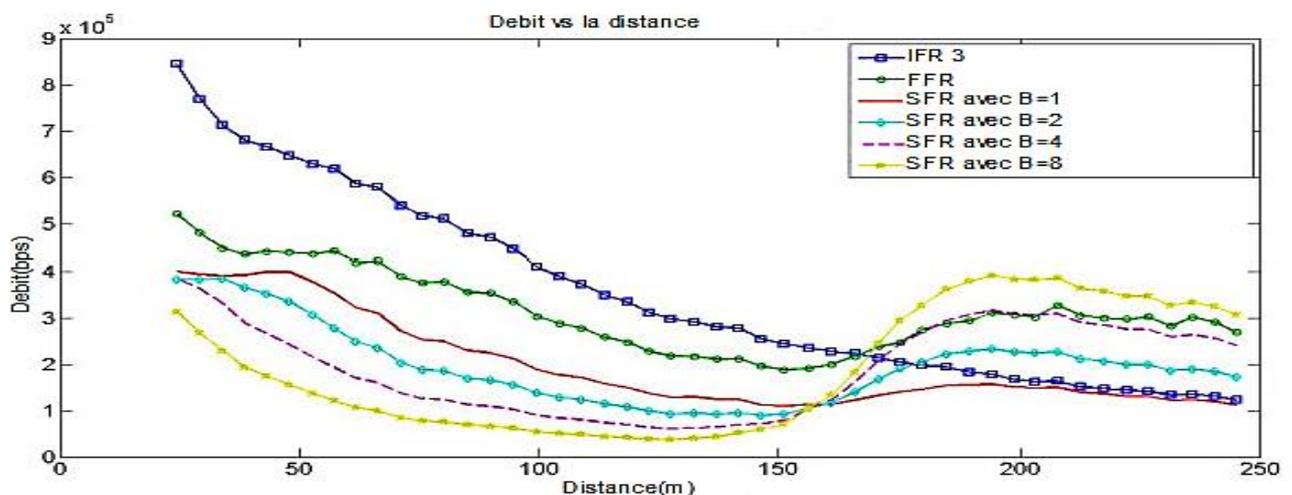


Figure IV.11: Le débit moyen par utilisateur en fonction de la distance pour les modèles IFR3, FFR et SFR.

La figure IV.11 montre le débit moyen par utilisateur en fonction de la distance moyenne à la station de base pour différents schémas de réutilisation de fréquences.

Dans la région intérieure, nous voyons clairement qu'IFR3 a le débit le plus élevé. Le plus mauvais débit est obtenu avec le modèle SFR avec une valeur de $B=4$.

Dans la région extérieure, la cellule a le plus haut débit de donnée avec le modèle SFR pour une valeur de $B=8$. Pour des valeurs de B moins importantes, nous observons une diminution du débit. Bien que FFR offre les meilleures performances en SINR à la périphérie de la cellule, mais cela ne se reflète pas en terme de débit. Cela est dû au fait que FFR a moins de sous-porteuses allouées dans chaque cellule, en particulier au bord de la cellule. Le plus faible débit est obtenu avec le modèle IFR3.

D'autre part, SFR utilise beaucoup mieux la bande passante. Par conséquent, les performances de débit de FFR sont moindres, en particulier dans la région externe par rapport à SFR, en dépit de sa supériorité en termes de SINR. Cependant, le débit diminue à mesure que nous augmentons la distance par rapport à la station de base, en raison de la perte de trajet croissante.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé les différentes techniques de réutilisation de fréquences dans un réseau LTE avec le logiciel MATLAB et exposé les résultats obtenus.

Nous avons procédé en deux phases, dans la première nous avons étudié les deux premiers modèles IFR1 et IFR3 et comparé leurs performances en termes de SIR et efficacité spectrale puis dans la deuxième phase nous avons étudié le second modèle qui est IFR3 avec les modèles les plus récents SFR et FFR en comparant leurs performances en terme de SINR, efficacité spectrale et enfin le débit.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à la gestion des interférences inter-cellulaires dans un réseau LTE.

Le premier chapitre de ce mémoire présente un aperçu sur les généralités du réseau LTE en se référant aux spécifications de 3GPP. Il expose premièrement l'évolution des réseaux radio mobiles, une revue des différentes générations jusqu'au réseau 4G, Puis une présentation du réseau LTE de ses caractéristiques, suivi de l'architecture de ce réseau en décrivant le rôle des différentes entités. Ensuite, les technologies clé du réseau LTE ont été exposées. Cette étude a permis de localiser les entités responsables de la gestion des interférences dans le réseau LTE.

Le deuxième chapitre explique d'une manière détaillée le processus de planification d'un réseau LTE avec ses différentes étapes. Nous avons défini dans un premier temps les critères de dimensionnement qui s'agissent de dimensionnement de capacité et de couverture Ensuite nous sommes passés au procédés de la planification radio qui est la deuxième phase du déploiement du réseau et on l'a terminé avec la dernière phase de planification qui s'agit des éléments d'optimisation qui visent à améliorer la couverture.

Le troisième chapitre donne un aperçu sur les différentes techniques de coordinations des interférences inter-cellulaires dans un réseau LTE, la fonction ICIC en présentant en détails les techniques IFR1 et IFR3 (Integer Frequency Reuse), SFR (Soft Frequency Reuse), FFR (Fractional Frequency Reuse), ainsi qu'une définition sur le rapport SINR.

Le quatrième chapitre décrit l'environnement et le modèle de simulation adoptés pour tester les techniques de coordination des interférences dans un réseau LTE. Ce chapitre contient une description sur le logiciel Matlab, ainsi que les résultats de l'étude comparative menée afin d'évaluer les performances de IFR1 et IFR 3 puis de FFR et SFR.

Concernant le choix entre les modèles de réutilisation IFR1 et IFR3 nous avons obtenu de meilleures performances avec le second modèle (IFR3) malgré la bande passante réduite. Concernant le choix entre le modèle IFR3 et des modèles plus récent (SFR et FFR)

Nos résultats montrent que FFR présente de meilleures performances en termes de SINR et efficacité spectrale comparé à l'IFR 3 et SFR dans les deux zones (intérieure et extérieure), mais cela ne se reflète pas en termes de débit sur la périphérie de cellule en raison de la faible utilisation de la bande passante. SFR augmente le SINR de bord de cellule et le débit en augmentant le facteur de contrôle de la puissance, mais ceci entraîne une diminution de ces derniers dans la région intérieure, ce qui crée un compromis entre le débit interne et le bord de cellule.

Bibliographie

- [1] AJAY. R MISHRA. 2004. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G .John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- [5] Toure Idrissa Ouamar, Diarra Woleymatou. Analyse et optimisation des indicateurs QoS de reseau 4G/ LTE. Université de bejaia. 2018
- [6] *Iturralde Ruiz, Geovanny Mauricio* .(2012). Performances des reseaux LTE. (these de doctorat). Université de Toulouse.
- [7] BOUCHENTOUF, Hadjer., et BOUDGHENE STAMBOULI, Riyad. ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE). (Mémoire master 2). Université de Tlemcen.
- [8] Xavier LAGRANGE. 10 mai 2013. Principes de fonctionnement de l'interface radio LTE. Technique de l'ingenieur. Université de Nante.
- [9] ZENATI, Ilyas., et BOUFERSAKHA Oussama . Dimensionnement et planification d'un réseau LTE. (mémoire master 2).Université de Tlemcen
- [10] TOUNSI, Houda. Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie Telecom. Université Virtuelle de Tunis.
- [12] Hanen Hrizi ,Salma Saidan, Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, Dimensionnement des Réseaux Radio 3G et 4G, Licence Appliquée en Sciences et technologies de l'Information et de la Communication Option RST,2013
- [15] Agilent Technologies. Juin 2009. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges. Moray Rumney. WILEY.
- [16] ERICSSON Proprietary and confidential, « LTE Overlay Networks », ERICSSON Design Guideline, December 2011.
- [19] Yannick, Bouguen., Éric, Hardouin. et François-Xavier, Wolff.2012. LTE et les réseaux. Groupe Eyrolles. ISBN : 978-2-212-12990-8 (handover)
- [22] BENCHINE Meriem MAALIOU Sonia.2015. Evaluation des performances du réseau LTE. (mémoire de master). Université de Bejaia.

- [23] Eya JAMMAZI , Mémoire de Projet de Fin d'Etudes , Optimisation d'un réseau pilote 4G pour Tunisie Télécom , en vue de l'obtention d'un Diplôme National d'Ingénieur en Communications et Réseaux , L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Juin 2013
- [24] Marceau, Coupechoux. Bilans de liaison : de la 2G à la 4G. Telecom ParisTech.
- [25] KERJA, Kamilia et MAY, Naima . « Etude de l'influence des paramètres antennaires sur la couverture radio LTE». Mémoire fin d'étude. Université de Bejaia.
- [26] Abdul Basit, syed. « Dimensionning of LTE Network Description models and tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface. These de doctorat.
- [27] Ahmed TRIKI Sujet : Encadrant : Dr. Loufi NUAYMI Superviseur : Pr. Leila SAIDANE Organisme d'accueil TELECOM Bretagne Année universitaire 2009 - 2010 Gestion de l'Interférence Radio dans le Système 4G/LTE en Utilisant l'Approche ICIC
- [28] Jean-Marc Kélif, Stéphane Senecal, Marceau Coupechoux, Constant Bridon. Analytical Performance Model for Poisson Wireless Networks with Pathloss and Shadowing Propagation. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) Workshops, Dec 2014, Austin, United States. pp.1-5. fhal01144149f.
- [31] Farhana Afroz, Kumbesan Sandrasegaran, H. Al Kim. INTERFERENCE MANAGEMENT IN LTE DOWNLINK NETWORKS. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 7, No. 1, February 2015. University of Technology, Sydney, Australia
- [32] Wajih A. Abu-Al-Saud . EE 499 : Wireless & Mobile Communications. Lecture 3: Frequency Reuse Concepts
- [33] Masood Maqbool. Radio Engineering of OFDMA Access Networks.. Life Sciences [q-bio]. Télécom ParisTech, 2009. English. ffpastel-00005820f
- [35] N. Hassan and M. Assaad, "Optimal Fractional Frequency Reuse (FFR) and Resource Allocation in Multiuser OFDMA System," in 2009 International Conference on Information and Communication Technologies, Karachi, August 2009, pp.88–92.
- [36] Mahdi Ezzaouia. Allocation de ressource opportuniste dans les réseaux sans fil multicellulaires. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Ecole nationale supérieure Mines-

Télécom Atlantique; Université de Tunis El Manar, 2018. Français. ffNNT :
2018IMTA0098ff. fftel-02118466f.

Webographie

- [2] https://www.astel.be/info/Le-concept-de-reseau-cellulaire_524 (consulté en avril 2019)
- [3] <http://generationmontmerle.over-blog.com/2015/04/l-histoire-du-telephone-portable-de-1980-a-nos-jours.html>. (consulté en avril 2019)
- [4] <http://www.marche-public.fr/Terminologie/Entrees/>. (consulté en avril 2019)
- [11] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/s1-interface> (consulté en avril 2019)
- [13] <http://4glte.over-blog.com/article-ofdma-103962236.html>. (consulté en avril 2019)
- [14] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/reseaux-cellulaires-et-telephonie-42288210/principe-de-la-transmission-ofdm-te7372/principe-du-sc-fdma-te7372niv10006.html> (consulté en avril 2019)
- [17] <https://www.lemagit.fr/definition/MIMO>. (consulté en avril 2019)
- [18] http://lrts.gel.ulaval.ca/publications/uploadPDF/publication_26.pdf (MIMO) (consulté en avril 2019)
- [20] https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/test-and-measurement/wireless-communication/wireless-5g-and-cellular/lte-lte-advanced/in-focus/self-organizing-networks_229096.html. (consulté en avril 2019)
- [21] <https://www.openpr.com/news/1355989/SON-Self-Organizing-Networks-Ecosystem-Is-Booming-Worldwide-Aexio-Digitata-Hitachi-Linksys-Nokia.html> (consulté en avril 2019)
- [29] <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-rsrq-snr/> (consulté en mai 2019).
- [30] <http://www.techplayon.com/signal-to-interference-and-noise-ratio-snr/> (consulté en mai 2019)
- [34] https://www.researchgate.net/publication/282601918_Survey_of_ICIC_Techniques_in_LTE_Networks_under_Various_Mobile_Environment_Parameters#pf7 (consulté en mai 2019)

Résumé

Le réseau LTE utilise la totalité de la bande de fréquence dans toutes les cellules, qui nous offrent un débit important. Cette réutilisation de fréquences cause des interférences, en particulier des interférences en périphérie de la cellule. Plusieurs méthodes connues sous le nom d'*Inter-cell Interference Coordination* (ICIC) ont été proposées pour réduire l'impact des interférences, la plupart des techniques sont basées sur le principe de la distribution de fréquences, Dans ce mémoire nous avons présenté le principe de la technique ICIC pour réduire les interférences en présentant les différents modèles IFR1, IFR3, SFR et FFR. Nous avons fait une simulation d'un réseau LTE sur le logiciel MATLAB, pour étudier et comparer les performances des différentes techniques, en terme de rapport signal sur bruit ainsi que l'efficacité spectrale et enfin le débit.

Mots clé : LTE, IFR1, IFR3, SFR, FFR, ICIC, SINR.

Abstract

The LTE network uses the entire frequency band in all the cells, which provide us with a significant bit rate (throughput). This reuse of frequencies causes interference, in particular interference at the periphery of the cell. Several methods known as Inter-cell Interference Coordination (ICIC) have been proposed to reduce the impact of interference, most techniques are based on the principle of frequency distribution, In this thesis we have presented the principle of the ICIC technique to reduce interference by presenting the different techniques IFR1, IFR3, SFR and FFR. We did a simulation of an LTE network on the MATLAB software, to study and compare the performances of those different techniques, in terms of signal-to-noise and interference ratio as well as the spectral efficiency and finally the bit rate.

Keywords : LTE, IFR1, IFR3, SFR, FFR, ICIC, SINR.