

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



**Faculté de Technologie**  
**Département de ATE**

# **Projet de Fin de Cycle**

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

Options : Systèmes & Réseaux de Télécommunication

**Thème**

---

## **Performances de SFR pour la coordination ICI** **dans les réseaux LTE**

---

**Préparé et présenté par**

OUSSID Fafa

SADAOUI Kahina

**Proposé et dirigé par**

M<sup>r</sup>. AZNI

M<sup>elle</sup>.KHELLAF

**Examiné par**

M<sup>r</sup>.MOKRANI

M<sup>me</sup>.BOUNCEUR

**Année Universitaire : 2017/2018**

# Remerciement

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. AZNI** et **Mme. KHELLAF**, pour leurs conseils judicieux, et leurs remarques objectives.

Nous remercions les membres du jury, **Mr. MOKRANI** et **Mme BOUNCEUR** 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

# **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon mari, je te remercie pour ton hospitalité sans égal et ton soutien si sincère.

A tous les membres de ma famille qui portent le nom SADAOUI et AMRAOUI, petits et grands, Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation depuis le primaire à ce jour.

Kahina

# Dédicace

Je dédie ce mémoire à ...

A mes chers parents, qui m'ont éclairé le chemin de ma vie par leur grand soutien et leurs encouragements, par leurs dévouements exemplaires et les énormes sacrifices qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voir réussir. Je dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon mari, je te remercie pour ton hospitalité sans égal et ton soutien si sincère.

A tous les membres de ma famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A tous mes amis et camarades qui m'ont toujours soutenu.

*Fafa ...*

## Résumé

Inter-Cell Interference Coordination (ICIC) est récemment incluse dans les réseaux sans fil utilisant la méthode d'accès OFDMA. Dans cette étude, nous proposons un schéma pour l'atténuation de l'interférence basé sur l'approche ICIC pour les systèmes LTE. Par ailleurs, l'approche ICIC est basée sur le concept qu'une bonne coordination entre les cellules lors de l'allocation des ressources aux utilisateurs peut réduire l'interférence et améliorer la capacité et la couverture au bord des cellules. La plupart des techniques sont basées sur le principe de Frequency Reuse (SFR). L'étude comparative, menée par des méthodes de simulation, prouve que SFR est plus performant que certains schémas classiques d'ICIC comme les algorithmes FR1 (Full Frequency Reuse).

## Abstract

Inter-Cell Interference Coordination (ICIC) is recently included in the wireless Networks that use radio access techniques based on OFDMA. In this study, we propose a schema for the mitigation of the interference based on the ICIC approach for LTE systems. In addition, the ICIC approach is based on the concept that a good coordination between the cells in the allocation of resources to users can reduce the interference as well as improve the capacity and coverage to the edge of the cells. Most of the techniques are based on the principle of frequency reuse (SFR). The comparative study, conducted by simulation methods, proves that SFR is more efficient than some conventional diagrams of ICIC such as FR1 algorithms (Full frequency reuse).

# Tables des matières

Remerciement

Dédicace

Dédicace

Résumé.....I

Tables des matières.....II

Liste des abréviations.....IV

Introduction.....1

## Chapitre 1 : principes des réseaux LTE

1. Introduction .....	Erreur ! Signet non défini.
2. Le réseau LTE et ses caractéristiques .....	Erreur ! Signet non défini.
3. Structure physique du réseau LTE .....	Erreur ! Signet non défini.
3.1 Le Réseau cœur (EPC) .....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.1 Le MME.....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.2 Le SGW .....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.3 PDN-GW.....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.4 Le HSS .....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.5 Le PCRF.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2 L'E-UTRAN .....	Erreur ! Signet non défini.
3.3 L'équipement de l'utilisateur (UE).....	Erreur ! Signet non défini.
3.4 Le réseau IMS.....	Erreur ! Signet non défini.
4. Techniques d'accès multi-porteuses.....	Erreur ! Signet non défini.
4.1 L'OFDM.....	Erreur ! Signet non défini.
4.2 OFDMA.....	Erreur ! Signet non défini.
4.2.1 Concept de bloc de ressources et élément ressource.....	Erreur ! Signet non défini.
4.2.2 Préfixe Cyclique.....	Erreur ! Signet non défini.
4.3 SC-FDMA .....	Erreur ! Signet non défini.
4.4 Comparaison entre la technique OFDMA et SC-FDMA .....	Erreur ! Signet non défini.
4.5 La technologie MIMO .....	Erreur ! Signet non défini.

4.5.1 Concept de base (diversité).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5. La pile protocolaire des réseaux LTE .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.1 La couche NAS.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.2 La couche RRC.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3 La couche PDCP.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.4 La couche RLC .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.5 La couche MAC.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6 La couche physique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6.1 Structure de la trame LTE.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6.1.1 Mode de duplex par separation de fréquence (FDD ).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6.1.2 Mode duplex par séparation de temps (TDD) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
7. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **Chapitre 2 : Interférences dans LTE**

1. Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2. Problématique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3. Types d'interférences .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1 Interférences intracellulaires.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.1 Interférence Entre Symboles IES (Inter-Symbol Interference ISI)....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.2 Interférence de canal adjacent.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2 Interférence intercellulaire.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4. Le réseau hétérogène HetNet .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.1 La cellule marco .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.2 La cellule pico .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3 La Cellule femto .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4 Les différents types d'interférences dans le réseau HetNet...	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4.1 Interférences Co-Tier .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4.2 Interférences Cross-Tier.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5. Coordination intercellulaire d'interférence (ICIC) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.1 Concept.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.2 ICIC réactif et ICIC proactif.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3 Techniques d'ICIC .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
ICIC Techniques .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

5.3.1	Domaine temporel.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3.1.1	Almost Blank Subframe (ABS).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3.2	Domaine fréquentiel.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3.2.1	Full Frequency Reuse (Reuse 1).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3.2.2	Hard Frequency Reuse (Reuse 3).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3.2.3	Fractional Frequency Reuse (FFR) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3.2.4	Soft Frequency Reuse:.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
6.	Conclusion.....	<b>....Erreur ! Signet non défini.</b>

### **Chapitre 3 : Simulation sous NS-3 de SFR pour la coordination ICIC**

1.	Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.	Le Simulateur NS-3.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.	Structure et fonctionnement de NS-3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.	Terminologie et abstractions .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.1	Nœud .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.2	L'application.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3	Le canal.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4	Les interfaces de communication .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.5	Classe d'aide à la création de topologie (TopologyHelpers). .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.	Installation du simulateur NS-3.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
6.	Mise en place d'une simulation sous NS-3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
7.	Déroulement de la simulation .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
8.	Scénario.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
9.	Indicateurs utilisés dans la simulation.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
9.1	Le Débit .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
9.2	Le SINR.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
9.3	RSRP .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
9.4	Perte de paquets .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
10.	Résultats et Interprétations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
11.	Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
	<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>

# Listes des abréviations

**3GPP:** Third Generation Partner Ship

**4G:** 4<sup>ème</sup> Génération

## A

**ABS:** Almost Blank Subframe

**ASN-GW:** Access Service Network Gateway

## E

**eNB:** E-UTRAN Node B

**EPC:** Evolved Packet Core Network

**EPS:** Evolved Packet System

**E-UTRAN:** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

## F

**FDMA:** Frequency Division Multiple Access

**FDD:** Frequency Division Duplexing

**FFR:** Full Frequency Reuse

**FFR:** Fractional Frequency Reuse

## G

**GSM:** Global System Mobile

## H

**HSS:** Home Subscriber Server

**HLR:** Home Location Register

**HFR:** Hard Frequency Reuse

**HetNet:** Heterogenous Network

## I

**IMS:** Internet Protocol Multimedia Subsystem

**IP:** Internet Protocol

**ICIC:** Inter- Cell Interference Coordination

**ICI:** Inter Cell Interference

**ISI:** Inter-Symbol Interference

## **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

## **O**

**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

## **P**

**PCRF:** Policy and Charging Rules Function

**PDN:** Packet Data Network

**PDN-GW:** Packet Data Network Gateway

**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

**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**  
**GENERALE**

## INTRODUCTION

---

Aujourd'hui, les systèmes de communications sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive des câbles. Depuis l'avènement des réseaux sans fils, plusieurs standards et technologies de communications ont été ainsi développées. Parmi ces technologies, LTE (Long Term Evolution) est la dernière représentante dans le domaine des réseaux cellulaires.

La technologie LTE (Long Term Evolution) est le nouveau membre de la famille 3GPP (3rd GenerationPartnership Project). Après UMTS, HSDPA, HSUPA, 3GPP a lancé en novembre 2004 son projet LTE pour mettre en œuvre un réseau puissant capable d'assurer un débit qui peut atteindre 100M bit/s en lien descendant (DL) et 50 Mbit/s en lien ascendant (UL), avec un temps de latence de l'ordre 5 ms et une mobilité qui peut atteindre 120 Km/h. Ces objectifs ciblés par 3GPP ont exigé l'utilisation de techniques innovantes qui permettent de garantir la robustesse de la transmission et augmenter l'efficacité spectrale. LTE utilise un schéma de codage et de modulation adaptif avec une flexibilité spectrale permettant de sélectionner la bande passante entre 1.4 MHz et 20 MHz. Son schéma d'accès multiple repose sur OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en lien descendant (DL) et SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) en lien ascendant (UL) couplé avec la technique MIMO (Multi-Input Multi-Output), ce qui fournit l'orthogonalité entre les utilisateurs et améliore la capacité du réseau.

Cependant, atteindre les performances prévues pour cette technologie soulève un grand nombre de problèmes et de défis à surmonter, vu la sensibilité des liens sans fil. L'interférence intercellulaire est l'un de ces défis qui présente une menace nuisant au débit et à la qualité de service au niveau des terminaux au bord des cellules. Ce problème classique dans les réseaux cellulaires sans fil prend plus d'ampleur dans les réseaux LTE vu l'importance des débits ciblés et la charge supportée par les cellules.

Le sujet de ce mémoire s'inscrit dans le cadre qui consiste à étudier les interférences dans les réseaux cellulaires LTE et de proposer un schéma à ce propos en se basant sur l'approche ICIC (Inter-CellInterference Coordination) recommandée par les spécifications de 3GPP.

Le présent mémoire est organisé en trois chapitres plus la présente introduction et une conclusion. Le premier chapitre présente un aperçu du fonctionnement des réseaux LTE à travers la description de son architecture et sa pile protocolaire.

Le deuxième chapitre décrit l'approche ICIC dans les réseaux LTE, les types d'interférences et leur mécanisme de gestion.

Dans le troisième et dernier chapitre nous présenterons en détail le modèle de simulation adopté pour évaluer les performances de la technique Soft FrequencyReuse (SFR) en le comparant avec la technique Full FrequencyReuse (FR1) qui ne tient pas compte particulièrement des interférences car utilisant la totalité de la bande passante disponible.

**CHAPITRE 1:**  
**PRINCIPES DES RESEAUX LTE**

## 1. Introduction

L'évolution des premiers systèmes radio est guidée par la volonté d'accroître la capacité des réseaux ainsi que le débit offert par le système. Dans ce cadre, le groupe de standardisation 3Gpp (Third Generation Partner Ship) a mené la norme LTE (Long Term Evolution) pour les réseaux mobiles, qui permet d'offrir un débit très élevé avec une faible latence, une faible complexité et une meilleure qualité de service.

Le présent chapitre est consacré à la présentation de la norme LTE. Nous décrivons les aspects essentiels de celle-ci et nous exposerons la technologie d'accès radio qui y est utilisée. Le chapitre est composé de sept sections.

## 2. Le réseau LTE et ses caractéristiques

La technologie LTE ou 4G (réseau de 4<sup>ème</sup> génération) s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP (Internet Protocol). Le réseau de téléphonie cellulaire dans la 4G devient un réseau tout IP contrairement à la technologie 3G (3<sup>ème</sup> Génération) qui transporte la voix en mode circuit. LTE est basée sur des techniques radios élaborées telles qu'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) et MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui permettent le transfert des données à très haut débit avec une portée plus importante. Plusieurs raisons ont poussé le groupe 3GPP à élaborer la norme LTE parmi lesquelles nous citons [1] :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Minimiser le coût de signalisation.

LTE se distingue par un certain nombre de caractéristiques réalisant des améliorations très importantes en termes de capacité, par rapport aux réseaux cellulaires qui l'ont précédé. Les principales caractéristiques incluent :

- Offre un débit théorique de 100 Mbps sur la voie descendante et 50 Mbps sur la voie montante et un temps d'aller-retour inférieur à 10 ms
- Compatibilité avec les réseaux 3G.
- Pile protocolaire reposant sur le protocole IP.
- LTE peut se déployer dans la bande allant de 1.25 MHz à 20 MHz, supporte le duplexage temporelle TDD (Time Division Duplexing) et fréquentielle FDD (Frequency Division Multiplexing).
- Meilleures performances grâce à l'utilisation des antennes MIMO, avec des techniques d'accès multiple OFDMA sur la voie descendante, et SC-OFDM (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) sur la voie montante pour la réduction de l'espace de la bande du canal.
- Offre une meilleure qualité de service QoS (Quality of Service).

### 3. Structure physique du réseau LTE

L'architecture générale du LTE se compose des éléments suivants :

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

Dans cette section, nous allons décrire le rôle de ces composantes.

#### 3.1 Le Réseau cœur(EPC)

Connu aussi sous le nom de SAE (System Architecture Evolution), l'EPC représente le réseau cœur de LTE. Il se compose des équipements qui doivent supporter la connectivité tout-IP sans l'architecture 4G. Il assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service (QoS) et la gestion de la sécurité, au moyen des équipements tels que le MME (Mobility Management Entity), PDN-GW (Packet Data Network Gateway), HSS (Home Subscriber Server) et le PCRF (Policy and Charging Rules Function) comme le montre la figure 1.1. [2]

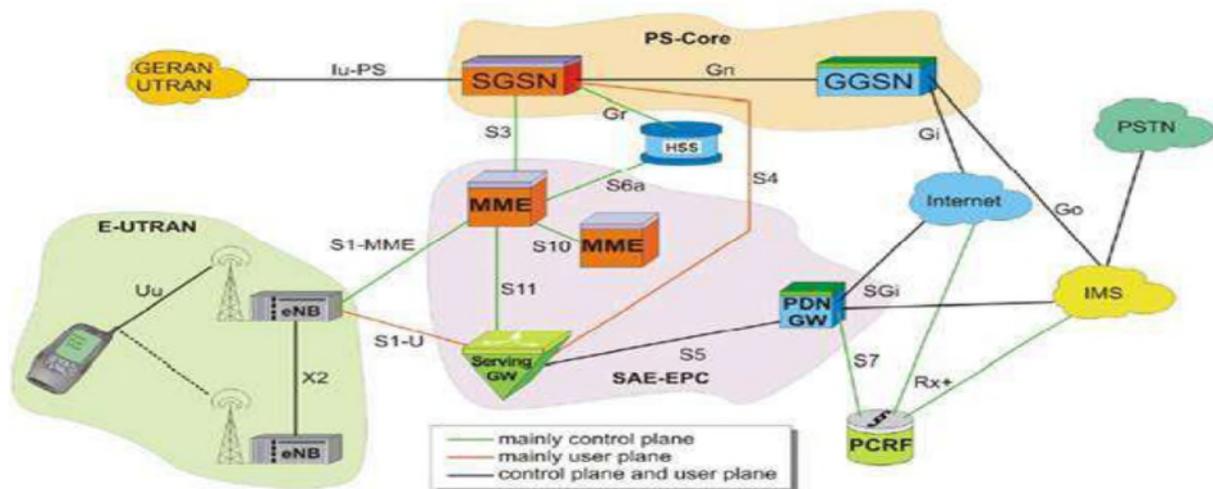


Figure 1.1. Architecture globale du réseau cœur [2]

### 3.1.1 Le MME

Le MME est l'équipement qui gère la signalisation (plan de contrôle) entre les terminaux UE et le cœur de réseau LTE. Il est chargé de dialoguer avec le HSS de manière à consulter et stocker les profils et les données de sécurité des terminaux situés dans une grande région donnée. Ces données sont ensuite utilisées dans son dialogue avec les stations de base notamment pour faire du contrôle d'accès et gérer la connexion, les droits d'accès et la sécurité des abonnés. C'est également le MME qui sélectionne le PDN-GW (Packet Data Network Gateway) et le SGW (Serving Gateway) qui seront utilisés ultérieurement pour les transferts de données lors de la connexion au réseau d'un terminal donné. Un MME peut être vu comme la mémoire cache d'un HSS. [3]

### 3.1.2 Le SGW

Les passerelles (SGW et PDN-GW) traitent le plan utilisateur. Ils transportent le trafic de données IP (Internet Protocol) entre l'équipement utilisateur (UE) et les réseaux externes. Le SGW est le point d'interconnexion entre le côté radio et l'EPC. Comme son nom l'indique cette passerelle dessert l'UE en acheminant les paquets IP entrants et sortants. C'est le point d'ancrage pour la mobilité intra-LTE (c'est-à-dire en cas de transfert intercellulaire entre eNB

(enhanced Node B) et entre LTE et d'autres accès 3GPP est logiquement connecté à l'autre passerelle le PDN-GW. [4]

### 3.1.3 PDN-GW

C'est une entité qui assure la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE. L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l'accès à des PDNs multiples.

### 3.1.4 Le HSS

Fondamentalement le HSS est une base de données qui contient des informations relatives à l'utilisateur et à l'abonné. Il fournit également des fonctions de support dans la gestion de la mobilité, la configuration des appels et des sessions l'authentification de l'utilisateur et l'autorisation d'accès.

Le HSS est donc un HLR (Home Location Register) évolué qui contient l'information de souscription pour les réseaux GSM (Global System for Mobile), GPRS (General Packet Radio Service), 3G, LTE et IMS. [4]

### 3.1.5 Le PCRF

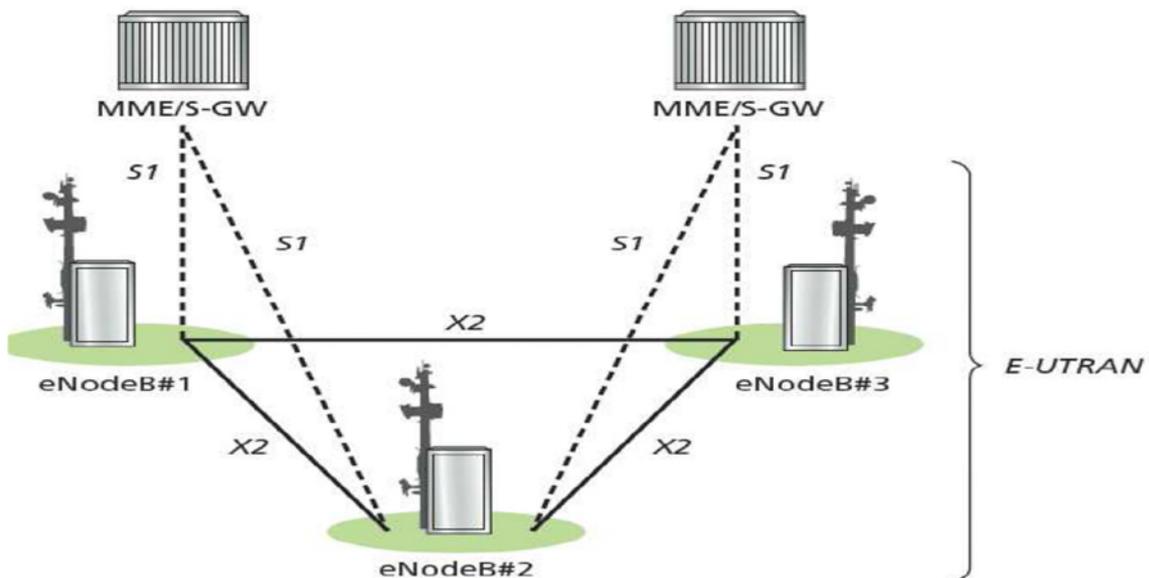
Le PCRF est responsable de la prise de décision principale du contrôle, il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. [5]

## 3.2 L'E-UTRAN

Le réseau d'accès LTE se nomme l'E-UTRAN, pour Evolved UTRAN. Elle est composée principalement de stations de base appelées eNB Une station de base eNB est responsable de la réception et la transmission radio avec l'UE en plus, l'eNB prend en charge des fonctions de mesures radio et préparation de rapport de mesures utiles pour la gestion de la mobilité ainsi que pour l'ordonnancement. Cet élément du réseau est responsable aussi de la sélection d'un MME pour chaque UE lors de la procédure d'attachement, si la configuration fournie à cet usager ne précise pas de MME Plusieurs fonctions primordiales pour le fonctionnement du réseau sont prises en charge par l'élément radio eNB. Chaque eNB

est connecté au réseau cœur EPC à travers une interface appelée S1. Ce lien se compose de deux interfaces : la première interface S1-usager (S1-U) permet de connecter l'eNB et le SGW). En effet, l'eNB achemine les données du plan usager vers le SGW. Au niveau du plan de signalisation, la deuxième interface S1-MME assure la connectivité entre l'eNB et le MME. Les fonctions supportées par RNC (Radio Network Controller) ont été réparties entre l'eNB et les entités du réseau cœur MME/SGW. [6 ,7]

D'autre part, une nouvelle interface, appelée interface X2, a été introduite entre les eNBs adjacents. Cette interface permet de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode handover. En effet, lors d'un processus de handover, de nouvelles ressources radio sont allouées au nouvel eNB pour l'UE en déplacement. Cependant, le réseau continue à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNB jusqu'à ce que le nouveau eNB informe le réseau de lui relayer les paquets de l'utilisateur. L'ancien eNB relaie les paquets de données vers le nouvel eNB à travers l'interface X2.



**Figure1.2.** Interface du réseau d'accès [6]

### 3.3 L'équipement de l'utilisateur (UE)

L'architecture interne de l'équipement utilisateur pour LTE est identique à celle utilisée par UMTS et GSM qui est en fait un équipement mobile ME (Mobile Equipment) L'équipement mobile comprend les modules importants suivants :

- MT (Mobile Termination) : Cette fonction gère toutes les fonctions de communication.
- TE (Terminal Equipment) : c'est un module avec lequel l'utilisateur accède au réseau mobile.
- UICC (Universal Integrated Circuit Card) : Cette carte est également connue sous le nom de carte SIM pour les équipements LTE. Il exécute une application connue sous le nom Universal Subscriber Identity Module (USIM).

Un USIM stocke des données spécifiques à l'utilisateur très similaires à la carte SIM (Subscriber Identity Module) 3G. Cela permet de conserver des informations sur le numéro de téléphone de l'utilisateur, l'identité du réseau domestique et les clés de sécurité etc. [8]

### 3.4 Le réseau IMS

L'IMS est une architecture standardisée de type Next Generation Network (NGN) utilisée par les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP (Voice over IP), ainsi qu'une implémentation 3GPP.

L'objectif de l'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet. Les utilisateurs doivent en plus être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement que depuis chez eux.

Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS permet de véritablement faire converger l'Internet et le monde de la

téléphonie mobile (cellulaire), Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.[1]

### 4. Techniques d'accès multi-porteuses

Elles consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le gain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonalisant les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide des circuits performants de transformée de Fourier rapide. [9, 10]

#### 4.1 L'OFDM

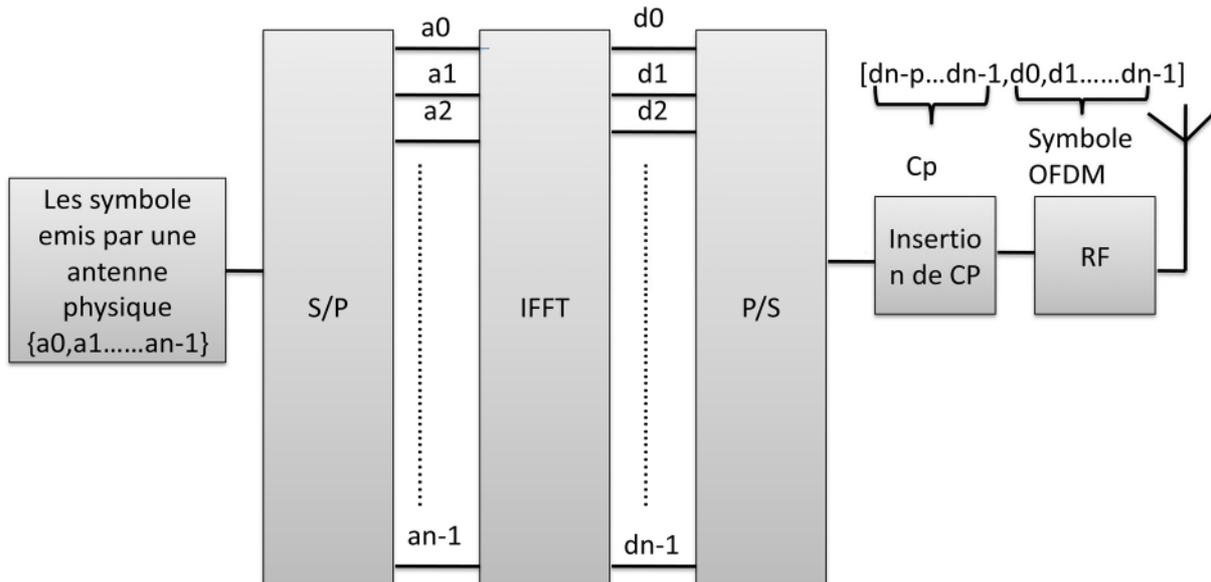
LTE a introduit un certain nombre de nouvelles technologies, permettant l'emploi efficace du spectre et fournissant des débits beaucoup plus élevés. Ainsi, LTE a utilisé la technologie OFDM en tant que porteur du signal et les régimes d'accès associés, OFDMA et SC-FDMA.

#### 4.2 OFDMA

OFDMA est une technique de multiplexage et de codage des données pour la transmission descendante, de la 3GPP LTE. Cette technique supporte un grand nombre d'utilisateurs aux caractéristiques variables (QOS, débits). Dans cette technique, la bande passante est divisée en plusieurs sous-porteuses, chaque sous-porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, éliminant de fait les Interférences Intra Cellulaires (IIC). Cela a pour conséquence directe un décodage facile de l'OFDMA par l'utilisateur.

La modulation OFDMA est réalisée par une Transformée de Fourier Discrète Inverse (IDFT) des symboles de modulation afin de passer du domaine fréquentielle au domaine temporel. Le schéma du modulateur OFDMA est décrit à la figure 1.3, où S/P et P/S désignent respectivement des convertisseurs série/parallèle et parallèle/série. Le bloc d'échantillons complexe  $\{d_n\}$  obtenus en sortie IDFT qui représente le signal dans le domaine temporel correspondant au bloc de symbole de modulation émis sur les différentes sous-porteuses, est appelé un symbole OFDM. A ce bloc on ajoute un préfixe cyclique

(CP), les échantillons de signal dans le domaine temporel sont ensuite mis en forme puis envoyés sur une antenne correspondante.



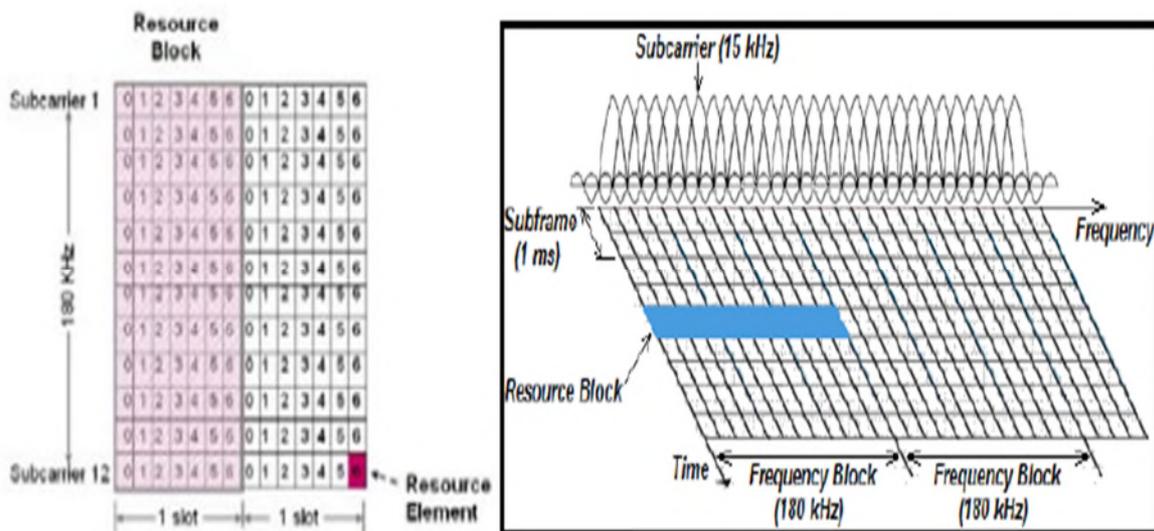
**Figure 1.3.** Schéma principe d'un modulateur OFDM

À la réception le démodulateur effectue les opérations inverses à celles de la modulation.

L'OFDMA a été choisi comme meilleure solution pour le sens descendant en LTE, cependant elle présente un défi majeur qui consiste à introduire un PAPR (Peak to Average Power Ratio) assez grand, ce qui exige l'utilisation d'amplificateurs linéaires. Ce type d'amplificateurs est moins efficace en termes de consommation de batterie (au niveau des UEs), ce qui implique que l'OFDMA n'est pas la meilleure solution pour la liaison montante. D'où l'utilisation de SC-FDMA dans le sens montant, car elle permet une meilleure efficacité en terme d'amplification de puissance.

## 4.2.1 Concept de bloc de ressources et élément ressource

Un Bloc de ressources physique (Physical Resource Block : PRB), est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE. Un PRB est une grille de petits éléments appelés éléments ressources (Resource Element : RE). Comme c'est indiqué dans la figure 1.4, un PRB est constitué dans le domaine fréquentiel de 12 sous-porteurs, chacune de largeur 15KHZ, en tout 180 KHZ, et d'un Time Slot dans le domaine temporel, autrement dit 6 ou 7 symboles selon la taille de CP (Cyclique Préfixe). Un élément ressource (RE) est formé par une seule sous-porteuse et un seul symbole dans le domaine temporel. Ainsi, un PRB est constitué de  $12 \times 7 = 84$  REs dans le cas d'un CP normale, et  $12 \times 6 = 72$  REs pour le cas d'un CP étendu.



**Figure 1.4.** Concept de Ressources éléments et Ressources Block [1]

## Chapitre1 Principes des réseaux LTE

---

Le nombre total de PRB dépend de la largeur de la bande passante, et le tableau 1.1 résume ces données.[9]

Bande MHZ	Nombre PRB
1.4	6
3	15
5	30
10	50
15	75
20	100

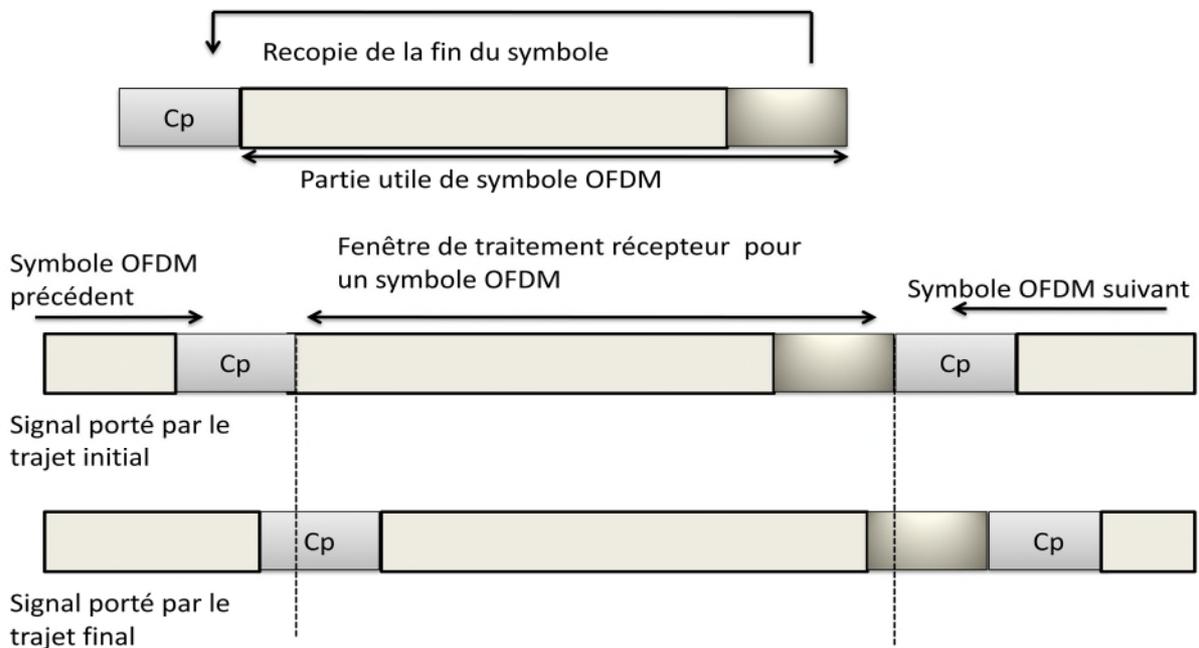
**Tableau 1.1.** Nombre de PRB en fonction de la largeur de bande

### 4.2.2 Préfixe Cyclique

Le symbole OFDM allongé avec un préfixe cyclique. C'est une technique qui consiste à insérer une copie d'un bloc d'information à transmettre en amont de la trame. Plus clairement, il s'agit de récupérer une partie des informations à transmettre et d'insérer ces informations en début de trame. L'introduction d'un CP permet de lutter contre les Interférences Entre Symboles (IES) et absorber des retards apparaissent dans le canal.

Deux tailles de CP sont permises [11] :

- Un court ou normal (5.21  $\mu$ s/4.69  $\mu$ s)
- Un long (16.67  $\mu$ s)



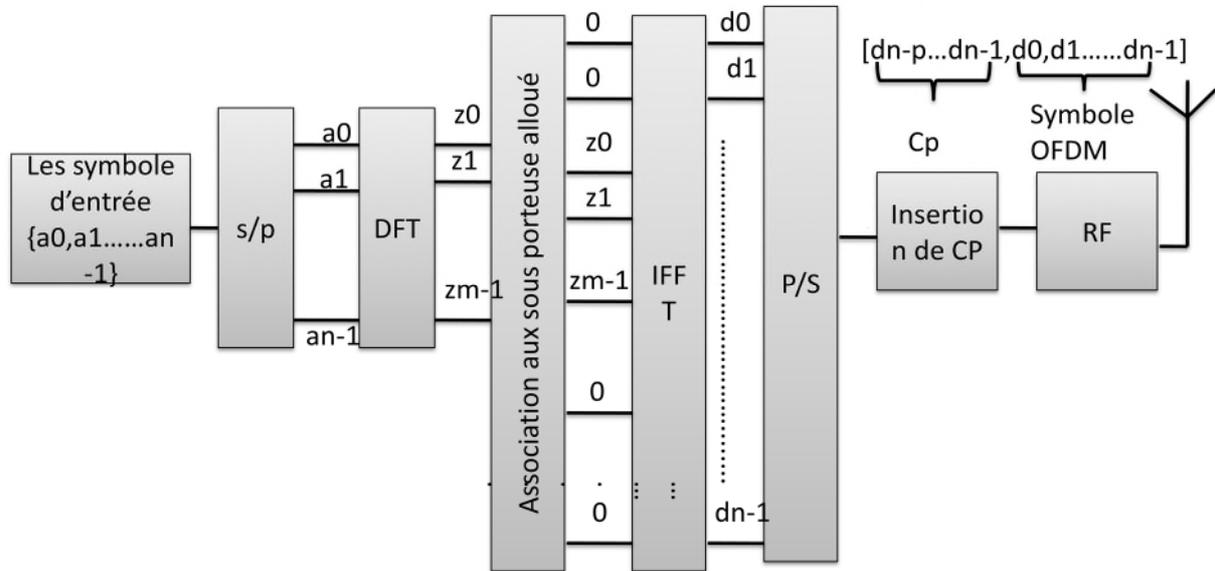
**Figure 1.5.** Illustration de la protection contre l'interférence entre symbole OFDM assurée par le préfixe cyclique

## 4.3 SC-FDMA

Le SC-FDMA est une variante de l'OFDM utilisée dans la voie montante du LTE pour réduire le problème de PAPR tout en conservant une bonne partie des avantages de l'OFDM

La modulation de SC-FDMA peut être mise en œuvre à l'aide d'un modulateur OFDM auquel on ajoute un pré-codage des symboles à transmettre par une DFT, entre la conversion série-parallèle et l'opération d'IFFT.

C'est de cette manière qu'est spécifié le SC-FDMA en LTE. Le principe d'un tel modulateur est décrit à la figure 1.6. De manière similaire à l'OFDM ; le signal dans le domaine temporel  $\{d_0, \dots, d_{n-1}\}$  correspond au bloc de symboles de modulation d'entrée  $\{a_n\}$  est appelé un symbole SC-FDMA.

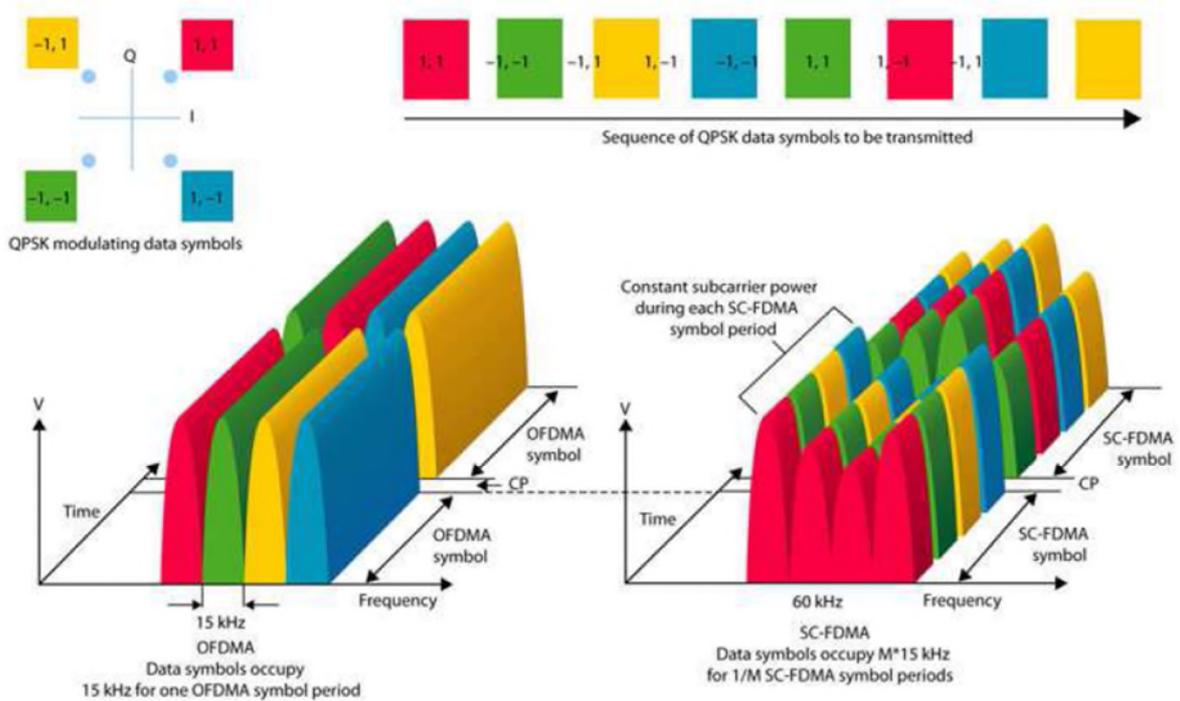


**Figure 1.6.** Schéma de principe d'un modulateur SC-FDMA

On remarque qu'un symbole émis sur une sous-porteuse est maintenant une combinaison linéaire des symboles modulés du bloc d'entrée. Par ailleurs, les sous-porteuses allouées à un UE donné ont la contrainte d'être toutes contiguës. Le pré codage DFT et la contrainte de contiguïté ont pour effet de restaurer la propriété de transmission mono porteuse. [10]

#### 4.4 Comparaison entre la technique OFDMA et SC-FDMA

La différence majeure entre OFDMA et SC-FDMA réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse.



**Figure 1.7.** Différence entre OFDMA et SC-FDMA [10]

## 4.5 La technologie MIMO

MIMO est une autre innovation technologique majeure dans LTE utilisée pour améliorer les performances du système. Cette technologie permet au LTE d'améliorer encore son débit de données et son efficacité spectrale par rapport à l'utilisation de l'OFDM. Bien que MIMO ajoute de la complexité au système en termes de traitement et du nombre d'antennes requis il permet d'obtenir des débits de données très élevés tout en améliorant considérablement l'efficacité spectrale. MIMO est l'une des nombreuses formes de technologie d'antenne intelligente que les autres étant MISO (Multiple Input Single Output) et SIMO (Single Input Multiple Output).

### 4.5.1 Concept de base (diversité)

Le concept de base MIMO utilise la propagation de signaux par trajets multiples qui est présent dans toutes les communications terrestres. Ces chemins peuvent être utilisés avantageusement. La figure 1.8 montre le principe de cette technologie qui consiste à transmettre un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente.

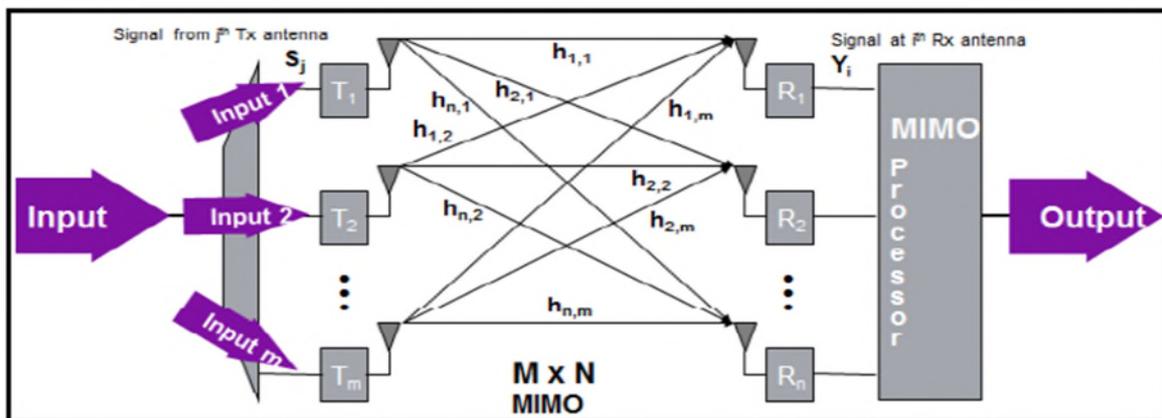


Figure 1.8. Présentation générale du système MIMO [10]

L'émetteur et le récepteur possèdent plus d'une antenne et en utilisant la puissance de traitement disponible à l'une ou l'autre extrémité de la liaison, ils sont capables d'utiliser les différents chemins qui existent entre les deux entités pour fournir des améliorations du taux de signal sur bruit des données plutôt que de provoquer des interférences. Les systèmes MIMO exploitent les techniques de : [9]

- Diversité d'espace : diversité d'antenne.
- Diversité fréquentielle : cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- Diversité temporelle : lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps (cohérence du canal).

### 5. La pile protocolaire des réseaux LTE

Le LTE fonctionne sur un système à couches entre UE, l'eNB et MME. Chaque couche communique avec son équivalente de même niveau. La pile protocolaire de LTE se divise en deux plans : le plan utilisateur et le plan de contrôle. Le plan utilisateur est composé du protocole PDCP(Packet Data Convergence Protocol) au niveau de la couche 3 suivi par RLC(Radio Link Control) et MAC(Media Access Control) au niveau de la couche 2. Le plan de contrôle ajoute le RRC(Radio Resource Control) et le NAS(Non-Access Stratum) au niveau de la couche 3. Ces deux plans sont représentés dans la figure 1.9. [12,13]

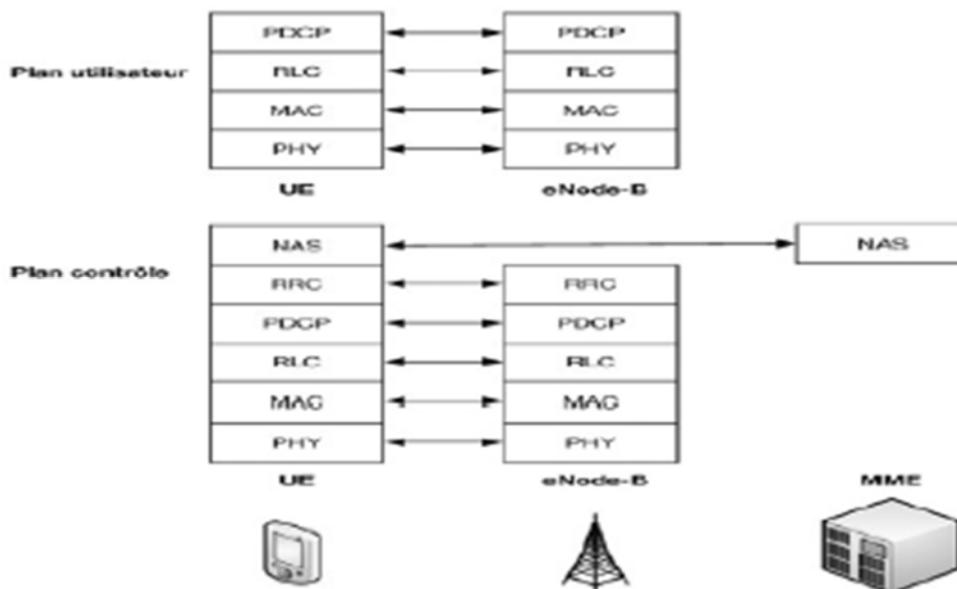


Figure 1.9. Positionnement des couches protocolaires. [12]

#### 5.1 La couche NAS

C'est la couche réseau communiquant entre l'utilisateur et le MME gérant l'établissement des appels et la gestion de la mobilité.

### 5.2 La couche RRC

Comme son nom l'indique, le RRC est chargé de contrôler les ressources afin de garantir la qualité de service (QoS). Deux états sont possibles : RRC\_IDLE (pas d'équipement connecté) ou RRC\_CONNECTED. C'est un protocole en mode connecté qui fonctionne en étapes.

Une demande est effectuée par l'utilisateur au réseau E-UTRAN (RRC CONNECTION REQUEST), qui accepte (RRC CONNECTION SETUP) ou refuse la connexion (RRC CONNECTION REJECT). En cas d'acceptation, l'utilisateur renvoie un RRC CONNECTION SETUP COMPLETE et la connexion est établie.

### 5.3 La couche PDCP

La sous-couche PDCP permet de compresser les données. Cela permet d'exploiter plus efficacement les ressources radio. De plus, cette sous-couche PDCP a aussi pour rôle de rendre indépendants les protocoles radio du réseau d'accès UTRAN (sous-couches MAC et RLC) par rapport aux couches de transport réseau. Ce type d'architecture permettra l'évolution future des protocoles réseaux sans modifier les protocoles radio de l'UTRAN.

### 5.4 La couche RLC

La sous-couche RLC regroupe des fonctions indépendantes de la couche physique, telles que : remise en ordre des paquets, détection de perte et demande de retransmission. Il y a trois modes de fonctionnement: TM (Transparent Mode), UM (Unacknowledged Mode), et AM (Acknowledged Mode). RLC n'ajoute rien au paquet original dans le mode TM. La couche peut détecter des pertes et remettre en ordre des paquets dans le mode UM. Enfin, dans le mode AM, l'entité RLC peut demander à l'autre bout de retransmettre le paquet.

### 5.5 La couche MAC

La sous-couche MAC est en charge du multiplexage des données sur les canaux de transport radio. En effet, il multiplexe différents flux de données issus d'un même utilisateur sur un canal de transport unique, et dans le cas de données issus d'utilisateurs différents, il se charge de les multiplexer sur un canal de transport commun.

### 5.6 La couche physique

La couche physique de l'interface radio réalise les fonctions de modulation, de codage canal, et de contrôle de puissance. En outre, elle est basée sur la technique OFDMA en lien descendant et SC-FDMA en lien ascendant. [13]

#### 5.6.1 Structure de la trame LTE

Les structures de trames pour LTE diffèrent entre les modes duplex TDD et FDD, car il y'a des exigences différentes sur la séparation des données transmises.

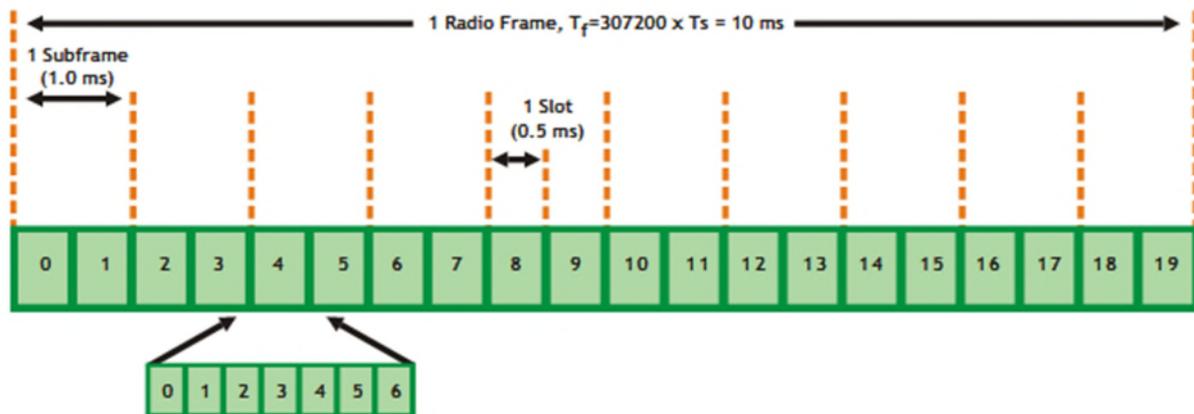
Il existe deux types de structures de trames LTE :

- Type 1 : utilisé par les systèmes opérant en mode LTE FDD
- Type 2 : utilisé par les systèmes opérant en mode LTE TDD

##### 5.6.1.1 Mode de duplex par séparation de fréquence(FDD )

La structure de trame LTE de type 1 ( mode LTE FDD) est illustrée dans la figure 1.11. Le système FDD utilise des canaux issus des mêmes fréquences, dans lesquels les flux d'information sont identiques dans le sens montant et descendant.

Chaque trame de durée 10 ms est divisée en 10 sous-trames égales de durée 1 ms appelées TTI (Transmission Time Interval). Chaque sous-trame consiste en deux slots. Dans le FDD, la transmission en lien ascendant et la transmission en lien descendant sont séparées dans le domaine fréquentiel et chacune d'elles dispose de dix TTI. [14]

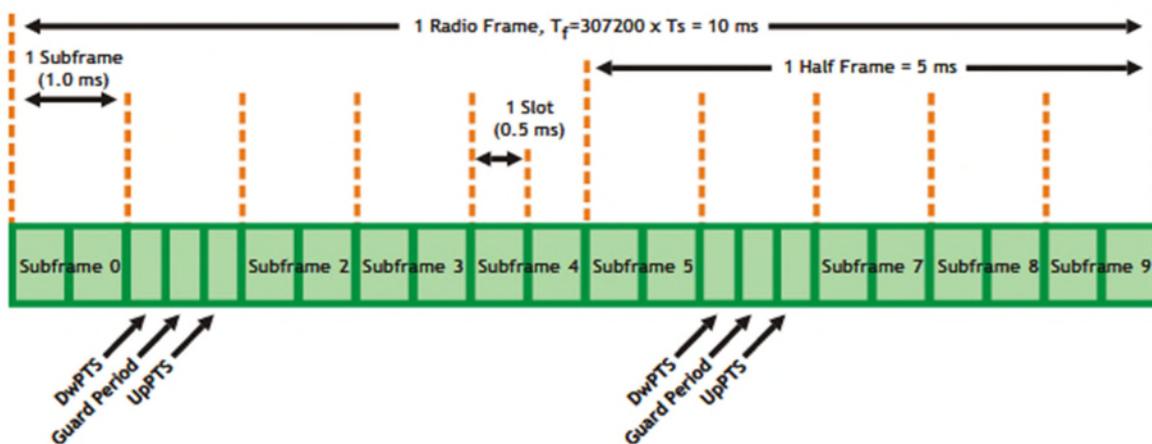


7 Symbols = 1 Resource Block = 1 Slot

**Figure 1.10.** Structure d'une trame de type 1 (FDD) [14]

## 5.6.1.2 Mode duplex par séparation de temps (TDD)

La structure de trame LTE de type 2 (mode LTE TDD) est illustrée dans la figure 1.12. Le système TDD permet l'utilisation d'un seul canal dédié à l'émission et la réception, qui sont séparés en temps. Chaque trame de durée 10 ms est divisée en deux demi-trames de 5 ms. Chaque demi-trame consiste en une sous-trame spéciale et de 4 autres sous-trames. La sous-trame spéciale est de durée 1 ms et se compose de trois champs DwPTS, GPet UpPTS. Chaque des 4 autres sous-trames se compose de deux slots de durée 0.5 ms.



**Figure 1.11.** Structure d'une trame de type 2 (TDD) [14]

- DwPTS ( Downlink Pilot Time Slot) : utilisé pour la synchronisation download.
- GP (Guard Period) : Assure la transmission de UE sans avoir des interférences entre UL et DL.
- UpPTS (Uplink Pilot Time Slot) : utilisé par eNB pour déterminer le niveau de puissance reçu et la durée de la puissance de l'UE.[14]

### 7.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différentes composantes du réseau LTE. Nous avons aussi présenté les caractéristiques de la technologie LTE ainsi les techniques d'accès utilisées.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons d'abord un rappel sur les réseaux hétérogènes et les différents types d'interférences. Ensuite, une vue globale de la coordination ICIC (Inter-cell interference coordination) sera exposée. Nous décrivons par la suite SFR (Soft Frequency Reuse), une des techniques d'ICIC qui est la plus répandue dans les technologies actuelles pour la gestion de l'interférence.

**CHAPITRE 2 :**  
**INTERFERENCES DANS LTE**

## 1.Introduction

L'OFDMA est considérée comme une technique d'accès prometteuse pour la liaison descendante de l'interface air de la prochaine génération de systèmes de communication mobile. Elle dispose d'une bande passante évolutive, une haute efficacité spectrale et une grande souplesse d'accès multi-utilisateur. Cependant, si la ressource en fréquence est universellement utilisée dans chaque cellule du réseau, pas d'inter-BS (station de base) macro diversité et pas de contrôle de l'alimentation n'est adopté, les utilisateurs au bord de la cellule ont inévitablement une faible intensité du signal, et sont le plus à souffrir de l'interférence entre les cellules.

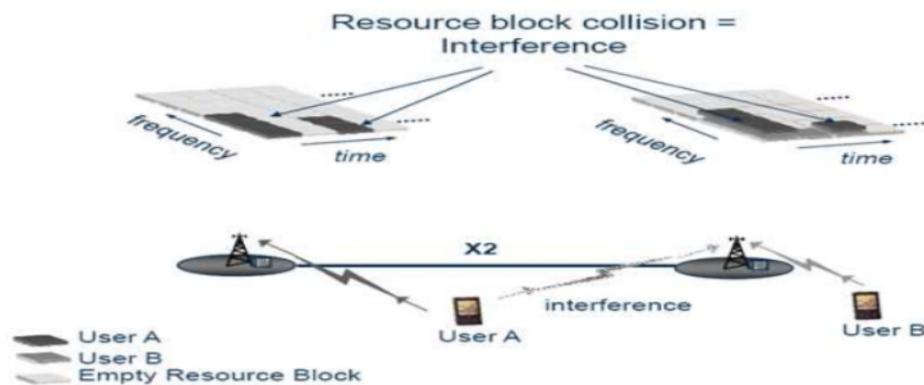
Dans LTE le déploiement de réseaux hétérogènes sont prises en charge afin d'améliorer la capacité des cellules, la couverture cellulaire de l'utilisateur et d'optimiser les performances du réseau. Ainsi dans ce déploiement, nous retrouvons des nœuds de faible puissance. Cependant, ceci donne lieu à des problèmes d'interférence entre les cellules.

Cependant, ICIC (inter-cell interference coordination) a introduit de nouvelles approches pour éviter les interférences entre les cellules sur les deux canaux de données et de contrôle de la liaison descendante. Les approches sont divisées en domaine temporelle (ABS) et en domaine fréquentielle (FR). La réutilisation de fréquence, tels que SFR peut réduire considérablement la moyenne d'interférences entre les cellules et d'améliorer le SINR (Signal Interference noise Ratio).

Dans ce chapitre, nous citons les différents types d'interférences et le déploiement des réseaux hétérogènes dans LTE. Ensuite, nous présentons ICIC et les différentes techniques adoptées et nous décrivons plus en détails le SFR, une des techniques ICIC les plus répandues dans les technologies actuelles pour la gestion de l'interférence.

## 2.Problématique

Le LTE utilise les mêmes fréquences dans chaque cellule, Cependant une interférence est vue comme étant une collision entre les blocs de ressources de deux cellules voisines, ce qui engendre une dégradation de la valeur de SINR et a un impact négatif sur la qualité de service du réseau. Le schéma de la figure 2.1 illustre un exemple d'interférence en lien descendant causé sur deux mobiles. Supposons que les deux cellules utilisent le même canal de fréquence pour communiquer avec les utilisateurs A et B. Au niveau de l'utilisateur A, deux signaux sont reçus ; le signal utile venant la station à gauche et le signal venant de la station à droite qui sert l'utilisateur B. Dans ce cas le signal destiné à B est perçu par A comme étant de l'interférence.



**Figure 2.1.** Interférence cellulaire en lien descendant [15]

## 3. Types d'interférences

Une caractéristique intrinsèque du service cellulaire est que sa couverture s'étend sur une vaste zone, typiquement des pays de milliers ou de millions de kilomètres carrés. Il est donc impossible de réaliser cette couverture avec un seul émetteur. En moyenne les réseaux cellulaires ont des émetteurs tous les kilomètres ou moins selon la densité d'utilisateurs. En ce qui concerne la perte de trajet, plus l'émetteur est proche plus le signal reçu est fort. Chaque émetteur a une zone de couverture appelée cellule mais les signaux sans fil ne s'arrêtent pas lorsqu'ils atteignent le bord de la cellule ils voyagent dans l'espace en créant des interférences sur les cellules voisines. Ainsi si tous les émetteurs d'un réseau cellulaire émettent des signaux

en même temps sur la même bande de fréquence, de nombreux types d'interférences peuvent être trouvés dans la littérature mais il vaut la peine d'en faire une classification approximative les réseaux cellulaires focalisés [15] :

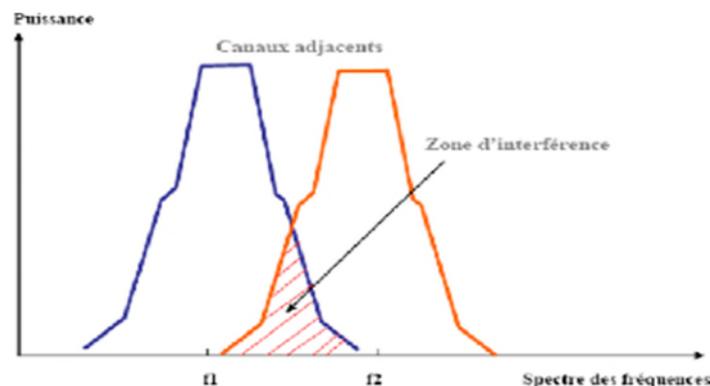
### 3.1 Interférences intracellulaires

#### 3.1.1 Interférence Entre Symboles IES (Inter-Symbol Interference ISI)

L'interférence inter symboles (IES) est une forme de distorsion du signal qui a pour effet que le symbole transmis précédemment affecte le symbole actuellement reçu. C'est en principe un effet non désiré car l'effet du caractère précédent agit comme du bruit, ce qui rend la communication moins fiable.

#### 3.1.2 Interférence de canal adjacent

L'interférence de canal adjacent est la quantité d'énergie qui est transmise dans des canaux adjacents par des émetteurs fonctionnant dans leur canal assigné. La quantité d'interférence de canal adjacent perçue par un récepteur est fonction des caractéristiques du filtre de l'émetteur et du récepteur et du nombre d'émetteurs fonctionnant dans la zone.



**Figure 2.2.** Interférence canal-adjacent [15]

Plusieurs efforts sont dus pour éliminer ces types d'interférence comme OFDM et le préfix cyclique.

### 3.2 Interférence intercellulaire

Les interférences intercellulaires(ICI) sont des interférences induites par des signaux émis sur la même porteuse. Ceci se produit quand un point de la zone de couverture reçoit plusieurs signaux provenant de différents BTS et émis sur la même fréquence. L'approche ICIC est une solution adoptée pour diminuer ce type d'interférence, il sera détaillé par la suite. [15]

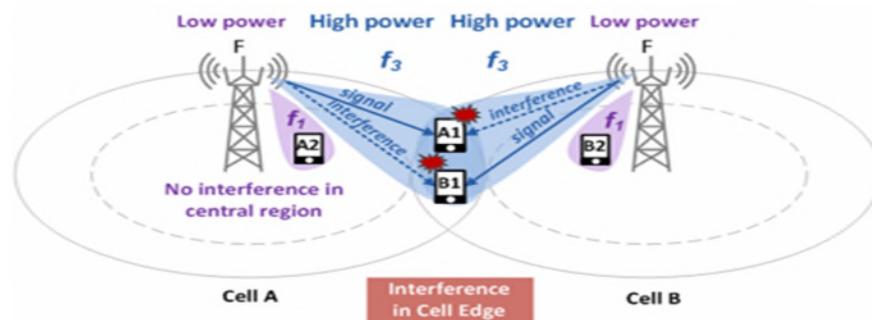


Figure 2.3. Interférence intercellulaire. [15]

## 4. Le réseau hétérogène HetNet

Celui-ci correspond à un réseau cellulaire de plusieurs niveaux en vue d'améliorer la couverture, dont la manière la plus simple est l'introduction de petites stations à faible puissance, non couteux et à courte portée. Leur rôle est de remplir les zones qui ne sont pas couvertes par le réseau macro afin d'offrir de meilleurs services aux usagers.

Le réseau hétérogène est constitué d'une cellule Marco en combinaison avec soit la pico ou la femto ou bien les relais. Un bref aperçu des cellules femtos, picos et macro est présenté ci-dessous. [15,16]

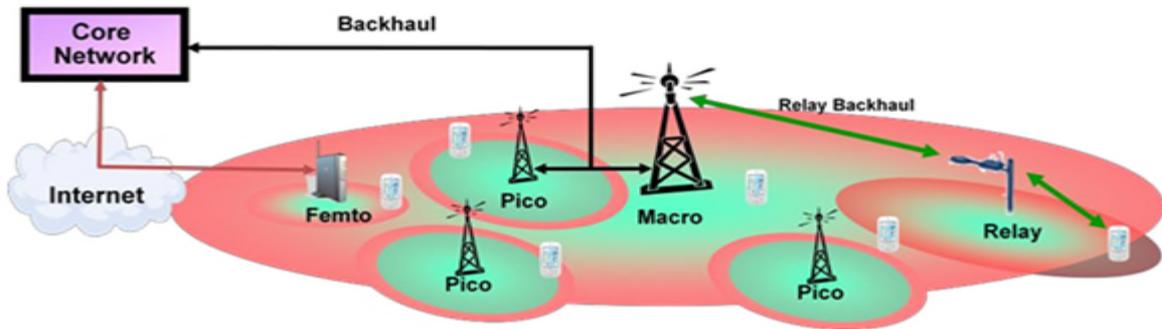


Figure 2.4. Réseau hétérogène [16]

#### 4.1 La cellule marco

La cellule macro est définie comme étant l'élément de base du système cellulaire, conçue pour offrir une couverture radio limitée, elle a une largeur allant de quelques centaines de mètre à quelque Km. Cette couverture est assurée par des antennes de forte puissance de transmission.

#### 4.2 La cellule pico

Pico eNB (Pico-cell) est une station de base avec faible transmission de puissance (23 à 37 dBm), ayant les mêmes caractéristiques que la Macro. En raison de la faible puissance d'émission, seulement un petit nombre d'utilisateurs sont associés à Pico.

#### 4.3 La Cellule femto

Femto eNB (Femto-cell) est une station de base de faible puissance avec transmission de moins de 23dBm et installé par les utilisateurs. La cellule femto donc est une station de base miniature, elle permet d'améliorer la qualité de signal dans les endroits à faible couverture et augmenter le débit de connectivité.

---

#### 4.4 Les différents types d'interférences dans le réseau HetNet

Les différents scénarios d'interférences sont présentés dans le tableau 2.1.

##### 4.4.1 Interférences Co-Tier

Les interférences se produisent entre les entités du réseau qui appartiennent au même niveau dans le réseau. Dans le cas de HetNet, ce type d'interférence se situe entre les cellules femtos voisines. Par exemples, un Femto-UE (agresseur) provoque des interférences co-tier dans le sens montant aux Femto-BSs voisines (des victimes). D'autre part, une station de base femto agit comme une source d'interférence co-tier dans le sens descendant aux FUEs voisins. Cependant, dans les systèmes OFDMA, l'interférence co-tier dans le sens montant ou descendant n'apparaît que lorsque l'agresseur (ou la source d'interférence) et la victime utilisent les mêmes sous-canaux. Par conséquent, une allocation efficace des sous-canaux est nécessaire dans les réseaux HetNets de type OFDMA pour atténuer les interférences co-tier. [17]

##### 4.4.2 Interférences Cross-Tier

Ce type d'interférence se produit entre les entités de réseau qui appartiennent à des niveaux différents ou couches (ou types de cellule situés dans la même région géographique) d'un réseau, c'est-à-dire interférence entre le système femto et le système macro. Par exemple, les FUEs et les Macro-UEs agissent comme une source d'interférence cross-tier dans le sens montant à la station de base macro de desserte et les cellules femtos à proximité, respectivement. D'autre part la station de base macro de desserte et les FBSs provoquent des interférences cross-tier dans le sens montant ou descendant aux FUEs et MUEs à proximité, respectivement. Encore une fois dans les réseaux HetNet de type OFDMA, l'interférence cross-tier dans le sens montant ou descendant ne se produit que lorsque les mêmes sous-canaux sont utilisés par l'agresseur et la victime. [17]

Un résumé des différentes situations d'interférences qui peuvent se produire dans un réseau à deux niveaux comprenant des macro-cellules et Femto-cellules est donné au tableau 2.1.

Agresseurs Victims	Femto Bs	Macro Bs	Femto UE	Macro UE
Femto Bs	N/A	N/A	Co-Tier Downlink	Cross-Tier Downlink
Macro Bs	N/A	N/A	Cross-tier Dwnlink	Co-tier Downlink
Femto UE	Co-tier Uplink	Cross-tier Uplink	N/A	N/A
Macro UE	Cross-tier Uplink	Co-tier Uplink	N/A	N/A

**Tableau 2.1.** Scénarios d'interférences

## 5. Coordination intercellulaire d'interférence (ICIC)

La coordination intercellulaire d'interférence (ICIC) joue un rôle très important dans les réseaux hétérogènes, elle permet donc de réduire les interférences entre cellules qui sont dues à l'utilisation d'une même fréquence en même temps de la part des utilisateurs des différentes cellules. [16,18]

### 5.1 Concept

ICIC est défini dans 3GPP comme une technologie de coordination d'interférences utilisée dans les systèmes LTE. Elle réduit les interférences inter-cellules en ayant des UE, au même bord de la cellule mais appartenant à des cellules différentes, utilisant des ressources de fréquences différentes. Les stations de base qui prennent en charge cette fonction peuvent générer des informations d'interférence pour chaque ressource de fréquence (RB) et échanger les informations avec les stations de base voisines via l'interface X2. Ensuite, les stations voisines peuvent apprendre le statut d'interférence de leurs voisins et allouer des ressources radio (fréquence, puissance Tx, etc) à leurs UE de manière à éviter les interférences entre cellules.

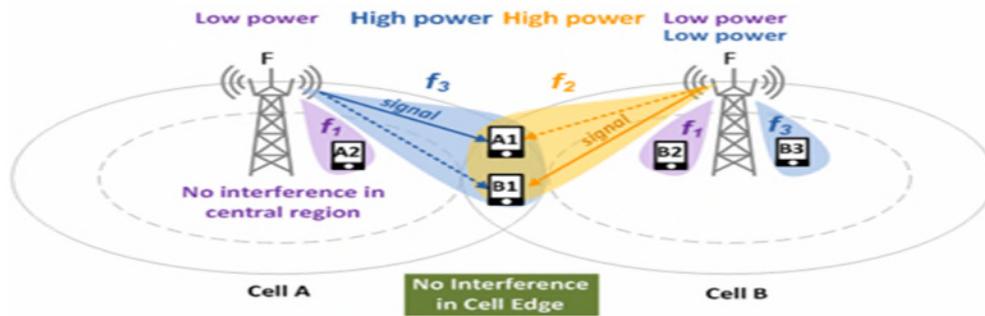


Figure 2.5. Annulation d'interférence. [18]

Trois approches de réduction de l'interférence existent :

- Inter-cell interference randomization : cette approche se base sur une permutation pseudo aléatoire des sous-porteuses afin d'étaler les données de chaque UE à travers la bande passante ce qui permet de diminuer la possibilité de l'interférence.
- Inter-cell interference cancellation: cette approche se base sur la détection de l'interférence ensuite sa soustraction en utilisant plusieurs antennes au niveau du récepteur.
- Inter-cell interference coordination : cette approche se base sur l'application de certaines restrictions pour la gestion des ressources d'une façon coordonnée entre les cellules. Une restriction peut être appliquée sur les ressources disponibles ou sur la puissance de transmission pour un slot et une fréquence donnée ce qui permet d'améliorer le SINR et le débit au bord des cellules.

## 5.2 ICIC réactif et ICIC proactif

Nous distinguons entre deux approches de coordination intercellulaire pour la gestion des interférences :

1. les méthodes proactives empêchent les collisions par l'allocation des PRBs qui ne sont pas utilisés par les autres cellules voisines ou qui ne sont pas sensibles à l'interférence (Utilisées par les UEs proches des eNBs).
2. les méthodes réactives sont déclenchées par des situations de surcharge c.à.d. dans le cas où il y a beaucoup d'interférences dans un PRB. [18]

### 5.3 Techniques d'ICIC

Plusieurs techniques sont proposées pour atténuer les interférences entre les cellules qui a un impact négatif sur la performance des réseaux LTE. Nous distinguons entre les techniques conçues pour le domaine temporel et celles qui sont conçues pour le domaine fréquentiel (voir figure 2.6).

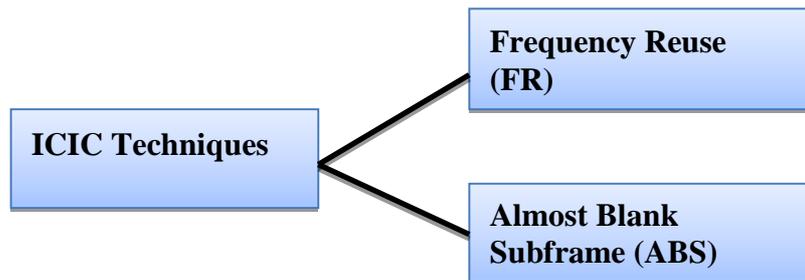


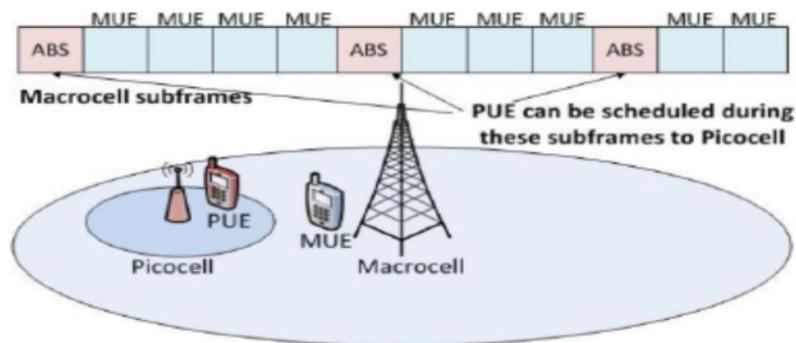
Figure 2.6. Techniques d'ICIC

#### 5.3.1 Domaine temporel

Dans des scénarios cellulaires hétérogènes avec des macro-cellules, Les femto-cellules ou les utilisateurs de Pico-Cellules peuvent souffrir d'interférence entre les couches du même canal. Pour gérer cette interférence, 3GPP a introduit une technique où une cellule, par exemple une cellule macro, arrête d'émettre à certaines sous-trame afin que d'autres cellules, par exemple, une cellule femto/pico, peut transmettre le signal au cours de cette période. Mais parfois arrêter complètement la transmission du signal cause certains problèmes. Il serait donc recommandé de transmettre le signal à très faible puissance au lieu d'arrêter complètement la transmission. Ces sous-trame à très faible puissance du signal sont appelées Almost Blank Subframe (ABS). [15]

### 5.3.1.1 AlmostBlankSubframe (ABS)

L'idée de base de cette technique est de couper certaines sous-trames de certaines cellules afin de réduire l'interférence avec les autres cellules. Nous appelons, une cellule qui provoque interférence aux UE d'une autre cellule une cellule agresseur et le dernier la cellule victime; les UE qui sont interférés sont appelés les UE victimes. Les sous-trames configurées par une cellule agresseur doivent être totalement vide afin de réduire l'interférence autant que possible (voir figure 2.7). [15]



**Figure 2.7.** Technique Almost Blank Subframe (ABS). [15]

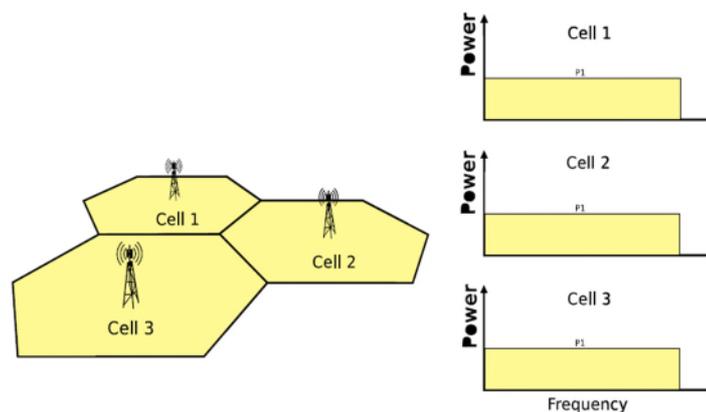
### 5.3.2 Domaine fréquentiel

L'énorme augmentation du nombre d'abonnés mobiles, les progrès de la technologie dans l'industrie de l'UE et la prolifération d'applications mobiles ont conduit à l'utilisation de réutilisation des fréquences. L'objectif est d'utiliser toutes les fréquences disponibles pour faire face à l'énorme besoin de données dans les réseaux mobiles. Le principal inconvénient des systèmes de réutilisation de fréquence universelle est ICI causé par les transmissions simultanées sur la même fréquence prévue des ressources par les stations de base à proximité. ICI réduit l'efficacité du spectre, diminue le débit moyen, et à un impact négatif sur la qualité de services d'un réseau. Ainsi, les opérateurs ont un grand intérêt dans la mise en œuvre de techniques d'ICIC pour augmenter la rentabilité du spectre, La capacité et la couverture au

bord des cellules. Une variété de modèles de réutilisation des fréquences inexistante et les plus répandus sont exposés dans la suite de cette section. [18]

### 5.3.2.1 Full Frequency Reuse (Reuse 1)

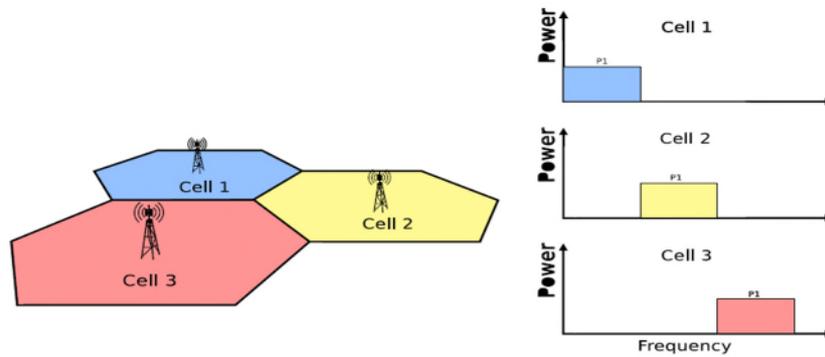
FR1 signifie qu'aucun partitionnement de fréquences n'est effectué entre les eNB de même réseau. Les eNB dans cette configuration transmettent avec une puissance uniforme sur l'ensemble de la bande passante du système. C'est la manière conventionnelle d'exploiter un réseau LTE. L'écueil principal à cette configuration est que les utilisateurs de bord de la cellule subissent de fortes interférences de cellules voisines dans la liaison descendante et créent l'interférence dans la liaison montante, ce qui dégrade les performances de communication. La figure 2.8 montre la distribution de puissance de FR1.



**Figure 2.8.** Contrôle de puissance dans le cas FR. [18]

### 5.3.2.2 Hard Frequency Reuse (Reuse 3)

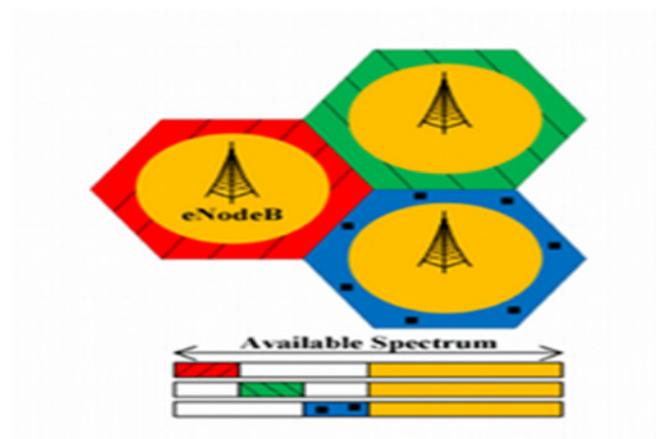
Cette méthode ICIC est généralement vue dans les réseaux GSM, quand il s'agit de la distribution de fréquences parmi les cellules. Ces derniers sont regroupés en cluster. La bande passante disponible est divisée en sous bandes disjointes et chaque sous bande est attribuée à une seule cellule de cluster, de telle sorte que les cellules voisines n'utilisent pas le même jeu de fréquences. Cela réduit l'interférence au bord de la cellule. La figure 2.9 indique la distribution de puissance de HFR.



**Figure 2.9.** Contrôle de puissance dans le cas HFR. [18]

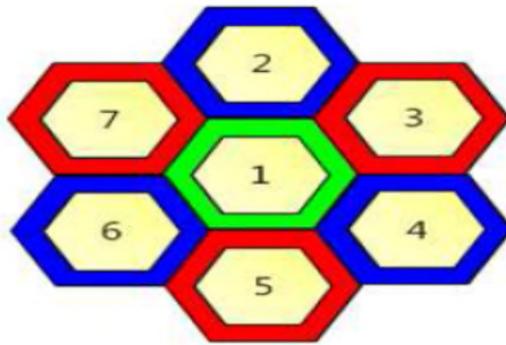
### 5.3.2.3 Fractional Frequency Reuse (FFR)

Il consiste à diviser le spectre en deux parties différentes pour réutilisations de fréquence. Une section du spectre du système est utilisée dans toutes les cellules, tandis que l'autre partie du spectre est divisée entre différents eNBs. L'idée est que l'eNB serait affecter les fragments de fréquence entièrement réutilisés à cell-center UEs et les autres morceaux à la cell-edge UEs. Une planification de fréquence de FFR appliquée dans un système hexagonal est représentée sur la figure 2.10.



**Figure 2.10.** Technique FFR. [18]

Pour ce modèle, nous distinguons la stratégie Partial Frequency Reuse (PFR) où les cellules sont regroupées en cluster. Les utilisateurs à côté des eNBs utilisent la même bande passante (Reuse 1). Cependant au niveau des frontières, le spectre disponible est divisé en des sous-bandes de fréquences non chevauchées selon le nombre de cellules dans le cluster. Les utilisateurs au bord de cellule ne peuvent utiliser que la sous-bande qui correspond à leur cellule (Reuse 3). La figure 2.11 illustre un schéma utilisant Reuse 1 dans la zone centrale et Reuse 3 dans la zone frontalière.



**Figure 2.11.** Schéma descriptif de la répartition de ressources dans le cas de PFR. [18]

#### 5.3.2.4 Soft Frequency Reuse:

La réutilisation de fréquence souple (SFR) est considérée comme l'une des stratégies de planification de la fréquence les plus efficaces pour atténuer l'interférence intercellulaire dans les systèmes cellulaires. Elle a d'abord été introduite dans le GSM puis a été adoptée dans le cadre 3GPP LTE dans le but de fournir des performances plus élevées pour les utilisateurs à proximité de la limite de la cellule.

Dans SFR, 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 centres de cellules et les utilisateurs de bord de cellule, 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. Une planification de fréquence de SFR appliquée dans un système hexagonal est représentée sur la figure 2.12 (côté gauche), où les utilisateurs du centre de cellules peuvent utiliser toute la bande de fréquence mais les utilisateurs bord de cellules n'utilisent qu'une bande de fréquence partielle sans chevauchement avec les cellules adjacentes. Les utilisateurs de bord de cellule doivent transmettre à un niveau de puissance plus élevé afin d'améliorer leurs débits, alors que les utilisateurs du centre de cellule peuvent transmettre avec une puissance réduite. Figure 2.12 (côté droit) montre la distribution de puissance de SFR.

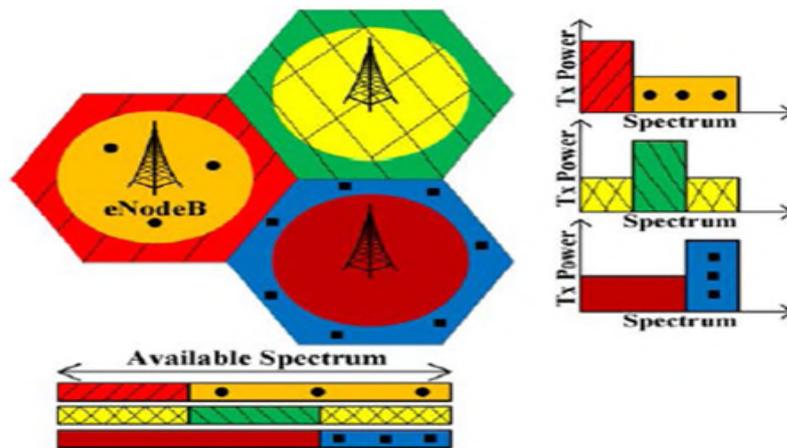


Figure 2.12. Contrôle de puissance dans le cas SFR. [21]

SFR est une autre technique statique où la distribution 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) de UE $k$  sur RB $n$  dans la cellule  $i$  est donné par:

$$SINR_{k,n}^i = \frac{P_n^i \cdot G_{k,n}^i}{\sum_{j \neq i} P_n^j \cdot G_{k,n}^j + P_{TN}}, \quad (1)$$

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:

$$R_{k,n}^i = f(\text{SINR}_{k,n}^i), \quad (2)$$

Où  $f(\cdot)$  est la fonction de modulation et de codage adaptatif qui mappe SINR pour évaluer.

Dans chaque cellule une partie du spectre disponible est réservée aux UE de bord de cellule et on lui alloue en permanence la puissance de transmission maximale de la liaison descendante.

Les RB restants sont alloués aux UE au centre des cellules mais avec une puissance de transmission inférieure. De plus, il n'y a pas de spectre commun alloué aux UE de bord de cellule des cellules adjacentes.

Nous définissons aussi  $\overline{\text{SINR}_k^i}$  comme le SINR à large bande moyen pour l'UE $k$  servi par eNB $i$ . C'est la valeur moyenne de  $\text{SINR}_{k,n}^i$  pour l'UE considéré sur tous les RB disponibles. Cette variable nous donne des informations sur la qualité moyenne des canaux, les conditions radio, et ICI pour UE $k$ , puisque SINR est une fonction de la puissance reçue utile et de la puissance reçue interférente. Au lieu d'utiliser des positions géographiques, les valeurs SINR moyennes à large bande sont utilisées pour classer les UE. Si le SINR moyen d'UE est inférieur à une valeur SINR prédéfinie appelée  $\text{SINR}_{\text{eff}}$ , il est considéré comme une mauvaise condition radio (Bad Radio BR) UE, sinon il est classé comme de bonnes conditions radio (Good Radio GR) UE. [21,22]

**6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié des approches de gestion des interférences dans le réseau LTE. Avec l'utilisation des techniques d'ICIC, nous avons montré que les interférences entre les cellules peuvent être réduites pour améliorer les performances du réseau LTE.

Le chapitre suivant sera consacré à la simulation et à l'ajustement des différents paramètres caractérisant la technique SFR afin de réduire les interférences existantes et d'optimiser le débit dans un réseau LTE.

**CHAPITRE 3 :**  
**SIMULATION SOUS NS-3 DE SFR**  
**POUR LA COORDINATION ICI**

## 1. Introduction

La problématique étudiée dans ce mémoire est la simulation des performances de SFR qui est une technique de coordination intercellulaire pour la gestion des interférences dans un réseau LTE. Pour cela, nous avons utilisé le simulateur NS-3. Ainsi, nous présentons dans ce qui suit le simulateur NS-3 puis nous décrivons la mise en œuvre de la simulation. Notre intérêt est d'étudier l'influence de divers paramètres sur la qualité d'une liaison pour garantir le meilleur débit et une qualité de service acceptable.

## 2. Le Simulateur NS-3

Le simulateur NS-3 vise à remplacer NS-2 pour tenter de remédier à ses limites (l'utilisation de multiples interfaces sur un nœud ...). NS-3 permet d'écrire des scripts en C++ ou en python et peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix, OS X (Mac) et Windows.

Le développement de NS-3 a d'abord commencé en juillet 2006, et devait durer quatre ans. Il est financé par les instituts comme l'université de Washington, Georgia Institute of Technology et le centre de l'ICSI pour la recherche sur Internet. La première version majeure publique et stable a été publiée en juin 2008.

NS-3 a été développé pour fournir une plate-forme extensible de simulation ouverte, utilisé dans le domaine de la recherche de l'éducation.

## 3. Structure et fonctionnement de NS-3

NS-3 peut être installé sur la plupart des systèmes d'exploitation comme Linux, Mac OS, Windows suivant trois étapes : le téléchargement, la compilation et la validation. Son fonctionnement est assez simple. En effet, il consiste en la réalisation d'un script contenant la topologie définie à travers : les nœuds, le canal, et les interfaces réseau, la configuration des piles de protocoles et des applications ainsi que les attributs choisis. Ainsi, une fois le script mis en place, son exécution est effectuée. On pourra alors procéder à l'analyse des résultats.

## 4. Terminologie et abstractions

Il est important de bien comprendre le sens des termes qui sont couramment utilisés dans les réseaux, ainsi que les abstractions qui ont été faites, mais ont une signification particulière dans NS-3. Voici les principaux. [19]

### 4.1 Nœud

Un nœud est utilisé pour représenter tout élément de réseau. Il représente une unité de base. Tout comme l'ordinateur, on peut y ajouter des fonctionnalités comme des applications, des piles de protocoles et les cartes périphériques. Dans notre travail les nœuds sont les eNode et le UE.

### 4.2 L'application

L'application est la partie logicielle du nœud, elle utilise les ressources physiques disponibles au niveau des nœuds afin de réaliser les tâches qui lui a demandées. Dans NS-3, l'application est utilisée afin de générer des flux de données au niveau des nœuds. Elle est représentée par la classe du même nom servant de base à la création de nouvelles applications.

### 4.3 Le canal

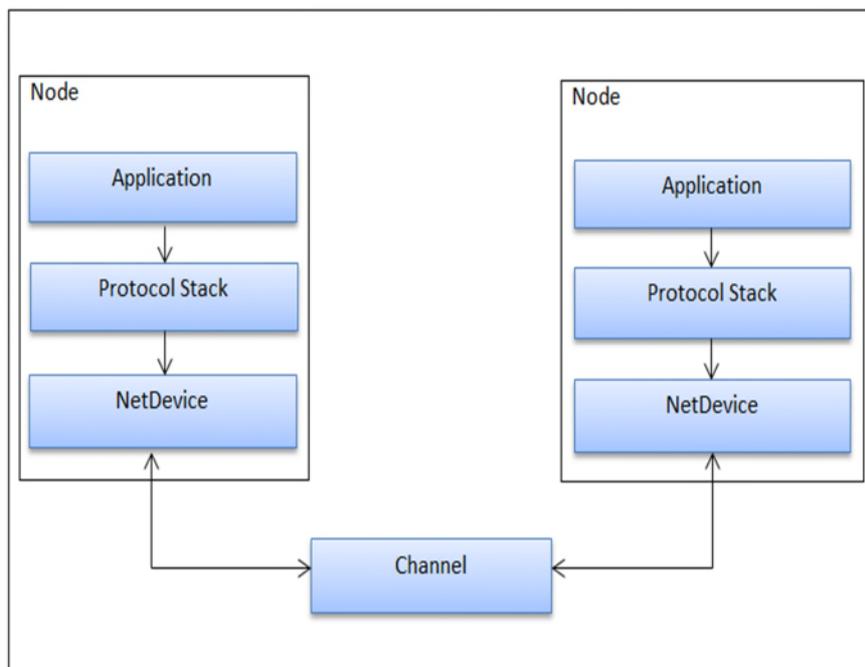
Il représente le media utilisé pour la communication entre deux nœuds. Il permet de gérer les éléments de communication du sous-réseau et la connexion des nœuds à ces derniers. Des spécialisations de cette classe sont définies, comme par exemple *LTEChannel* pour modéliser un réseau LTE.

### 4.4 Les interfaces de communication

Appelée *NetDevice*, qui modélise à la fois les équipements et les pilotes de la communication. Des spécialisations sont fournies comme par exemple *LTE-NetDevice* qui peut être relié à un *LTEChannel*. Le protocole stack représente la pile de protocoles utilisés durant la simulation (exemple l'IPV4).

#### 4.5 Classe d'aide à la création de topologie (TopologyHelpers)

Afin de constituer un réseau, nous avons besoin de nœuds et de canaux. Comme vu précédemment, chaque nœud devra contenir un élément de réseau. Cet ensemble devra être connecté au canal et devra être configuré adéquatement. Dans le cadre d'un réseau avec des nombres de nœuds élevés, cette tâche peut devenir fastidieuse (NSNAM, 2.13). NS3 offre des classes facilitant la création de topologie qui rendent la tâche plus simple grâce à quelques lignes de code dans le script de la simulation. Cette fonctionnalité s'étend aussi à la création d'autres éléments du système. Chaque module de la figure 3.2 en possède une classe d'aide à la création de ces divers éléments (topologies, nœuds, canaux, etc.).



**Figure 3.1.** Architecture du nœud NS-3. [19]

NS-3 est formé de plusieurs modules comme on peut le voir sur la figure 3.2. Dans le cas de nos travaux, nous nous attardons plus sur le module LTE.

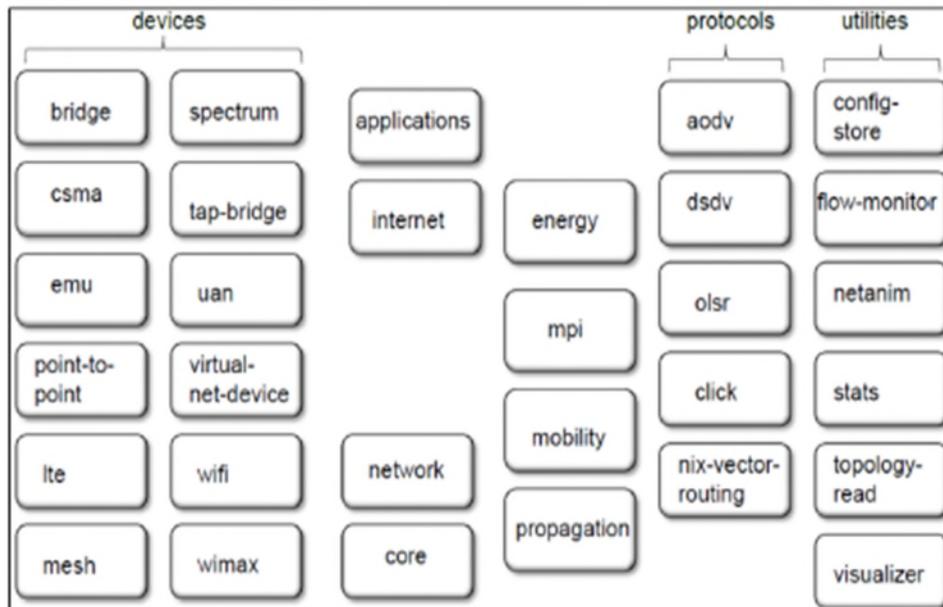


Figure 3.2. Les modules disponibles dans NS-3. [19]

## 5. Installation du simulateur NS-3

Pour installer NS-3 nous devons avoir une interface Linux, et cela se fait soit en installant Linux directement sur la machine ou bien en utilisant une machine virtuelle (VM VirtuelBox).

Commençons d'abord par télécharger le dossier NS-3

- Cd
- Mkdir NS-3
- Cd NS-3
- Wegeth<http://www.nsnam.org/release/ns-allinone-3.27.tar.bz2>
- tar xjf ns-allinone-3.27.tar.bz2

Pour l'installation de NS-3, nous allons utiliser le fichier exécutable *build.py* qui se trouve dans le répertoire ns-3.27

`./build.py --enable-examples --enable-tests.`[20]

## 6. Mise en place d'une simulation sous NS-3

Premièrement, nous avons utilisé une machine virtuelle (VM VirtualBox) sur laquelle nous avons installé le système Linux (ubuntu 17.04). La figure 3.3 montre les différentes étapes de démarrage du VM VirtualBox.

Nos simulations ont été réalisées sous le simulateur NS-3 (version 3.27), qui possède un module qui permet de simuler le réseau LTE avec une variété de mécanismes de qualité de services.

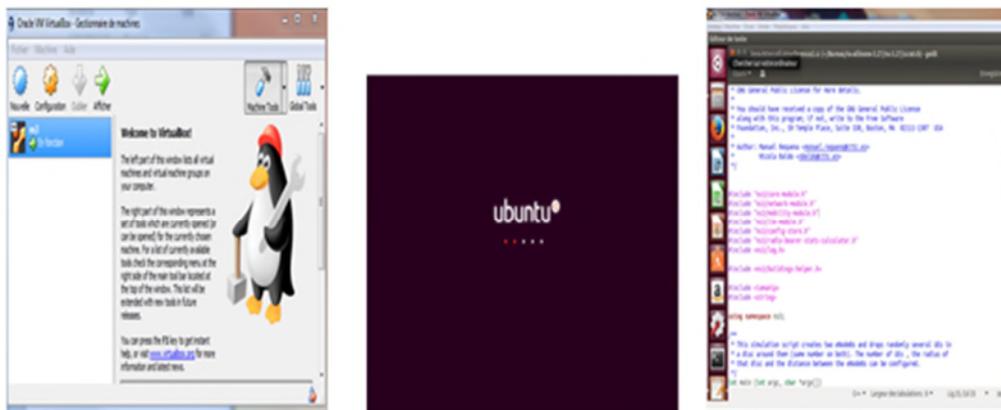


Figure 3.3. Utilisation de NS-3 sous Ubuntu

## 7. Déroulement de la simulation

La simulation avec NS-3 débute par la modélisation du test à effectuer. Ainsi, une fois celle-ci réalisée, le système modélisé est transformé en script utilisé pour sa transmission au simulateur. La simulation peut y être alors exécutée afin d'en extraire les résultats. Le script est réalisé à partir de deux langages : le c++ ou le python. Pour des considérations de flexibilité, notre choix s'est porté sur le langage c++.

Voici les démarches de déroulement d'une simulation, telle qu'illustrées a la figure 3.4.

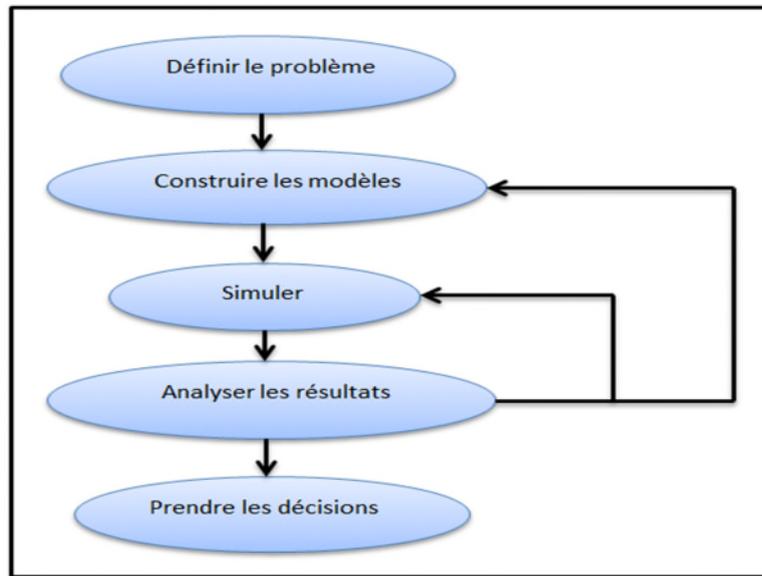


Figure 3.4 : Etapes pour la réalisation d'une simulation.

### 8. Scénario

Dans notre projet nous avons créé un réseau LTE composé de 2 eNB (nous avons fixé la distance entre les eNB à 1000m), des UEs au bord de cellule et des UEs centraux (près de chaque eNB). Nous varions également le nombre d'UE (de 2 à 10). L'algorithme SFR et FR1 (Reuse1) est installé dans chaque eNB afin de pouvoir comparer entre elles.

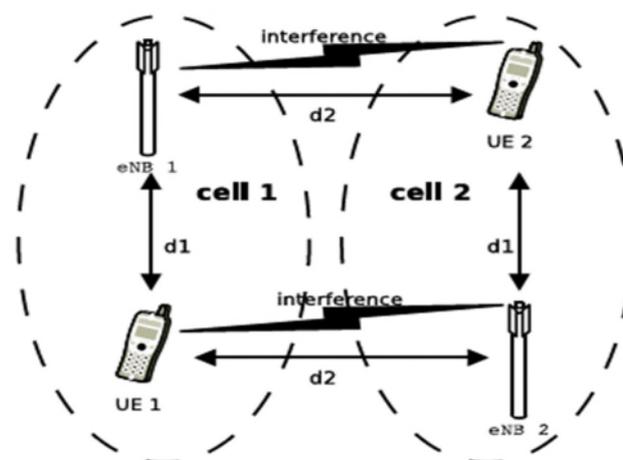


Figure 3.5. Scénario simulé

## 9. Indicateurs utilisés dans la simulation

La norme LTE définit des indicateurs de qualité qui servent à mesurer la qualité de transmission en liaison descendante (Down-Link) et ascendante (Up-Link). Parmi ces indicateurs nous pouvons citer le Débit, SINR (Signal Interference Noise Ratio), RSRP (Reference Signal Received Power) et la perte de paquets.

### 9.1 Le Débit

C'est la quantité d'informations transmise via un canal de communication sur un intervalle de temps donné. Le débit d'une connexion internet s'exprime généralement en kbps (kilobit par seconde).

### 9.2 Le SINR

Le rapport signal sur bruit est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information qui s'exprime généralement en décibels (dB). C'est le rapport des puissances entre :

- l'amplitude maximale du signal, déterminé par la valeur maximale de puissance (S).
- le bruit de fond, information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'une information à l'entrée (B).
- la puissance d'interférence (I).

Le SINR est exprimé comme suit :

$$SINR = \frac{S}{B+I} \quad (3)$$

### 9.3 RSRP

RSRP (Reference Signal Received Power) est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique de l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise de la part de l'eNB pour chaque RE (Ressource Element). La mesure s'exprime en watt ou en dBm.

### 9.4 Perte de paquets

Elle correspond aux octets perdus lors de la transmission des paquets. Elle s'exprime en taux de perte. Plutôt rare, elle correspond au nombre de paquet de données qui n'ont pas été reçus par la destination lors d'une communication.

## 10. Résultats et Interprétations

Grace au simulateur NS-3 nous avons pu tester quelques paramètres (SINR, RSRP, taux de perte, Débits) dans le sens Down-Link. Les résultats présentés ci-dessous proviennent des diverses simulations effectuées. Ils peuvent être classés en deux groupes : celles effectués avec Full Frequency Reuse (Reuse 1) et celles avec Soft Frequency Reuse (SFR).

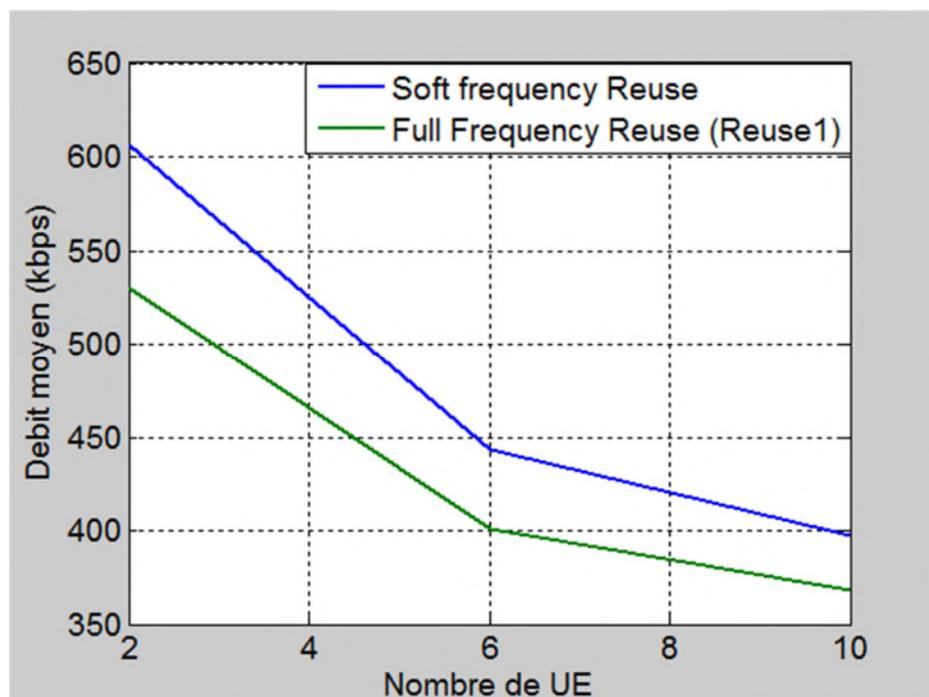


Figure 3.6. Débit moyen en fonction nombre d'UE

La figure 3.6 représente le débit moyen en fonction du nombre d'UE entre un scenario avec SFR et FR1. Sur ce graphe on voit clairement une diminution des débits pour les deux techniques lorsque le nombre d'utilisateurs augmente. D'autre part, on constate que le débit de SFR est supérieur (606.6kbps pour 2 UE et 397.1kbps pour 10 UE) à celui de FR1 (529.8kbps pour 2 UE et 367.8kbps pour 10 UE). Ceci est normal car à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, la probabilité de collision entre les divers signaux émis augmente

aussi. En fait, SFR montre de meilleures performances dû au fait qu'elle est capable de coordonner entre les divers signaux pour minimiser les interférences. SFR est donc la technique la plus adéquate entre les régimes par rapport à ICIC. Elle parvient à augmenter le débit d'UEs, en imposant des restrictions sur l'allocation de puissance de transmission en liaison descendante. SFR réduit ICI pour *bad radio* UEs, et fournit une bande passante suffisante pour *good radio* UEs permettant d'atteindre des débits plus élevés.

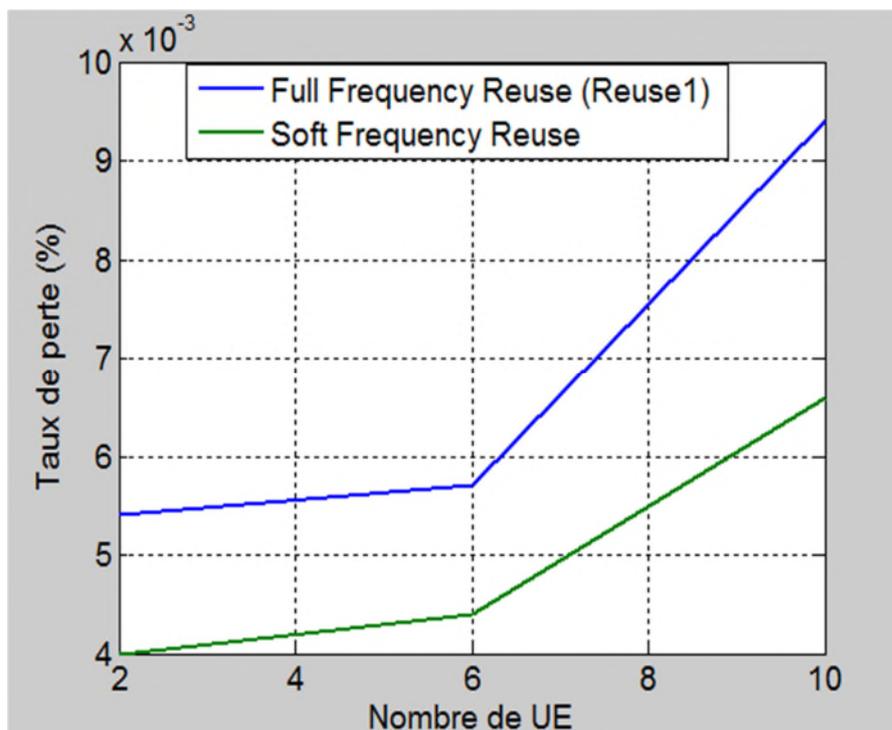
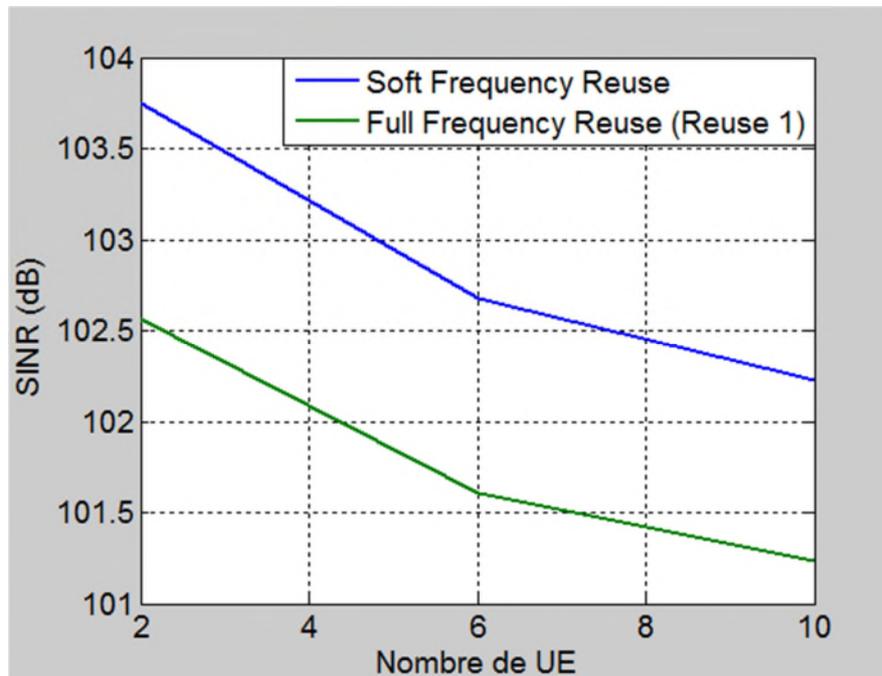


Figure 3.7. Taux perte de paquets en fonction nombre d'UE

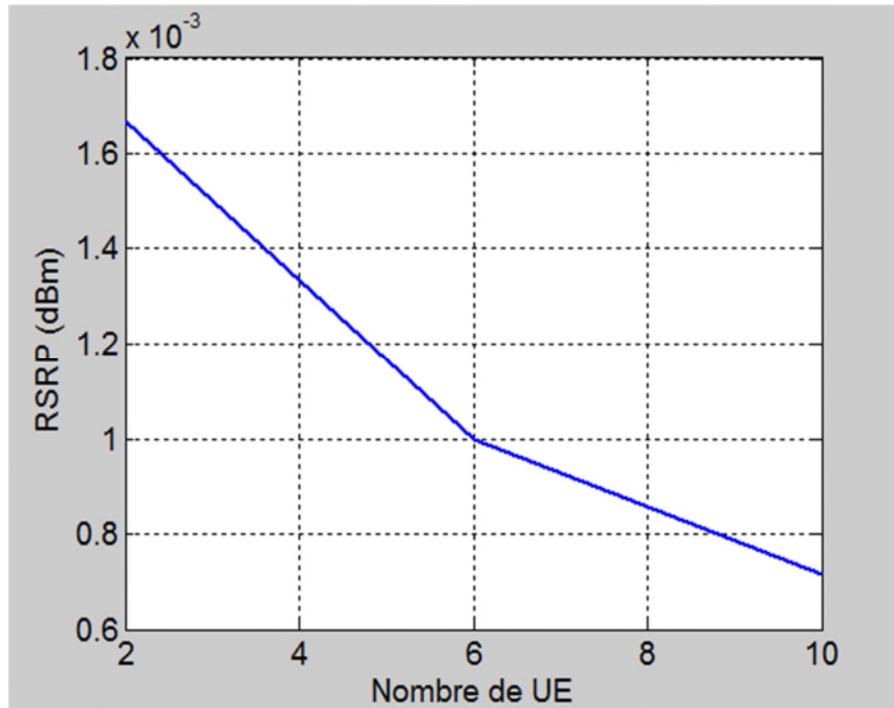
La figure 3.7 représente le taux perte de paquets, en comparant toujours les deux approches citées plus haut. Ce graphe indique clairement qu'en augmentant le nombre d'UE, nous obtenons une augmentation du nombre de paquets perdus. Comme le montre la figure 3.6, lorsque le débit diminue, cela signifie que la capacité des canaux de transmission alloués diminue aussi, entraînant une perte de paquets. Mais comme nous le constatons, SFR montre de meilleures performances grâce à la coordination qu'elle est capable d'introduire. Par conséquent, grâce à l'utilisation de SFR, le taux de perte est plus petit (0.004% pour 2 UE et 0.0066% pour 10 UE) par rapport à FR1 (0.0054% pour 2 UE et 0.0094% pour 10 UE). Cela

se traduit par une diminution du nombre de paquets perdus qui aboutit à une amélioration de la qualité de service.



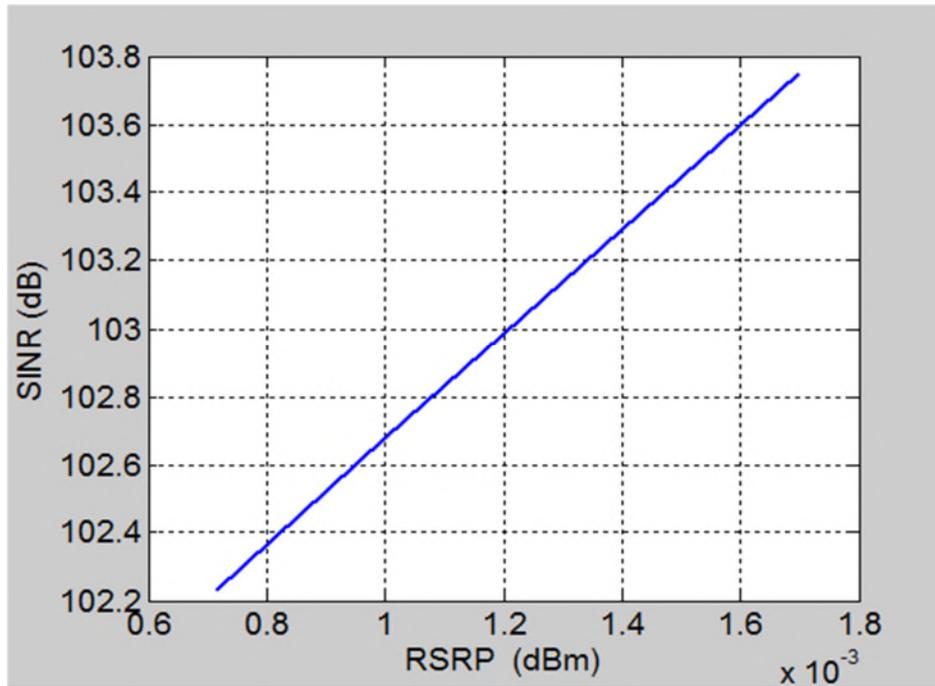
**Figure 3.8.** SINR en fonction nombre d'UE

Pour confirmer que les résultats des figures 3.6 et 3.7 sont effectivement dus à la coordination intercellulaire, nous nous intéressons ici au SINR. La figure 3.8 montre comment le SINR est affectée par la réutilisation de fréquence en fonction de nombre d'UEs. On peut constater que lorsqu'on augmente le nombre d'UE de 2 à 10, le gain d'amélioration SINR de FR1 n'est pas très important par rapport à SFR. Les performances de FR1 sont médiocres par rapport à celles de SFR, parce que le gain en SINR de FR1 ne peut pas compenser la réduction de la bande passante. La technique SFR améliore le SINR de l'UE sans réduire le débit moyen pour l'ensemble du réseau. L'allocation de puissance, stratégie appliquée par SFR, réduit ICI pour l'ensemble des UEs, ce qui améliore les performances globales.



**Figure 3.9.** RSRP en fonction nombre d'UE

Dans la figure 3.9, RSRP (Reference Signal Received Power) qui est la puissance des signaux de référence reçus est représentée en fonction du nombre des équipements utilisateurs (UEs). En effet, le SINR est calculé dans LTE en utilisant RSRP, qui contient les signaux de référence mis en place par le standard spécifiquement pour évaluer la qualité des liaisons. Sur la figure 3.9 nous remarquons que les signaux de référence sont affectés par les interférences autant que le reste des signaux de communication, à mesure que le nombre d'UEs augmente. De plus, sur la figure 3.10, nous voyons clairement que le SINR varie linéairement en fonction du RSRP. Ainsi, par combinaison des résultats présentés par les figures 3.9 et 3.10, nous comprenons clairement l'allure des variations de SINR en fonction du nombre d'UEs qui ont été montrés par la figure 3.8.



**Figure 3.10.** SINR en fonction RSRP (SFR)

## 11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par présenter le simulateur NS-3. Les versions récentes de ce logiciel intègrent le module LTE qui sert grandement pour simuler divers aspects de la technologie LTE. Nous avons aussi présenté un modèle de simulation pour évaluer les performances de la technique de coordination SFR en la comparant à FR1. Les résultats obtenus ont été commentés.

**CONCLUSION  
GENERALE**

## CONCLUSION

---

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux performances des techniques de coordination pour la gestion des interférences dans les réseaux LTE, et en particulier nous avons nos efforts sur la techniques SFR.

Le premier chapitre de ce rapport présente un aperçu des réseaux LTE en se référant aux spécifications de 3GPP. Il expose premièrement une définition de LTE de ses caractéristiques, suivi de l'architecture de ce réseau en décrivant le rôle des différentes entités. Ensuite, les techniques d'accès multi-porteuses et la pile protocolaire ont été exposées. Cette étude a permis de localiser l'entité responsable de la gestion de l'interférence dans LTE.

Le deuxième chapitre donne un aperçu de différents types existant dans un réseau, le déploiement des réseaux hétérogènes et la fonction ICIC en présentant en détails les différentes techniques. Ces solution sont classées en deux catégories : les solutions basées sur la réutilisation des fréquences, une des techniques les plus réponsus étant Soft Frequency Reuse (SFR) et les solutions basées sur Almost Blank Subframe) dans le domaine temporel.

Le troisième chapitre décrit l'environnement et le modèle de simulation adoptés pour tester les performances de la solution proposée (SFR). Ce chapitre contient une description détaillée du simulateur NS-3, ainsi que les résultats de l'étude comparative menée, afin d'évaluer les performances de SFR par rapport à FR1 (Full Frequency Reuse).

Dans cette étude, nous avons proposé un schéma SFR pour les réseaux cellulaires LTE. C'est une stratégie d'annulation des interférences qui se base sur le concept de gestion des blocs de ressources d'une façon à avoir partagé la bande de fréquence pour chaque cluster d'une façon convenable afin de minimiser les interférence entre les cellules. Les simulations au niveau du système montrent que cette stratégie permet de réduire de façon significative l'impact de l'interférence et d'améliorer les performances du réseau LTE, en maximisant le rapport SINR et d'améliorer le débit.

# BEBLIOGRAPHIE

- [1] R. AIT TAHAR et R. KAHLI “*aide à la calibration et planification réseaux 4G/LTE*”, Mémoire de master, Université de Tlemcen, 2016.
- [2] G. Seide, “*Planification d’un réseau 4G à partir d’un réseau 3G*”, Mémoire de Maîtrise en Sciences Appliquées, Ecole Polytechnique de Montréal, 132p, 2011, [En ligne : [https://publications.polymtl.ca/669/1/2011\\_GermineSeide.pdf](https://publications.polymtl.ca/669/1/2011_GermineSeide.pdf)].
- [3] Le MME LTE [En ligne : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Mbolity-management-Entity>]
- [4] The Evolved packet core-3GPP, [en ligne: <https://www.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-core>].
- [5] T. NOVOSAD, L. SERNA, C. JOHNSON, “*LTE radio network planning guidelines*”, Nokia Siemens Networks, 2011
- [6] 3GPP: TS 36.401 v8.12.0, “*LTE, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ; Architecture description release 12*”, Mars 2010.
- [7] 3GPP: Ts 36.401.V8.8.0, “*Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRAN): Architecture description release 8*”, June 2010.
- [8] “*LTE Network Architecture*”, [En ligne: <https://www.tutorialspoint.com/lte/lte-network-architecture-IP-multimedia-subsystem> Fr.wikipedia.org/wiki/Ip-multimedia-subsystem]
- [9] YENNIK BOUGUEN ERIC HADROUIN FRONCOIS-XAVIER WOLFF (LTE et les réseaux 4G), édition groupe Eurolles, 2012, ISBW : 978-2-212-12990-8
- [10] H. HOLMA and A. TOSKALA. “*LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*” John WILEY & Sons, Ltd, 1ère Edition, 2009.
- [11] K.I PERDESON, T.E. KOLDING, F.FREDERIKSEN, I.Z. KOVACS, D.LASELVA and P.E. PRO-GUESEN. “*An overview of downlink radio resource management for UTRAN long term evolution*”. IEEE Communication Magazine, 47 (7), pp. 86-93, 2009
- [12] E. DAHLMAN, S. PARKELL, JHONSKOD, “*4G of LTE-advanced pro and the Road to 5G*”, 2016
- [13] “*Les couches dans LTE*”, [En ligne: <https://wapiti.telecom-lille.fr/>].
- [14] TS 36.300 v8.10.0. “*3GPP E-UTRAN and E-UTRAN over all description stage*”, 2009
- [15] H. EL SHAEK, “*Interference management in LTE-Advanced heterogonous networks using Almost Blank Sabframe*”, Master’s degree project, Université de Tribhuvan, Nepal, 2012.

[16] L. Yang and P.Wen. “*Location Based Autonomous Power Control for ICIC in LTE-A Heterogeneous Networks*”, in Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), IEEE, 2011, pp. 1 –6, Dec. 2011.

[17] O.Rhouma “*Gestion d’interférence dans un réseau LTE hétérogène par contrôle d’admission cognitif*”, mémoire d’obtention de grade, Université de Québec, 2014.

[18] A.Tarki “*Gestion de l’Interférence Radio dans le Système 4G/LTE en Utilisant l’Approche ICIC*”, mémoire de master, Université de la Manouba, 2010.

[19] [En ligne : [www.nsnam.org](http://www.nsnam.org)].

[20] [ [http://www.nsnam.org/wiki/index.php/Installation#Operating\\_system\\_and\\_compiler\\_support](http://www.nsnam.org/wiki/index.php/Installation#Operating_system_and_compiler_support)].

[21] 3GPP and Huawei, “*Soft Frequency Reuse for UTRAN LTE*”, in R1-0505507, TSG RAN WGI Meeting #41, ATLENS Greece, 2005.

[22] 3GPP and Huawei, “*Farther Analysis of soft frequency reuse scheme* in R1-0508481, TSG RAN WG1 #42, San Seoul Korea, 2015.