

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCTATIQUE POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE A. MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE**



**جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa**

**MEMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER**

**Domaine : Science et Technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et Télécommunication
*Présenté par***

**IKHLEF Farid
LATRECHE Sofiane**

**ETUDE ET SIMULATION DES PERFORMANCES DU
PRACH DANS LES RESEAUX 4G/LTE**

Soutenu en date du : 20/09/2020

Devant le Jury

Président	M. M. TOUNSI	MCB U.A.M. Bejaia
Examineur	M.A. MEKHMOUKH	MCA U.A.M. Bejaia
Encadreur	M.M. AZNI	MCA U.A.M. Bejaia
Co-Encadreur	M.Y. OUAZZIZ	Doct. U.A.M Bejaia

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

**Nous remercions tout d'abord notre Co-Encadreur,
Mr. Ouazziz Yacine, pour avoir encadré ce travail avec
beaucoup de sérieux.**

**Merci pour votre patience, votre disponibilité et surtout vos
judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre
réflexion.**

**Veillez trouver dans ces pages une infime partie de notre
infinie reconnaissance.**

**Nous remercions notre Encadreur, Mr. Azni Mohamed,
Pour avoir encadré ce travail.**

**Nous le remercions pour toute l'aide qu'il nous a apportée, car
sans lui ce travail n'aurait pas été achevé.**

**Nous remercions également les membres du jury d'avoir
accepté d'évaluer ce travail.**

**Nous remercions Mr. Dahmoune Abdelghafour, Ingénieur de
planning chez Ooredoo, Pour toute l'aide et les informations
qu'il nous a fournies qui ont joué un grand rôle dans la
réalisation de ce travail.**

**Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de
l'université de Bejaia et les intervenants professionnels
responsables de notre formation, pour avoir assuré la partie
théorique de celle-ci.**

Dédicaces

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À :

MES CHERS PARENTS, QUI ONT TOUJOURS ÉTÉ LÀ POUR MOI, POUR TOUS LEURS SACRIFICES, LEUR AMOUR, LEUR TENDRESSE, LEUR SOUTIEN ET LEURS PRIÈRES TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES ET DE MA VIE. QUE DIEU LEUR ACCORDE BONHEUR, BONNE SANTÉ ET LONGUE VIE.

MES CHERS FRÈRES, ET À MA CHÈRE SŒUR, POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS, ET LEUR SOUTIEN MORAL.

TOUTE MA FAMILLE POUR LEUR SOUTIEN TOUT AU LONG DE MON PARCOURS UNIVERSITAIRE.

TOUS MES AMIS POUR LEUR SOUTIEN, ET LEURS SOUCIS POUR MOI.

TOUTES LES PERSONNES QUI ONT AIDÉ À RÉALISER CE TRAVAIL DE PRÈS OU DE LOIN.

MERCI D'ÊTRE TOUJOURS LÀ POUR MOI.

LATRÈCHE
SOFIANE

Dédicaces

Je tiens avant tout à dédier ce travail à la mémoire de mon grand-père Saïd, mes oncles : Hmanou, Kamel et Zoubir que dieu vous accueille dans son vaste paradis, je vous remercie de m'avoir offert des conseils précieux et pour votre soutien durant mon cursus scolaire.

*Je tiens à exprimer mes chaleureuses dédicaces à mes chers parents pour leurs
Sacrifices, leur encouragement continu et leur
dévouement inconditionnel
Que Dieu leur accorde bonheur, bonne santé et longue vie*

*A tous les membres de ma famille, merci pour vos douceurs, vos tendresses et gentillesse.
Je remercie infiniment tous mes amis qui ont été toujours là pour moi et pour leur soutien.*

Ikhlef Farid 

Liste des abréviations

#

2G : 2nd generation (Réseaux de deuxième génération).

3G : 3rd generation (Réseaux de troisième génération).

4G : 4th generation (Réseaux de quatrième génération).

3GPP: 3rd Génération Partnership Project.

A

ACK : ACKnowledgment (Reconnaissance).

AM : Acknowledged Mode (Mode acquitté).

B

BF : Beam forming (Formation de poutre).

BCCH : Broadcast Control CHannel (Canal de contrôle diffusion).

BCH : Broadcast CHannel (Canal de diffusion).

C

CBRA : Contention Based Random Access (accès aléatoire basé sur les conflits).

CCCH : Common Control CHannel (Canal de contrôle commun).

CDMA : Code Division Multiple Access (Accès Multiple à division en codes).

CDS : Channel-Dependent Scheduling (Planification dépendante du canal).

CFRA : Contention Free Random Access (Accès aléatoire sans conflits).

CP : Cyclic Prefix (préfixe cyclique).

CRT : Conflict Resolution Timer (temporisateur de résolution de conflit).

D

DCCH : Dedicated Control CHannel (Canal de contrôle dédié).

DFT : Discrete Fourier Transform (transformée de Fourier discrète).

DL: Downlink (lien descendant).

DL-SCH : Downlink Shared Channel (Canal partagé de liaison descendante).

DTCH : Dedicated Traffic Channel (Canal de trafic dédié).

E

E-UTRAN : Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network(Réseau à Accès radio universel terrestre évolué).

EIR : Equipment Identity Register (Registre d'identités des équipements).

eNodeB : evolved NodeB (NodeB évolué).

EPC : evolved Packet Core (Réseau cœur paquet évolué).

F

F/TDMA : Frequency/Time Division Multiple Access (Accès Multiple à division temporel/fréquentiel).

FDD : Frequency Division Duplexing (Duplexage à division de fréquence).

FDMA : Frequency Division Multiple Access (Accès Multiple à division de fréquence).

FFT : Fast Fourier Transform (transformée de Fourier rapide).

G

GSM : Global System for Mobile (système global pour les mobiles).

H

HARQ: Hybrid Automatic Repeat reQuest (Demande de répétition automatique hybride).

HLR : Home Location Register (Registre de localisation nominale).

HSS : Home Subscriber Server (Serveur d'abonnés Local).

I

I-FDMA : Interleaved Frequency Division Multiple Access (Accès multiple par division de fréquence entrelacée).

IDFT : Inverse Discrete Fourier Transform (Transformée de Fourier discrète inverse).

IP: Internet Protocol (Protocole internet).

ISI : Inter-Symbol Interference (interférence inter-symbole).

L

LTE : Long Term Evolution (Evolution à long terme).

M

MAC : **Medium** Access Control (Contrôle d'accès moyen).

MBMS : Multimedia Broadcast Multicast Service (Service de multidiffusion de diffusion multimédia).

MCS : Modulation Coding Scheme (schéma de codage de modulation).

MCCH : Multicast Control Channel (Canal de contrôle de multidiffusion).

MCH : Multicast Channel (Canal de multidiffusion).

MME : Mobility Management Entity (Entité de gestion de la mobilité).

MIMO : Multiple input, Multiple Output (Entrées multiples, sorties multiples).

MISO : Multiple-input and single-output (Entrées multiples et sortie unique).

MTCH : Multicast Traffic Channel (Canal de trafic multipoint).

N

NAS : Non Access Stratum (strate de non-accès).

O

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplex de répartition de fréquence orthogonale).

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Accès multiple à division en fréquence orthogonale).

OSI : Open Systems Interconnexions (Interconnexions des systèmes informatiques).

P

PAPR : Peak to Average Power Ratio (Rapport de puissance à Crête moyenne).

PBCH : Physical Broadcast CHannel (Canal physique de diffusion).

PCCH : Paging Control Channel (Canal de contrôle de pagination).

PCFICH : Physical Control Format Indicator CHannel (Canal indicateur du format de contrôle physique).

PCH : Paging Channel (Canal de pagination)

PCRF : Policy Control and Charging Rules Function (Fonction de contrôle des politiques et de règles de facturation).

PDCCH : Physical Downlink Control CHannel (Canal de contrôle physique sur le lien descendant).

PDCP : Packet Data Convergence Protocol (Protocole de convergence des données par paquets).

PDSCH : Physical Downlink Shared Channel (Canal physique partagé sur le lien descendant).

PGW: Packet Switch-GatWay (Commutateur de paquet-passerelle).

PHICH : Physical Hybrid Automatic Repeat reQuest Indicator Channel (Canal physique d'indicateur du demande de répétition automatique hybride).

PMCH : Physical Multicast Channel (Canal de multidiffusion physique).

PRACH : Physical Random Access Channel (Canal physique d'accès aléatoire).

PRACHCs : Physical Random Access Channel Cyclic Shift (Canal physique d'accès aléatoire par Changement cyclique).

PUCCH : Physical Uplink Control CHannel (Canal physique de contrôle sur le lien montant).

PUSCH : Physical Uplink Shared CHannel (Canal physique partagé sur le lien montant).

Q

QAM : Quadrature Amplitude Modulation (Modulation d'amplitude en quadrature).

QoS : Quality of Service (Qualité de Service).

R

RA : Random Access (accès aléatoire).

RACH: Random Access CHannel (Canal D'accès aléatoire).

RAR : Random Access Response (Réponse d'accès aléatoire).

RB : Resource Block (bloc de ressource).

RF : Radio Frequency (radio fréquence).

RLC : Radio Link Control (Contrôle de liaison radio).

RNC : Radio Network Controller (Contrôleur de réseau Radio).

RRC : Radio Ressource Control (Contrôle des ressources Radio).

S

SC-FDMA : Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (Accès multiple à division de fréquence à porteuse unique).

SFN : System Frame Number (numéro de trame système).

SGW : Serving Gateway (Passerelle de service).

SIMO : Single Input Multiple Output (Entrée unique Sortie multiple).

SISO : Single Input Single output (entrée unique sortie unique).

T

TDD : Time Division Duplexing (duplexage à division temporelle) .

TM : Transport Mode (Mode de transport).

U

UE : User Equipment (Equipement Usager).

UL: UpLink (lien montant).

UMTS: Universal Mobile telecommunications system (Système de télécommunications universel mobile).

Table des Matières

Table de matière

Table des matières.....	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux.....	VII

Introduction Générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur le réseau 4G/LTE

I.1 Introduction	2
I.2 Evolution des réseaux mobiles.....	2
I.3 Architecture des réseaux 4G/LTE	3
I.3.1 Architecture physique	3
I.3.2 Architecture protocolaire	5
I.4 Interface des réseaux 4G/LTE	6
I.5 Canaux de transmission.....	8
I.6 Multiplexage des canaux.....	10
I.7 Conclusion	11

Chapitre II: Méthodes d'accès dans le réseau 4G/LTE

II.1 Introduction	12
II.2 OFDM (Orthogonale Frequency Division Multiplex)	12
II.2.1 Principe de base de l'OFDM	12
II.2.2 Principe de la transmission OFDM	12
II.2.2.1 Principe de l'émission	12
II.2.2.2 Principe de la réception	13
II.2.3 Démodulation OFDM	13
II.2.4 Résistance aux Multi-trajets	14
II.2.5 Avantages de la transmission OFDM	15
II.3 OFDMA (Orthogonale Frequency Division Multiple ACCESS).....	15
II.3.1 Définition	15
II.3.2 Principe	16
II.3.3 Avantages et inconvénients	17
II.4 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)	18
II.4.1 Principe de la modulation	19
II.4.2 Principe de la démodulation	19
II.4.3 Emetteur SC-FDMA	19
II.4.4 Récepteur SC-FDMA	20
II.4.5 Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA	21
II.4.6- Modes FDD et TDD.....	21

II.5 Génération des sous-porteuses orthogonales.....	21
II.6 Systèmes MIMO (Multiple input, Multiple Output).....	22
II.7 Conclusion.....	23

Chapitre III: Planification du PRACH

III.1 Introduction.....	24
III.2 Procédure d'accès aléatoire RA (RandomAccess).....	24
III.3. PRACH (Physical Random Access Channel)	27
III.3.1 Simple définition	27
III.3.2 Le format de préambule	27
III.3.3 Indice de configuration PRACH	29
III.4 Planifications du PRACH.....	29
III.4.1 Configuration de l'indice PRACH.....	29
III.4.2 Décalage de fréquence PRACH.....	30
III.4.3 Indice de séquence racine (rootSeqindex).....	30
III.4.4 Changement cyclique PRACH (PRACH Cyclic Shift)	32
III.4.5 ZeroCorrelation Zone.....	33
III.5 Problèmes typiques de PRACH.....	33
III.6 Conclusion.....	35

Chapitre IV: Simulation des performances du PRACH sous MATLAB

IV.1 Introduction.....	36
IV.2 La probabilité de détection du PRACH.....	36
IV.2.1 Simulation.....	36
IV.2.1.1 Variation du Nombre de Blocs de ressources.....	38
IV.2.1.2 Variation du Nombre de sous-trames.....	39
IV.2.1.3 Variation du format du PRACH.....	41
IV.3 La probabilité de fausse alarme PRACH.....	42
IV.3.1 Simulation.....	42
IV.3.1.1 Variation du nombre de blocs de ressources.....	44
IV.3.1.2 Nombre de tentatives d'accès aléatoire.....	45
IV.4 Conclusion.....	47
Conclusion Générale.....	48
Bibliographie.....	VIII

Liste des figures

Figure I.1 : Architecture physique du réseau 4G	3
Figure I.2 : Architecture LTE : Plan de contrôle	5
Figure I.3 : Architecture LTE au plan de données utilisateur.....	5
Figure I.4 : Représentation classique de toutes les interfaces de réseau 4G.....	7
Figure I.5 : Exemples de multiplexage des canaux.	11
Figure II.1 : Principe d'une chaîne de transmission OFDM (sans le préfixe cyclique)	13
Figure II.2 : Principe de démodulation OFDM	14
Figure II.3 : Insertion du préfixe cyclique	15
Figure II.4 : Spectre du signal OFDM avec N porteuse	16
Figure II.5 : Répartition fréquentielle de l'OFDMA	17
Figure II.6 : Répartition fréquentielle du SC-FDMA	18
Figure II.7 : Schéma bloc d'émetteur SC-FDMA	20
Figure II. 8 : Schéma bloc de récepteur SC-FDMA.....	21
Figure II.9 : Principe de la transmission multi-antenne avec MIMO (3X3).....	23
Figure III.1 : Procédure d'accès aléatoire LTE.....	24
Figure III.2 : Événement de collision dans le message 1.....	27
Figure III.3 : Structure du préambule PRACH avec la position du préfixe cyclique et le temps de garde	28
Figure III.4 : la position du préambule PRACH dans la bande passante du canal PRACH.....	30

Figure IV.1 : Probabilité de détection du PRACH pour 10 sous-trames.....	37
Figure IV.2 : Probabilité de détection du PRACH pour 15 blocs de ressources.....	38
Figure IV.3 : Probabilité de détection du PRACH pour 25 blocs de ressources.....	39
Figure IV.4 : Probabilité de détection du PRACH pour 100 sous-trames	40
Figure IV.5 : Probabilité de détection du PRACH pour 200 sous-trames	40
Figure IV.6 : Probabilité de détection du PRACH pour le format 1	41
Figure IV.7 : Probabilité de détection du PRACH pour les formats 2 et 3.....	42
Figure IV.8 : Probabilité de fausse alarme de PRACH pour 1400 tentatives et 6 blocs de ressources	43
Figure IV.9 : Probabilité de fausse alarme pour 25 blocs de ressource	44
Figure IV.10 : Probabilité de fausse alarme pour 45 blocs de ressource.....	45
Figure IV.11 : Probabilité de fausse alarme pour 2400 tentatives	46
Figure IV.12 : Probabilité de fausse alarme pour 5000 tentatives	47

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Evolution des réseaux cellulaire.....	2
Tableau I.2 : Canaux de transmission de l'interface radio LTE	9
Tableau III.1 : différents formats de préambule.....	28
Tableau III.2 : Format de préambule et l'indice de configuration	29
Tableau III.3 : représentation de l'indice physique réel	31
Tableau III.4 : Optimisation des interférences intracellulaires par rapport à la taille des cellules.....	32

***Introduction
Générale***

Les réseaux mobiles ont connu une évolution très rapide, depuis leur apparition dans les années 1980 . Nous sommes passés d'une génération à une autre avec une rapidité hallucinante, un service initialement dédié exclusivement à la téléphonie, puis l'intégration progressive des SMS et MMS. Une génération plus orientée vers le multimédia (3G), puis vers les hauts débits (4G) avec la mise en place de réseaux tout IP. Favorisant des services et applications qui étaient considérés impossible il y'a à peine vingt ans.

De nos jours, il est possible de tout faire avec son téléphone cellulaire, d'un simple appel vocal à la transmission de données à plusieurs Gbits/s. Mais tous ces échanges ne seraient pas possibles sans une procédure d'accès aléatoire optimale. En effet, avant de bénéficier des ressources, un mobile doit pouvoir se rattacher au réseau. Cette procédure se fait via le canal physique d'accès aléatoire(PRACH) qui représente l'objet de notre étude.

Notre travail sera réparti comme suit :

- Un premier chapitre à travers lequel nous faisons une présentation de la technologie 4G/LTE, notamment ses architectures physique et protocolaire.
- Un second chapitre dans lequel nous explicitons les différentes méthodes d'accès aux réseaux 4G/LTE.
- Un troisième chapitre dans lequel nous décrivons le procédé de planification du Canal d'accès aléatoire physique PRACH.
- Un quatrième chapitre où nous présentons notre simulation sur des performances du Canal physique d'accès aléatoire PRACH en utilisant MATLAB.
- Nous finirons par une conclusion générale et nos perspectives.

Chapitre I

I.1- Introduction

Au cours de ce chapitre, nous allons effectuer, dans un premier temps, une brève revue des caractéristiques des différentes générations de réseaux mobiles. Nous passerons ensuite à une description des différents équipements composant l'architecture physique des réseaux LTE, ainsi que les interfaces qui les relient. Après cela, nous définirons l'architecture protocolaire de la technologie ainsi que ses différentes couches. Nous finirons par une définition des différents canaux de transmission déployés.

I.2- Evolution des réseaux mobiles

Les réseaux mobiles ont beaucoup évolué depuis leur apparition dans les années 1970, le tableau I.1 en est un bref récapitulatif :

Génération	1G	2G	3G	4G
Apparition	1980	1990	2000	2010
Technique d'accès	Analogique FDMA	F/TDMA	CDMA	OFDMA
Commutation	circuits	circuits	circuits/ paquet	Paquet (tout sur IP)
Service	Téléphonie	Téléphonie, SMS, puis DATA à faible débit	Téléphonie, DATA, Vidéos...etc.	Multimédias (débits meilleurs que la 3G)

Tableau I.1 : Evolution des réseaux cellulaires. [1]

Plusieurs raisons ont amené le groupe 3GPP à élaborer la norme LTE, parmi lesquelles on peut citer :

- La demande croissante de débit et de qualité de service.
- La nécessité d'assurer la continuité de la compétitivité du système 3G vis-à-vis des technologies concurrentes (WiMAX).
- L'optimisation des systèmes à commutation de paquets.
- La réduction de la complexité. [1]

En théorie cette technologie permet d'atteindre des débits de l'ordre de 50 Mb/s en UL et de 100 Mb/s en DL, à partager entre les utilisateurs mobiles à l'intérieur d'une même cellule. Pour les opérateurs (qui ont la partie la plus importante pour supporter cette technologie), LTE implique de modifier le cœur du réseau et les émetteurs radio. Il faut également développer des terminaux mobiles adaptés.

I.3- Architecture des réseaux 4G/LTE

I.3.1- Architecture physique

Un réseau 4G est divisé en deux parties :

- **Réseau d'accès (E-UTRAN):** Représente l'interface radio entre le réseau et les utilisateurs.
- **Réseau Cœur (EPC):** Représente la partie où s'effectue tout ce qui concerne la gestion du réseau. [2]

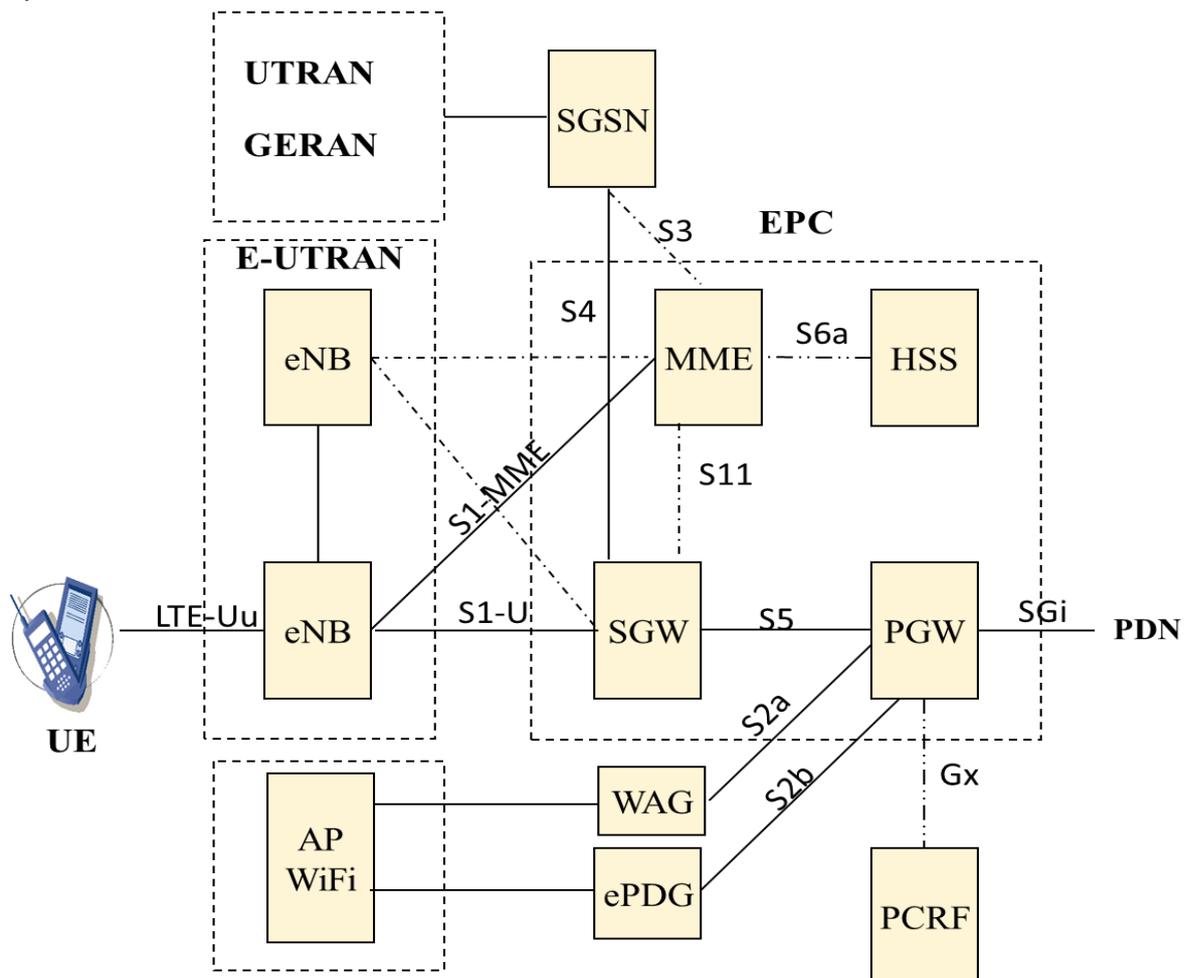


Figure I.1 : Architecture physique du réseau 4G. [2]

a. eNode B :

Représente la station de base des réseaux mobiles de quatrième génération. C'est l'équivalent du NodeB et du RNC dans les réseaux UMTS. Les stations de base « eNode B » réalisent la passerelle entre les terminaux mobiles, les antennes radio et le cœur du réseau des opérateurs LTE.

b. SGW (Serving Gateway) :

Est un équipement qui participe à l'acheminement des données. Il collecte les données à envoyer vers le PGW, données venant des terminaux via les stations de base. Et aussi la transmission des données en sens opposé, depuis le PGW vers les terminaux.

c. MME (Mobility Management Entity) :

L'équipement qui gère la signalisation (plan de contrôle) entre les terminaux (UE) et le cœur de réseau LTE. Elle est responsable de la gestion de la mobilité et l'authentification des utilisateurs. Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux.

d. HSS (Home Subscriber Server) :

Base de données, qui contient les informations des abonnés, leurs droits et leurs caractéristiques. Elle est responsable d'à peu près des mêmes fonctionnalités que le HLR dans les réseaux de deuxième génération.

e. PGW (Packet Gateway) :

Est un équipement qui participe à l'acheminement des données. Il joue le rôle d'un lien entre le réseau IP de l'opérateur mobile et Internet. Il achemine les données internet vers le terminal et réciproquement les données du terminal vers Internet. Il assure également quelques fonctions de sécurité.

f. Réseau IP de l'opérateur mobile :

Le réseau IP de l'opérateur mobile est un réseau qui constitue d'un ensemble de routeur connecte entre eux.

g. Equipment Identity Register(EIR):

Base de données des terminaux, est utilisée pour permettre d'identifier et authentifier les UE.

h. Policy and Charging Rules Function (PCRF):

Permet la gestion dynamique de la facturation et de la politique de qualité des service des flux.

I.3.2- Architecture protocolaire

Le modèle LTE se compose de deux types de pile protocolaire, le premier est pour le contrôle et la signalisation qui sont les plus importants, et sont transmis avec des contraintes de sécurité et de fiabilité, le second est pour les données d'utilisateur. [2]

L'architecture et les couches du réseau LTE peuvent être résumées par les figures suivantes :

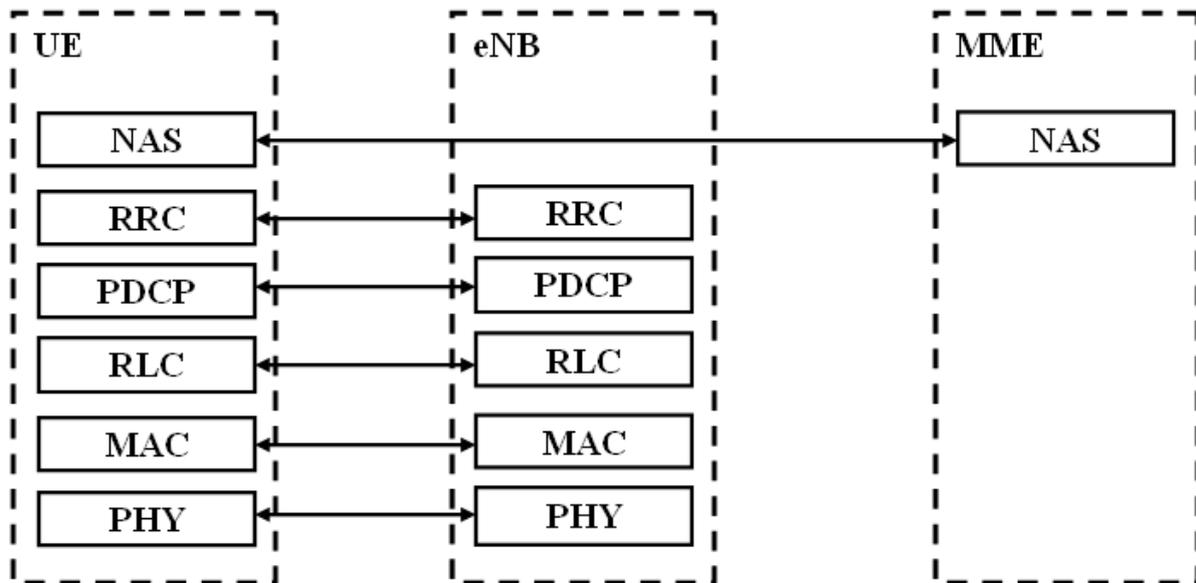


Figure I.2 : Architecture LTE : Plan de contrôle. [2]

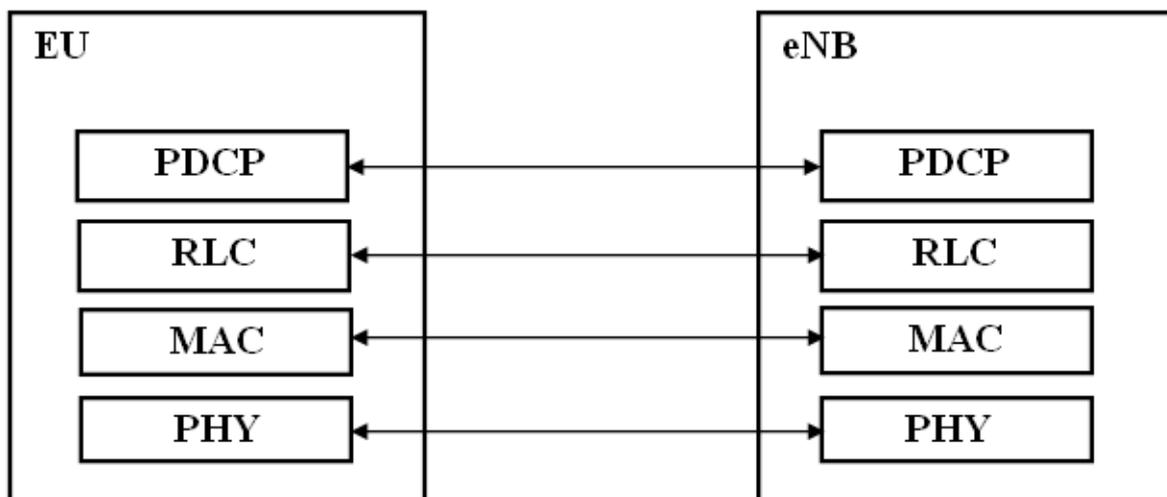


Figure I.3 : Architecture LTE au plan de données utilisateur. [2]

Dans ce qui suit, nous présenterons un aperçu des couches les plus importantes de cette technologie :

a. Couche NAS (Non Access Stratum) :

Cette couche est responsable de la gestion des entrées au réseau, l'authentification, la gestion de la mobilité. Le transfert des messages de NAS depuis et vers les UE est réalisé par la couche RRC (Radio Resource Control).

b. Couche RRC (Radio Resource Control) :

Cette couche est la couche clé dans le processus de signalisation. Elle supporte plusieurs fonctions entre le terminal et l'eNodeB, elle permet la diffusion des informations du système broadcast ; des informations système réalisées à travers le canal logique BCCH, paging qui est réalisé à travers le canal de contrôle logique PCCH, le contexte utilisateurs transféré entre eNodeBs lors d'un handover.

c. Couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol) :

Le but principal de cette couche est la compression et la décompression des entêtes IP liées aux données utilisateurs, les messages de la couche NAS sont chiffrés deux fois, au niveau de MME et d'eNodeB, puisqu'ils passent par la couche RRC.

d. Couche RLC (Radio Link Control):

L'objectif principal de la couche RLC est de formater et de transporter les données entre l'eNodeB et l'UE. la couche RLC propose trois modes de transmission TM (Transparent Mode), UM (Unacknowledged Mode) et AM (Acknowledged Mode).

Le mode RLC transparent reçoit les données des couches hautes et les passe directement à la couche MAC. Le mode UM quant à lui, rajoute la détection des pertes des paquets et leurs réorganisations et ré-assemblage. Finalement, le mode AM le plus compliqué des trois, supporte les fonctionnalités du mode UM.

I.4- Interface des réseaux 4G/LTE :

Dans un réseau 4G, tous les équipements du réseau possèdent la pile de protocole IP.

Les équipements peuvent dialoguer entre eux même s'ils ne sont pas interconnectés par une liaison physique : dialogue via le réseau IP. De ce fait on va pouvoir définir un ensemble d'interfaces entre les différentes entités du réseau. [3]

La figure I.4 représente un récapitulatif des interfaces d'interconnexion des équipements dans les réseaux 4G.

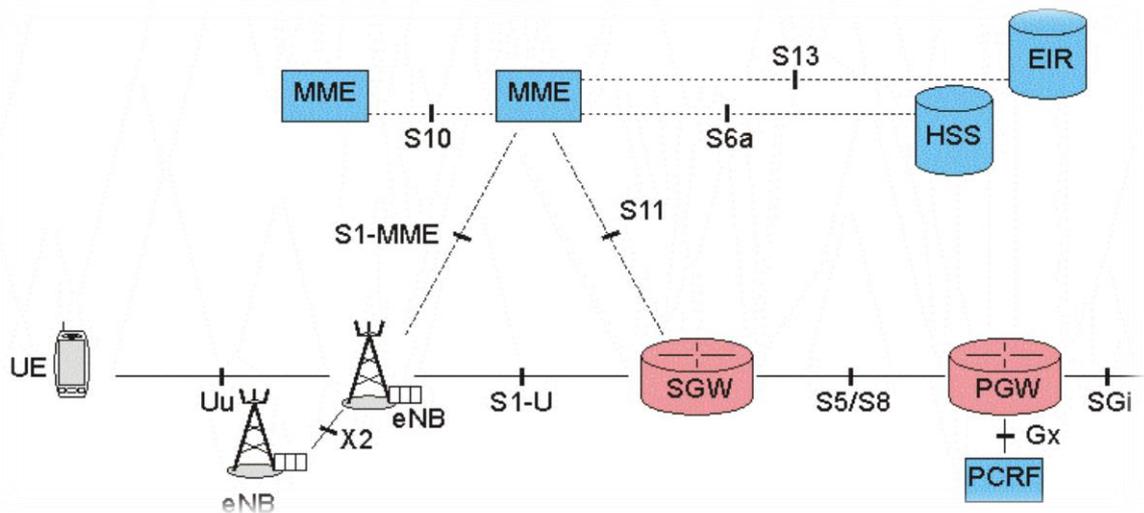


Figure I.4 : Représentation classique de toutes les interfaces de réseau 4G. [3]

- a. **Interface SGi : Entre le PGW et le réseau IP externe (Internet)**
C'est le point de référence entre le PGW et le réseau de données par paquets. Le réseau de données par paquets peut être un réseau de données par paquets externe ou public ou privé d'opérateur.
- b. **Interface S5 : entre le SGW et le PGW (d'un même réseau)**
Cette interface sert à l'échange de données utilisateur et de quelque message de signalisation, comme la relocalisation de Serving GW en raison de la mobilité de l'UE.
- c. **Interface S11 : entre le SGW et le MME**
Cette interface sert à l'échange de signalisation entre le SGW et le MME.
- d. **Interface S6a : entre le MME et le HSS**
Il permet le transfert des données d'abonnement et d'authentification pour autoriser l'accès des utilisateurs au système, entre MME et HSS.
- e. **Interface S1-MME : Entre l'eNodeB et le MME**
Point de référence entre eNodeB et MME. Cette interface est pour l'échange de signalisation entre ces dernières entités.
- f. **Interface S1-U : entre l'eNodeB et le SGW**
Cette interface utilisé pour l'échange de données utilisateur.
- g. **Interface X2 : entre 2 eNodeB**

Cette interface est utilisée pour le transport des données utilisateur et des messages de signalisation entre 2 eNodeB.

h. Interface Uu ou interface radio : entre le terminal (UE) et l'eNodeB

Cette interface est utilisée pour Transport des données utilisateurs et des messages de signalisation entre le terminal et l'eNodeB. Dans cette interface la transmission est sur voie radio.

i. Interface S10 : entre 2 MME

Point de référence entre les MMEs pour la relocalisation, et le transfert d'informations MME vers MME.

j. Interface S13 : entre MME et EIR

Le rôle de cette interface est d'activer la procédure de vérification d'identité UE entre MME et EIR.

k. Interface Gx : entre PGW et PCRF

Assure le transfert de la politique (QoS) et des règles de tarification de PCRF dans le PGW.

l. Interface S8 : entre le SGW et le PGW d'un autre réseau

C'est l'interface qui relie le SGW d'un réseau avec le PGW d'un autre réseau.

I.5- Canaux de transmission

Le système LTE, de manière similaire à l'UMTS et GSM, utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio.

On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés. [4]

- **Les canaux logiques** : Opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager).
- **Les canaux de transport** : Opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio (par exemple la méthode d'accès aux ressources radio) ;
- **Les canaux physiques** : Utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame).

Le tableau I.2 représente l'ensemble des canaux utilisés par l'interface radio du LTE, pour chacune de ces trois catégories :

Classe	Voie(UL/DL)	Nom	Fonction
Canaux physiques	DL	PBCH	Physical Broadcast Channel : Pour la transmission du BCH
		PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel: Indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame.
		PDCCH	Physical Down Link Control Channel : Pour la transmission d'informations de contrôle.
		PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel: Porte l'acquittement descendant des données montantes
		PDSCH	Physical Downlink Shared Channel : Pour la transmission du DL-SCH et du PCH.
		PMCH	Physical Multicast Channel : Contient les données descendantes diffusées
	UL	PUCCH	Physical Uplink Control Channel : Pour la transmission d'informations de contrôle nécessaires aux acquittements et à l'allocation de ressources.
		PUSCH	Physical Uplink Shared Channel : Pour la transmission de l'UL-SCH, porte également les informations de contrôle du PUCCH en cas de collision de ces deux canaux sur le même intervalle de temps.
		PRACH	Physical Random Access Channel : Accès aléatoire, canal physique supportant le canal de transport RACH, non dédié à un utilisateur.
Canaux de Transport	DL	BCH	Broadcast Channel : Transport des informations système diffusées dans une cellule.
		DL-SCH	Downlink Shared Channel : Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager .Utilise également pour transmettre les informations de cellule non portées par le BCH
		PCH	Paging Channel : Transport des messages de paging dans une ou plusieurs cellules.
		MCH	Multicast Channel : Transport des données de diffusion. (SMS publiques, infos de diffusion...etc.)
	UL	UL-SCH	Uplink Shared Channel : Pour la transmission de données dédiées de contrôle et du plan usager.
		RACH	Random Access Channel : Accès aléatoire, transport de paquets de

			signalisation ou de trafic.
Canaux Logiques	DL	BCCH	Broadcast Control Channel : Transporte les informations système diffusé dans une cellule.
		PCCH	Paging Control Channel : Transporte les informations de paging diffusées dans la cellule.
		CCCH	Common Control Channel : Informations de signalisation. Utilisé par l'UE pour l'établissement de la connexion RRC.
		MCCH	Multicast Control Channel : Transport des données de contrôle des utilisateurs.
		DCCH	Dedicated Control Channel : Informations de signalisation dédiée à un UE en particulier.
	UL et DL	DTCH	Dedicated Traffic Channel : Transport des données utilisateur une fois établie une communication entre l'UE et le réseau.
		MTCH	Multicast Traffic Channel : Transport des infos de trafic de diffusion (pour plusieurs utilisateurs).

Tableau I.2 : Canaux de transmission de l'interface radio LTE. [5]

I.6- Multiplexage des canaux

Dans une configuration donnée de l'interface radio, un canal logique ne peut être porté que par un seul canal de transport, mais ce dernier peut transporter plusieurs canaux logiques. La même règle s'applique pour les canaux de transport et les canaux physiques. Enfin, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ni canal logique, car ils portent uniquement des informations relatives à la couche physique.

Ceci est illustré par la figure I.5, sur laquelle trois canaux physiques sont représentés (PDSCH et PDCCH pour le sens descendant, PRACH pour le sens montant).[4]

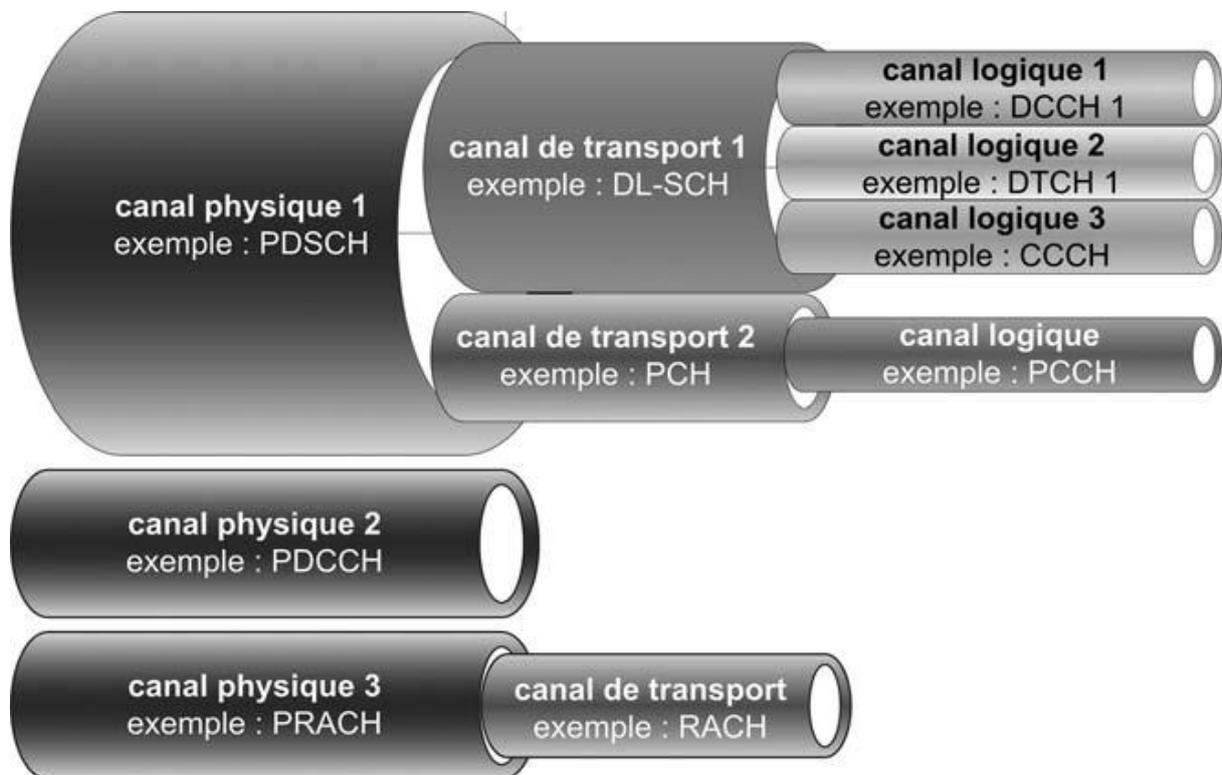


Figure I.5 : Exemples de multiplexage des canaux. [4]

I.7- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE qui répond à des nouveaux besoins, une brève description de l'architecture générale du réseau LTE et les différentes interfaces reliant les équipements, les caractéristiques du réseau de cœur EPC et du réseau d'accès E-UTRAN. Nous avons également défini l'architecture protocolaire du réseau, ainsi que les différents canaux utilisés pour les échanges de données sur l'interface radio.

Chapitre II

II.1- Introduction

Comme précisé précédemment, l'objectif principal de notre mémoire est l'étude de l'accès aléatoire au réseau LTE via le canal PRACH. Pour cela, il est nécessaire d'étudier la technique d'accès déployée dans ce réseau.

Pour la 2G, on parlait d'accès multiple par répartition temporelle et fréquentielle, c.-à-d., les données des utilisateurs étaient divisées dans le temps et dans la bande de passante du réseau simultanément. En 3G, par contre, un multiplexage par répartition de code a été introduit. En effet, les données des utilisateurs étaient différenciées par des codes, orthogonaux entre eux. C'est-à-dire que les données ne peuvent être récupérées à la réception uniquement grâce au code utilisé à l'émission.

Nous allons dans ce chapitre étudier l'accès multiple par répartition de fréquence orthogonale, qui est la méthode d'accès déployée en 4G/LTE.

II.2- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

II.2.1- Principe de base de l'OFDM

OFDM est un mode de transmission utilisé pour tous les systèmes radios numériques récents, ainsi que pour les systèmes filaires. Il offre un grand débit de transmission de par son principe qui consiste à transmettre plusieurs informations en parallèle sur un nombre de voies donné (sur des porteuses différentes).

Le principe de l'OFDM est de transmettre sur un très grand nombre de sous-porteuses en parallèle, grâce à une utilisation astucieuse de la transformée de Fourier et à la recopie d'une partie des symboles transmis (principe du préfixe cyclique), il est possible de réaliser simplement un émetteur et un récepteur en utilisant une seule étape de transposition en fréquences. [6]

II.2.2- Principe de la transmission OFDM

II.2.2.1- Principe de l'émission

Une transmission OFDM consiste donc à transmettre sur un grand nombre de sous-porteuses en parallèle tout en utilisant un seul oscillateur. À chaque période de temps T_s , il s'agit de transmettre N_c symboles. [4]

- La première étape consiste à faire une transformation série-parallèle.
- On ajoute habituellement un certain nombre de symboles forcés à la valeur 0, de façon à avoir un nombre de sous-porteuses N qui soit une puissance de 2.
- Cela permet de simplifier l'opération de la transformée de Fourier inverse.

II.2.2.2- Principe de la réception

À la réception, la première opération consiste à filtrer le signal pour éliminer les parties hors de la bande considérée, puis à le transposer en bande de base. On procède ensuite à un échantillonnage à la fréquence N/T_s , ce qui donne un échantillon tous le T_s/N secondes. Chaque échantillon est quantifié et donne un symbole complexe b_n . Les N symboles successifs obtenus passent par une transformation série-parallèle, puis par une opération de transformée de Fourier rapide (FFT) qui délivre N symboles fréquentiels B_i (on ne conserve que les sous-porteuses non nulles). En l'absence de bruit, on retrouve exactement les symboles émis ($B_i = A_i$). [4]

En général, la transmission d'une succession de symboles OFDM est précédée d'un préambule, c'est-à-dire une séquence de synchronisation est transmise en parallèle

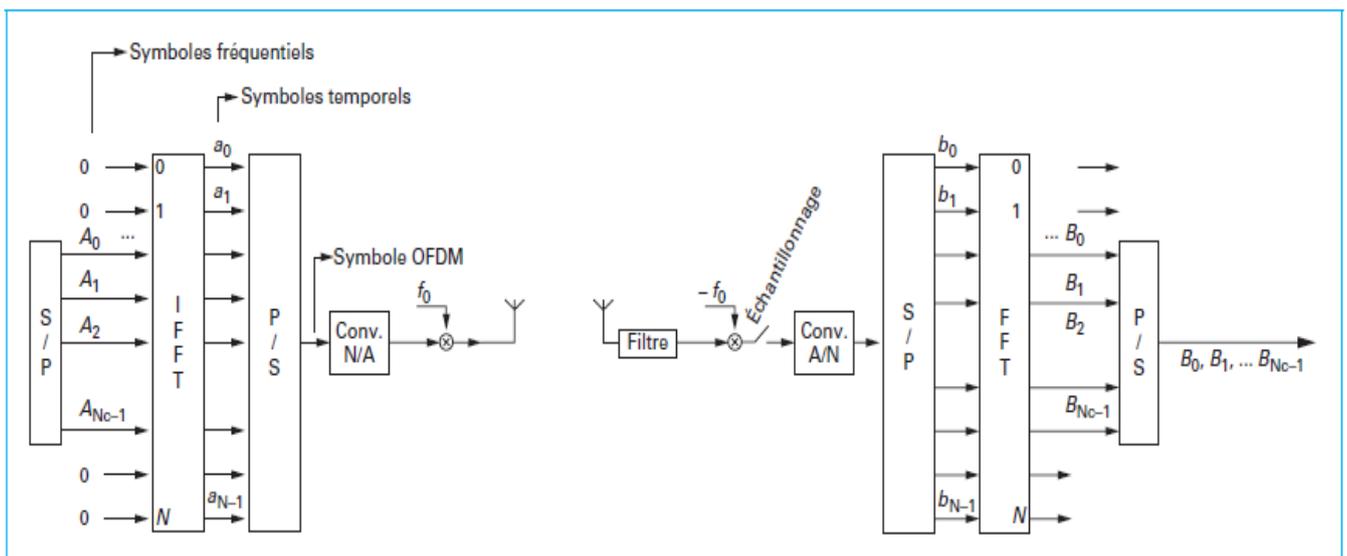


Figure II.1 : Principe d'une chaîne de transmission OFDM (sans le préfixe cyclique).[6]

II.2.3- Démodulation OFDM

Le principe de base de la démodulation OFDM consiste en une suite de corrélateurs, un pour chaque sous-porteuse.

En tenant compte de l'orthogonalité entre sous-porteuses, il est clair que, dans le cas idéal, deux sous-porteuses OFDM ne provoquent aucune interférence l'une avec l'autre après la démodulation.

Pour rendre un signal OFDM vraiment robuste à la sélectivité de fréquence des canaux radio, l'insertion de préfixe cyclique est généralement utilisée. [7]

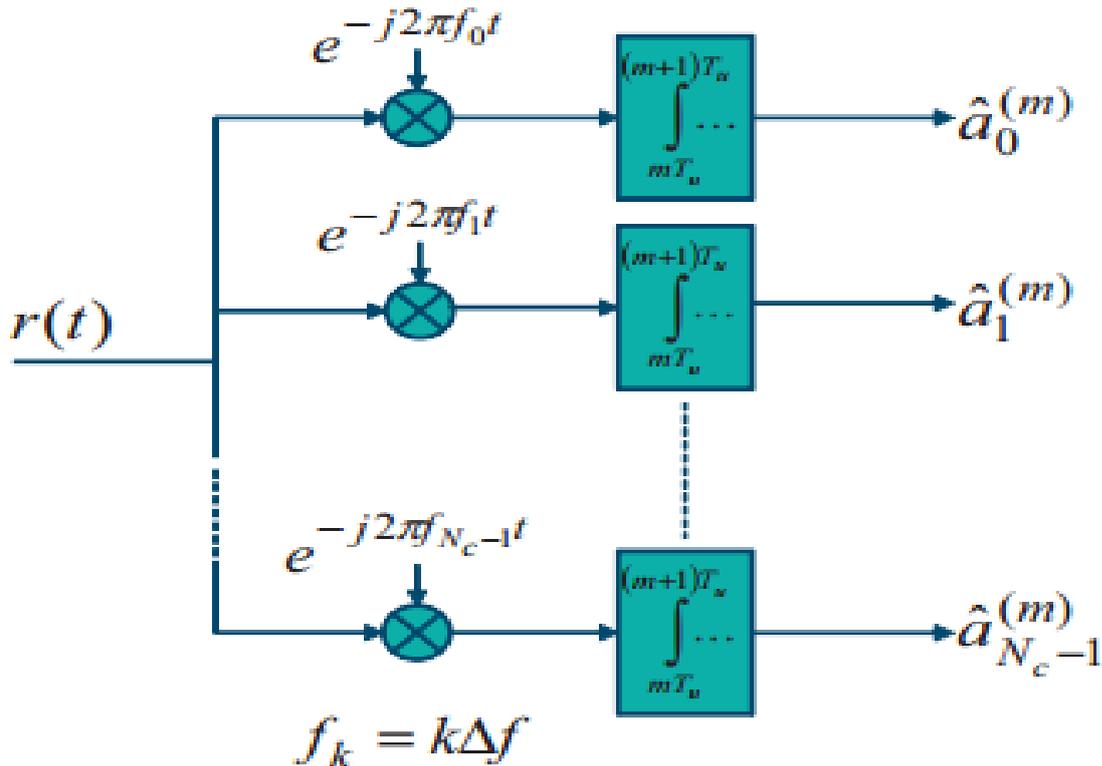


Figure II.2: Principe de démodulation OFDM. [7]

II.2.4- Résistance aux Multi-trajets

L'une des principales raisons d'utiliser l'OFDM comme format de modulation dans le LTE (et de nombreux autres systèmes sans fil d'ailleurs) est sa résilience aux retards et à la propagation par trajets multiples. Cependant, il est toujours nécessaire de mettre en œuvre des méthodes pour ajouter de la résilience au système. Cela permet de surmonter l'interférence inter-symboles (ISI) qui en résulte.

Dans les zones où une interférence entre symboles est attendue, elle peut être évitée en insérant une période de garde dans la synchronisation au début de chaque symbole de données. Il est alors possible de copier une section de la fin du symbole au début. Il s'agit du préfixe cyclique CP. Le récepteur peut alors échantillonner la forme d'onde au moment optimal et éviter toute interférence inter-symboles causée par des réflexions qui sont retardées par des temps allant jusqu'à la longueur du préfixe cyclique CP.

La longueur du préfixe cyclique CP est importante. S'il n'est pas assez long, il ne contrecarrera pas la propagation du délai de réflexion par trajets multiples. S'il est trop long, cela réduira la capacité de débit des données. Pour LTE, la longueur standard du préfixe cyclique a été choisie pour être de 4,69 μ s. Cela permet au système de s'adapter à des variations de trajet allant jusqu'à 1,4 km. Avec la longueur du symbole dans LTE réglée à 66,7 μ s. [8]

La figure II.3 décrit le mode d'insertion du préfixe cyclique.

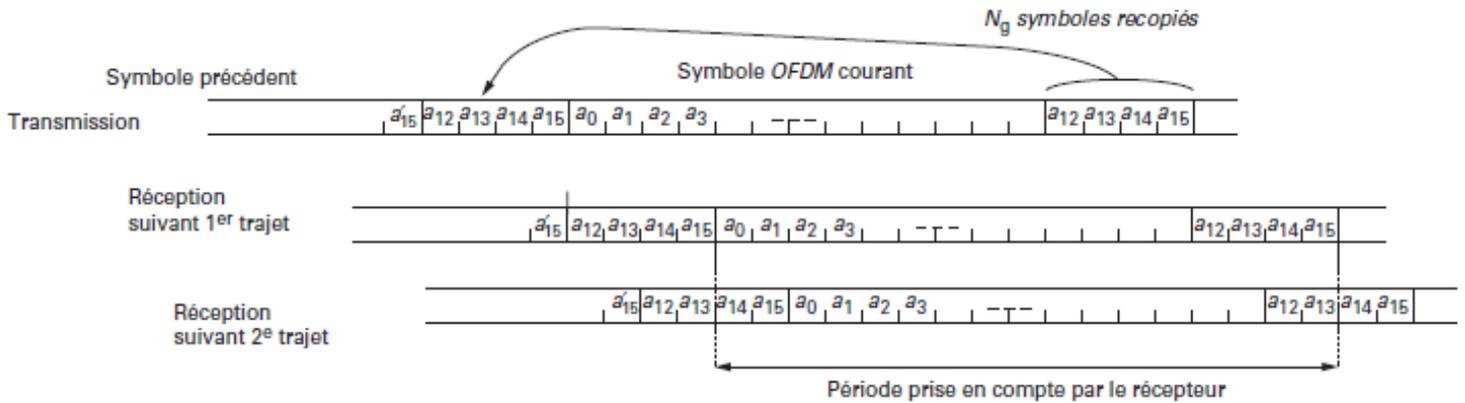


Figure II.3 : Insertion du préfixe cyclique. [8]

II.2.5- Avantages de la transmission OFDM :

- Simplicité d'implémentation.
- Indépendance de chaque sous-porteuse.
- Meilleure résistance aux trajets multiples.

II.3- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

L'OFDMA est une technique de multiplexage et de codage des données, dérivée de l'OFDM, et utilisée principalement pour la voie descendante dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération.

II.3.1- définition

La technique nommée OFDMA est une technique de Multiplexage d'Accès par porteuses orthogonales (L'orthogonalité vient du fait que le produit scalaire pendant la durée de transmission d'un symbole entre chacune des porteuses est nul).

L'OFDM est utilisée pour exploiter au mieux la bande de fréquence disponible comme le montre la figure ci-dessous :

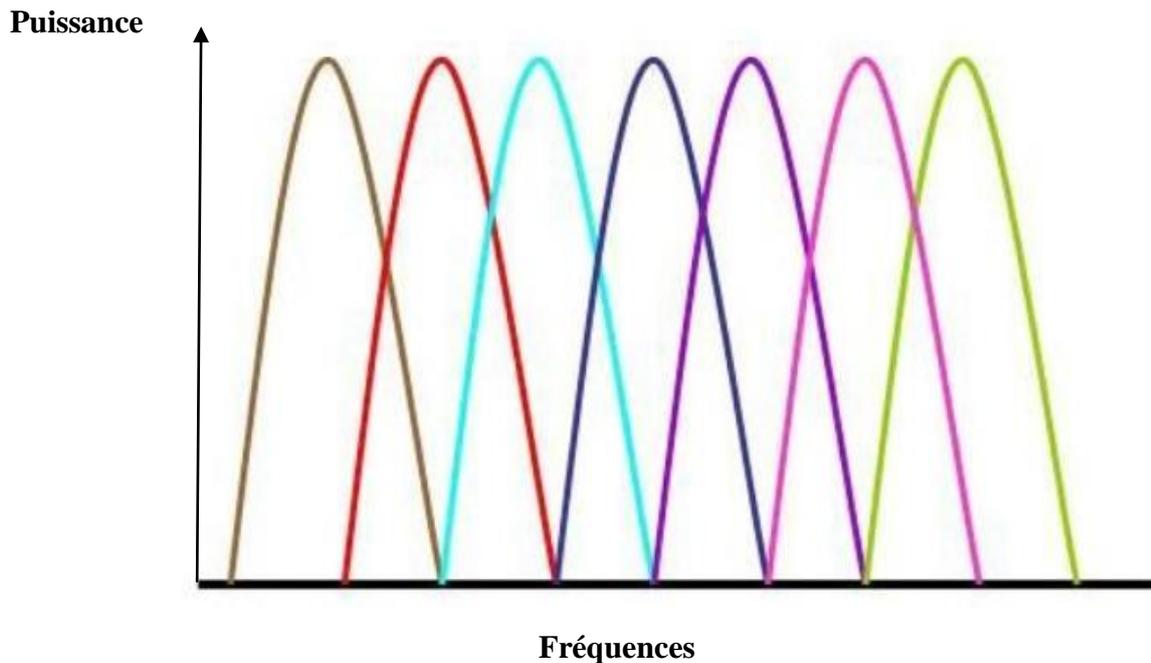


Figure II.4: Spectre du signal OFDM avec N porteuse. [3]

II.3.2- principe

L'OFDMA a été développé pour faire passer la technologie OFDM d'un système sans fil à accès fixe à un véritable système cellulaire avec mobilité. La technologie sous-jacente est la même, mais une plus grande flexibilité a été définie dans le fonctionnement du système.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses les données numériques que l'on veut transmettre, ce qui induit, pour un débit global donné, un débit binaire beaucoup plus faible sur chacun des canaux de transmission ; la durée de chaque symbole est ainsi beaucoup plus longue ($66.7 \mu s$) que s'il n'y avait qu'une seule porteuse. Cela permet de limiter les problèmes d'interférences inter-symboles liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio.

La figure suivante décrit l'utilisation des sous porteuses en LTE : celles en noir, en vert et bleu (les plus nombreuses) transportent les données des utilisateurs, celles en rouge, les informations de synchronisation et de signalisation entre les 2 extrémités de la liaison radio. [3]

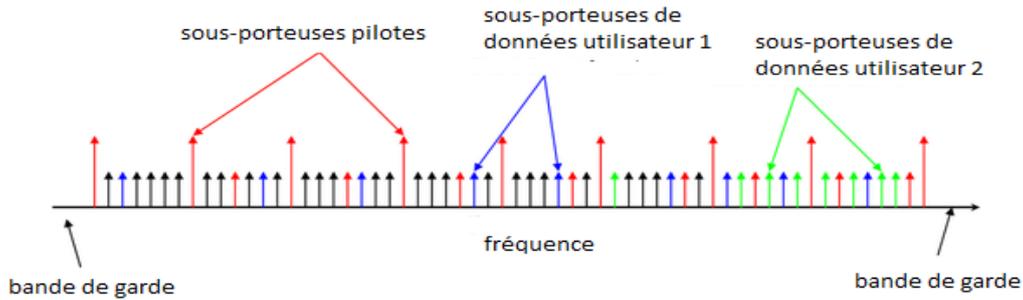


Figure II.5 : Répartition fréquentielle de l'OFDMA. [3]

Un filtrage séparé de chaque sous-porteuse n'est pas nécessaire pour le décodage dans le terminal récepteur, une « transformée de Fourier » FFT est suffisante pour séparer les sous-porteuses l'une de l'autre.

L'orthogonalité des sous-porteuses permet un resserrement de leurs fréquences et donc une plus grande efficacité spectrale ; cela évite d'avoir une « bande de garde » entre chaque sous-porteuse.

Un préfixe cyclique est utilisé dans les transmissions OFDMA, afin de conserver l'orthogonalité et les propriétés sinusoïdales du signal sur les canaux à trajets multiples.

Le signal OFDM utilisé en LTE comprend un maximum de 2048 sous-porteuses différentes ayant un espacement de 15 kHz. Bien qu'il soit obligatoire pour les mobiles d'avoir la capacité de recevoir toutes les 2048 sous-porteuses, toutes n'ont pas besoin d'être transmises par la station de base qui doit seulement pouvoir prendre en charge la transmission de 72 sous-porteuses. De cette façon, tous les mobiles pourront parler à n'importe quelle station de base.

II.3.3 Avantages et inconvénients

- La présence de nombreuses sous-porteuses indépendantes permet d'adapter facilement la puissance d'émission de la station de base sur chaque canal au niveau minimum suffisant pour une bonne réception par chaque utilisateur.

Le codage OFDMA a pour contrainte :

- d'imposer une synchronisation très précise des fréquences hertziennes et des horloges des récepteurs et des émetteurs afin de conserver l'orthogonalité des sous-porteuses.

II.4.1- Principe de la modulation

La modulation SC-FDMA est une technique de transmission mono-porteuse, presque le même principe que la modulation OFDMA. Cette technique consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses, non pas directement les symboles source comme en OFDMA, mais leur représentation fréquentielle après les avoir répartis sur la bande du système.[11]

II.4.2- Principe de la démodulation

Le signal d'un utilisateur k parvenu au récepteur sur une durée symbole T_s , s'écrit comme suit :

$$y(t) = \sum_{n \in \Omega_Q^K} U_n^K \int_{T_s} [h_n^K(t - \tau) p(\tau - nT_s) e^{2j\pi f_n \tau}] d\tau \quad (\text{II.1}) \quad [11]$$

- $h_n^k(t)$ représente la fonction de transfert du canal de l'utilisateur k autour de la porteuse f_n à l'instant t.
- $p(\tau - nT_s) e^{2j\pi f_n \tau}$ représente le filtre de mise en forme, Le principe de la démodulation du système SC-FDMA consiste à démoduler le signal sur chacune des sous-porteuse f_n du système.
- En effet, le signal reçu $y^k(t)$ est d'abord ramené en bande de base, avant d'être échantillonné pour le traitement numérique du signal.
- Après suppression de l'intervalle de garde, un démodulateur DFT permet d'obtenir les symboles modulant chaque porteuse f_n .
- Un égaliseur est ensuite mis en œuvre, dans le but de supprimer la contribution du canal sur chaque sous-porteuse du signal, et de récupérer ainsi les symboles fréquentiels $\{u_q\} 0 \leq q \leq Q-1$.
- Un démodulateur IDFT permet ensuite de récupérer les symboles sources $\{d_q\} 0 \leq q \leq Q-1$ du système. [12]

II.4.3- Emetteur SC-FDMA

Comme nous l'avons dit précédemment la modulation SC-FDMA est une technique de transmission mono-porteuse qui consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses par leur représentation fréquentielle après avoir réparti les symboles sur la bande du système, le schéma ci-dessous représente la chaîne d'émission d'un tel système.

La Figure II.7 montre la chaîne de transmission d'un tel système. Elle est constituée de trois parties principales. On a d'abord un modulateur DFT « Discret Fourier Transform » dont l'entrée $D_Q^K = \{d_q k\} 0 \leq q \leq Q-1$ constitue le bloc de symboles source de la modulation QAM de l'utilisateur k prenant ses valeurs dans un alphabet fini. Ce modulateur transforme le bloc D_Q^K en Q symboles fréquentiels $U_Q^K = \{u_q k\} 0 \leq q \leq Q-1$ qui viennent ensuite moduler un ensemble de Q sous-porteuses choisies parmi N tel que $(N \geq Q)$. Cette répartition des symboles fréquentiels a pour objectif l'étalement spectral du signal et le multiplexage fréquentiel des

signaux des différents utilisateurs. A leur sortie, ces symboles seront modulés aux sous-porteuses par le bloc « Mappage des sous porteuses ». La sortie du multiplexeur est enfin ramenée dans le domaine temporel par un modulateur IDFT («Inverse DFT») pour donner les symboles de sortie $\{S_N^k\}_{0 \leq n \leq N-1}$. On peut remarquer que cette dernière partie de la chaîne n'est rien d'autre que le modulateur classique OFDM. Dès lors, on peut considérer le système SC-FDMA comme un système OFDM avec un pré-codage DFT et une allocation de ressources particulière. L'étalement spectral du signal a pour but d'augmenter la largeur de bande du système afin de réaliser un multiplexage en fréquentiel. Si le facteur d'étalement spectral est L , alors le nombre total de sous-canaux du système serait $N = L.Q$, Q étant la portion de sous-canaux allouée à chaque utilisateur.

Ainsi, le système peut supporter au maximum L signaux (ou L utilisateurs) orthogonaux chacun occupant Q sous porteuses distinctes. L'émetteur effectue deux autres opérations avant la transmission: il insère un ensemble appelé préfixe cyclique (CP) offrant un temps de garde suffisant pour éviter l'interférence entre les blocs transmis, due à la propagation de multi trajets. Généralement, le préfixe cyclique est une copie de la dernière partie du bloc. Un filtrage linéaire est nécessaire afin de réduire l'énergie du signal. [12]

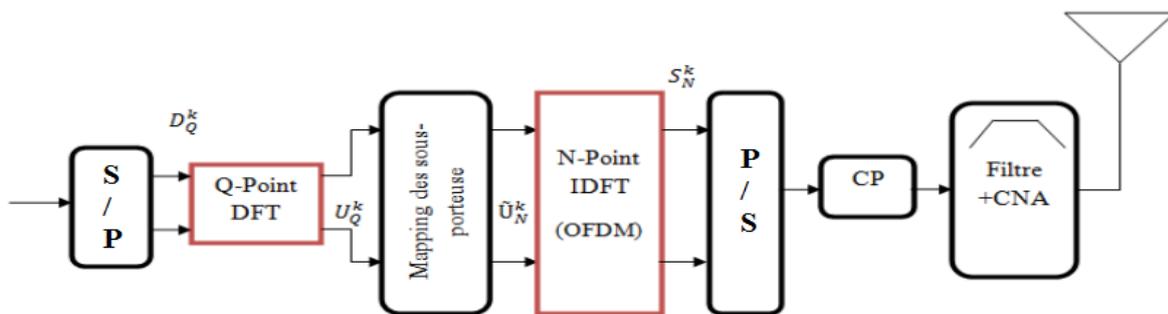


Figure II.7 : Schéma bloc d'émetteur SC-FDMA. [12]

II.4.4- Récepteur SC-FDMA

Le principe de la réception de SC-FDMA est semblable à l'OFDMA mais en ajoutant des blocs supplémentaires « démappage des sous-porteuses » et « IDFT ». La réallocation des Q sous-porteuses attribuées permet d'obtenir N signaux discrets. A la fin de l'IDFT on obtient les signaux SC-FDMA.

En transmission uplink, on a des signaux porteurs de données supplémentaires à savoir les signaux de référence, les signaux de contrôle et le « préambule d'accès aléatoire ». Ces signaux sont considérés comme des séquences de signalisation et ont une amplitude constante avec une auto corrélation nulle. Contrairement aux signaux informatifs, ces signaux ne font pas parti des systèmes de modulation SC-FDMA. La figure ci-dessous illustre ce principe de la réception SC-FDMA. [12]

La figure II.8 illustre le schéma bloc d'un récepteur SC-FDMA :

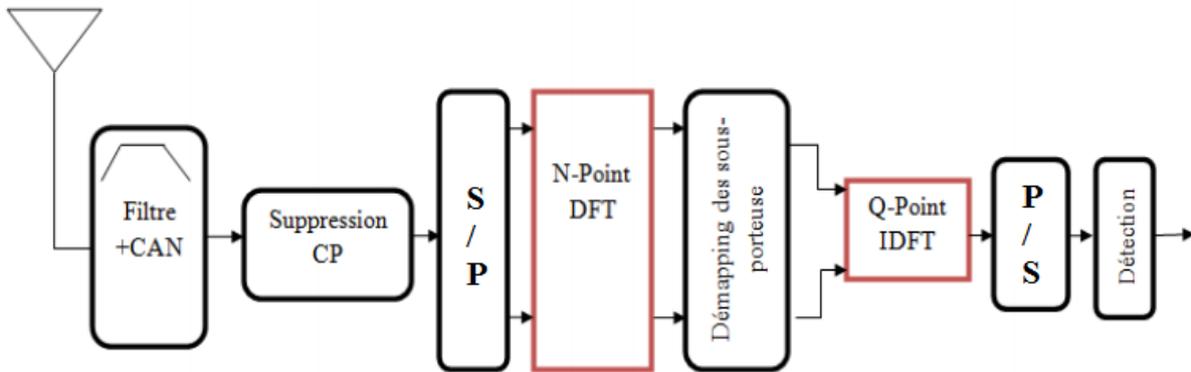


Figure II.8 : Schéma bloc de récepteur SC-FDMA. [12]

II.4.5- Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA

Le SC-FDMA utilise deux méthodes pour associer les données aux sous-porteuses (mapping): **distribuée** et **localisée**. Dans le mode SC-FDMA distribué (I-FDMA), les données de l'utilisateur occupent un ensemble de sous-porteuses non consécutives de façon à réaliser une diversité en fréquence. En revanche dans le SC-FDMA localisé (L-FDMA), les données de l'utilisateur occupent un ensemble de sous porteuses consécutives localisées réalisant ainsi le gain sélectif en fréquence par établissement d'un ordonnancement dépendant du canal « Channel-Dependent Scheduling: CDS ». Dans le cas d'équidistance entre les sous-porteuses, le IFDMA est appelé FDMA intercalé « Interleaved FDMA». L'IFDMA est un cas particulier de SC-FDMA. Elle a prouvé une bonne efficacité car l'émetteur peut moduler le signal dans le domaine temporel. [13]

II.4.6- Modes FDD et TDD

Les transmissions en voie montante dans les systèmes LTE sont organisées en modes trames et slots. Une trame est constituée de 20 slots ; chacune ayant 6 ou 7 symboles SC-FDMA selon le type d'intervalle de garde utilisé. La durée d'une trame est fixée à 10 ms, soit 0.5 ms pour le slot. Du point de vue spectrale, le système LTE dispose de six canaux de largeur de bande allant de 1.4 à 20 MHz. Chaque canal est subdivisé en plusieurs sous-canaux de largeur de 15 KHz chacun. [13]

II.5- Génération des sous-porteuses orthogonales

Une des contraintes fixées au départ pour la spécification de l'interface radio LTE était qu'il devait être possible de planifier un réseau avec un motif à 1. Au contraire de GSM, où un terminal distingue facilement deux émissions de stations de base proches mais différentes, car elles sont faites sur des fréquences distinctes, un terminal LTE sépare, comme en UMTS, deux émissions différentes par une corrélation.

Il convient donc de disposer de séquences possédant de bonnes propriétés de corrélation et d'inter-corrélation. Pour les signaux de référence sur la voie descendante, LTE repose sur les séquences de Gold. Pour les fonctions de synchronisation, de détection d'accès initial et les signaux de référence sur la voie montante, le système utilise des séquences de Zadoff-Chu dont les propriétés sont très voisines de celles des séquences de Gold.

Une séquence de Zadoff-Chu particulière est affectée à chaque cellule (deux cellules voisines utilisent des séquences de Zadoff-Chu engendrées à partir de valeurs différentes) afin de séparer, en réception, les émissions de stations de bases voisines ou de terminaux attachés à des stations de bases différentes, mais voisines. Au sein d'une même station de base, on utilise des décalages cycliques de la même séquence qui sont orthogonales, afin de séparer des transmissions faites par différents terminaux. [4]

II.6- Systèmes MIMO (Multiple input, Multiple Output)

Jusqu'à présent, nous avons considéré que l'émetteur et le récepteur dont chacun est équipé par une seule antenne : Cela correspond à ce qu'on appelle system SISO (Single Input Single Output).

Parmi les innovations, du point de vue technique, qu'apporte le Long Term Evolution, la technologie Multi Input-Multi Output (MIMO) est aux premiers rangs.

Les systèmes MIMO sont basés sur une multiplication d'antennes à la fois en émission et en réception à la différence des systèmes SISO (une antenne à chaque extrémité du lien RF), SIMO (une antenne à l'émission plusieurs antennes en réception) et MISO (plusieurs antennes à l'émission, une antenne en réception). Les systèmes d'antennes MIMO jouent un rôle important pour le LTE. La technologie MIMO permet la transmission parallèle et simultanée de données sur la même fréquence avec plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur. Plusieurs formes d'applications de MIMO sont prévues pour le LTE: elles peuvent être cataloguées comme multiplexage spatial (Space Multiplex), diversité spatiale (Space Diversity), formation de faisceaux (Beam forming (BF)). Les systèmes d'antennes MIMO permettent à la fois une augmentation de débit et l'efficacité spectrale. Le principe est représenté schématiquement par l'illustration ci-dessous. [14]

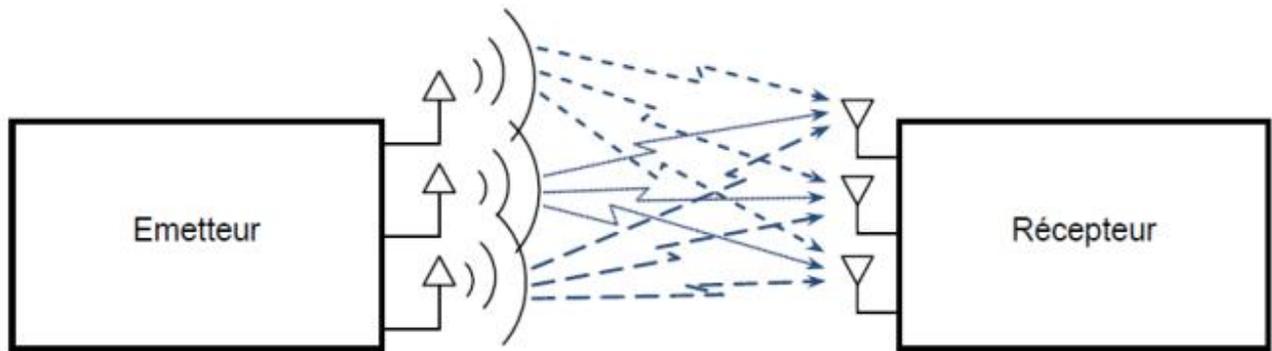


Figure II.9 : Principe de la transmission multi-antenne avec MIMO (3X3). [14]

II.7- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de décrire de façon concise la méthode d'accès au réseau 4G/LTE. Une étude plus approfondie aurait pu être effectuée, mais les principes définis par nos soins sont suffisants à l'étude du canal PRACH, que nous allons entamer dans ce qui suit.

Chapitre III

III.1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu des concepts utilisés dans la planification des performances du PRACH. Pour cela, la procédure d'accès aléatoire sera décrite dans un premier temps. Ensuite, nous allons définir le canal PRACH, les étapes de sa planification et les problèmes pouvant être engendrés au cours de son utilisation.

III.2- Procédure d'accès aléatoire RA (Random Access)

Il est important de noter qu'il existe deux types d'accès aléatoire : [2]

- **CFRA (Contention Free Random Access):** Ou Accès sans conflit, l'UE requiert l'accès au réseau pour l'exécution d'un handover ou en réponse à des données reçues par l'eNodeB.
- **CBRA (Contention Based Random Access):** Ou accès basé sur les conflits, pour ce cas, l'UE requiert l'accès au réseau pour, en plus des deux raisons susmentionnées, un accès initial depuis le mode veille, un rétablissement d'une connexion perdue, ou pour l'envoi de données à l'eNodeB.

Cette section explique la procédure d'accès aléatoire (RA) basée sur la contention définie pour les réseaux LTE. La procédure RA consiste principalement en une prise de contact à quatre messages entre l'appareil (UE) et l'eNodeB. La figure III.1 illustre la procédure LTE RA avec les étapes suivantes:[15]

1. Transmission du préambule d'accès aléatoire.
2. Réception d'une réponse d'accès aléatoire.
3. Transmission de la demande de connexion RRC.
4. Réception d'une résolution de conflit.

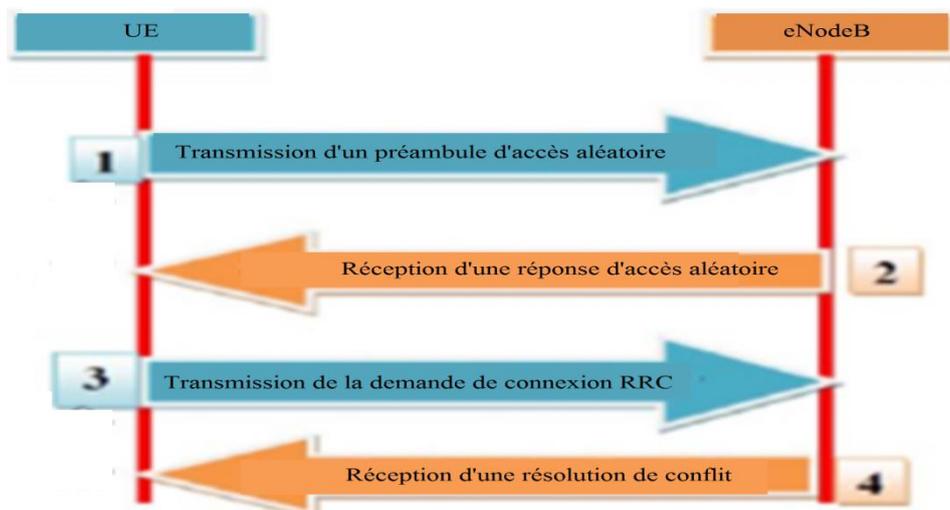


Figure III.1: Procédure d'accès aléatoire LTE. [15]

a. Transmission du préambule à accès aléatoire (Message1)

- Un appareil tentant d'établir une connexion transmet un préambule sélectionné au hasard (choisi parmi un ensemble d'un maximum de 64 préambules possibles, même si certains d'entre eux peuvent être réservés pour un accès prioritaire) dans la prochaine ressource RACH disponible.
- L'eNodeB peut estimer le temps de transmission de l'appareil en détectant son préambule à accès aléatoire.
- Puisqu'il est possible que plusieurs appareils envoient des préambules simultanément, il peut y avoir des collisions pendant la procédure d'accès. Ces collisions seront détectées dans le message 3.

b. Réception d'une réponse à accès aléatoire (Message2)

- Pour chaque préambule détecté dans chaque ressource accédée (slot), l'eNodeB envoie une commande d'avance de temps à tous les dispositifs qui ont transmis un préambule spécifique dans un PRACH spécifique pour ajuster la synchronisation. De plus, l'eNodeB alloue des ressources de transmission aux appareils qui ont envoyé un préambule donné dans un PRACH donné pour la transmission du Message 3.
- Si un appareil envoie le Message 1 et qu'il ne reçoit pas le RAR de l'eNodeB dans une période, appelée RA-Response Taille de la fenêtre (RAR), ou il reçoit un RAR qui ne joint pas les informations relatives à sa demande d'accès, il reporte la tentative d'accès à la prochaine opportunité RACH. Cela peut être dû à une collision ou à un évanouissement de canal qui a corrompu le RAR transmis. L'en-tête MAC peut porter les valeurs des paramètres de backoff, désignés sous le nom d'indicateur de backoff (BI), pour les UE en collision ou non détectés.
- Les périphériques en collision ou non détectés doivent attendre un nombre spécifique de sous-trames avant de tenter à nouveau d'accéder au canal.
- Le compteur de backoff exprime le nombre de sous-trames. Si un appareil reçoit le RAR sans informations que le préambule qu'il a sélectionné et transmis dans le Msg1, l'appareil choisit au hasard un compteur de backoff de zéro au BI et retransmet un préambule RA nouvellement sélectionné (Msg1) dans le prochain créneau RA disponible lorsque le compteur d'attente expire (c'est-à-dire qu'il diminue à zéro).
- En LTE, la plage de BI est de 0 à 960 sous-trames. La procédure se poursuit jusqu'à ce que le nombre maximum de transmissions de préambule soit atteint. Si le max de nombre de transmissions est atteint, les tentatives supplémentaires sont bloquées.

c. Demande de connexion de contrôle des ressources radio (RRC) (message 3)

- Le dispositif qui a envoyé le Message 1 pour lancer la procédure d'accès et reçoit le RAR associé à son préambule transmis, transmet dans les ressources attribuées notifiées dans le RAR, son identité de terminal temporaire à l'eNB en utilisant le canal partagé de liaison montante physique (PUSCH) pour demander une Connexion RRC.
- Dans le cas où deux ou plusieurs utilisateurs MD ont envoyé le Message 1 en utilisant le même préambule dans le même PRACH (Figure III.2), et que la collision n'a pas été détectée dans le Message 2 (en raison d'une interférence constructive), le Message 3, entrera en collision.
- Pour détecter une telle collision, le Message 3 est transmis avec Hybrid Automatic Repeat-reQuest (HARQ). Lors d'un nombre maximum de tentatives d'envoi du Message 3, une collision est déclarée et l'accès au système est reporté.

d. Configuration de la connexion RRC (Message 4)

- L'eNodeB envoie des informations d'allocation de ressources à chacun des périphériques ayant obtenu l'accès, en spécifiant leurs adresses. Par conséquent, la connexion est établie et l'appareil peut démarrer la transmission des données. Si l'eNodeB ne reçoit pas l'ACK pour le Message 4, il attend un intervalle de temps pour la retransmission du Message 4.
- Le nombre de retransmission HARQ du Message 3 et du Message 4 est limité à N-HARQ fois. Le dispositif démarre / redémarre un temporisateur de résolution de conflit (CRT) indiquant la durée maximale de la procédure d'accès aléatoire (présentée en sous-trames) chaque fois qu'il transmet le Message 3.
- Le périphérique déclare un échec d'accès aléatoire et revient à l'étape (1) pour retransmettre sa tentative RA si le temporisateur de résolution de conflit expire.
- Notez que le Message 3 et le Message 4 sont utilisés pour transporter les messages de signalisation de configuration de connexion ainsi que pour la résolution des conflits.

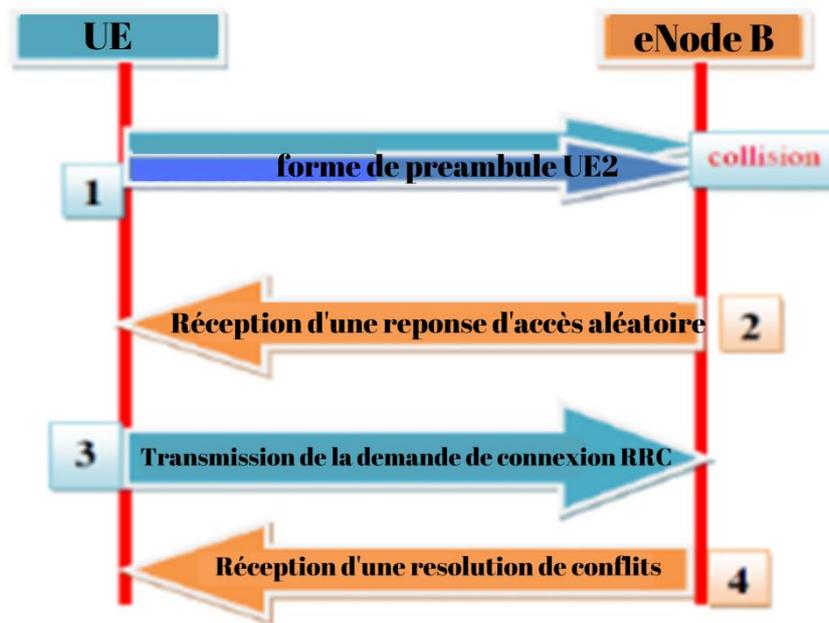


Figure III.2 : Événement de collision dans le message 1. [15]

III.3- PRACH (Physical Random Access Channel)

III.3.1- Simple définition

La transmission PRACH (le préambule PRACH) est un signal basé sur OFDM, mais il est généré en utilisant une structure différente des autres transmissions de liaison montante; plus particulièrement, il utilise un espacement de sous-porteuses plus étroit et n'est donc pas orthogonal au PUSCH et au PUCCH, par conséquent, ces canaux souffriront d'une certaine interférence du PRACH. Cependant, l'espacement des sous-porteuses utilisé par le PRACH est un sous-multiple entier de l'espacement utilisé pour les autres canaux, et par conséquent le PUSCH et le PUCCH n'interfèrent pas avec le PRACH. [15]

III.3.2- Le format de préambule

Le préambule PRACH consiste en un préfixe cyclique, une partie utile de la séquence puis une période de garde qui est simplement une partie de temps inutilisée jusqu'à la fin de la dernière sous-trame occupée par le PRACH. [13]

Nous verrons que la longueur du préambule PRACH varie en fonction du format du préambule. Par exemple, la longueur de PRACH avec le format de préambule 0 est $(3186 + 24567) T_s$. (un échantillon (T_s) vaut $1 / 30,72 = 0,03255$ us).

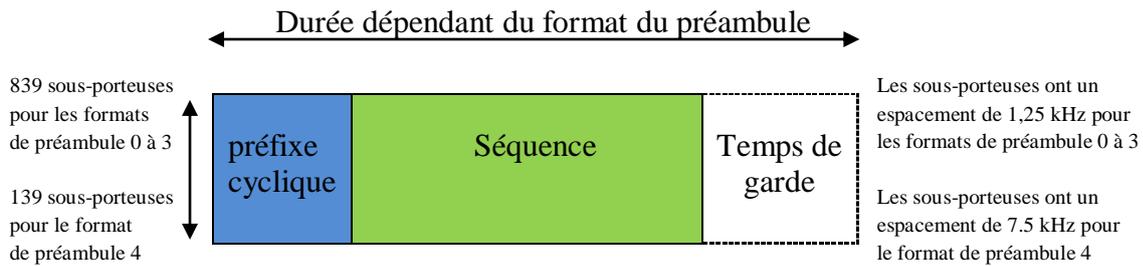


Figure III.3 : structure du préambule PRACH avec la position du préfixe cyclique et le temps de garde. [15]

Cette période de garde tient compte de l'incertitude de synchronisation due à la distance de l'eNodeB.

Il existe cinq formats de préambule PRACH qui ont des longueurs différentes pour le préfixe cyclique, la partie utile du symbole et la période de garde.

format de préambule	T_{CP}	T_{SEQ}	Temps de garde
0	$3,168 \times T_s$	$24,576 \times T_s$	$2,976 \times T_s$
1	$21,024 \times T_s$	$24,576 \times T_s$	$15,840 \times T_s$
2	$6,240 \times T_s$	$2 \times 24,576 \times T_s$	$6,048 \times T_s$
3	$21,024 \times T_s$	$2 \times 24,576 \times T_s$	$21,984 \times T_s$
4	$448 \times T_s$	$4,096 \times T_s$	$288 \times T_s$

Tableau III.1 : différents formats de préambule. [15]

La différence entre le format de préambule en se basant sur le tableau III.1.

Par simplicité, ne pensons qu'au format 0, 1, 2,3.

- Regardons T_{SEQ} (longueur de la séquence). Le format 0 et le format 1 est composé d'exemplaires uniques de PRACH converti dans le domaine temporel. Les formats 2 et 3 sont constitués de deux copies de la séquence PRACH concaténées.
- Le T_{SEQ} plus long aiderait à décoder PRACH sous condition bruyante car elle fournit une fenêtre de corrélation plus longue pour détecter PRACH.
- Regardons maintenant la partie T_{CP} . Nous notons que les formats 1 et 3 ont un T_{CP} beaucoup plus long que les formats 0 et 2.

- Un CP plus long nous donnerait une meilleure tolérance dans l'environnement de décoloration et réduirait l'ISI même dans un environnement à forte décoloration.
- En fait, il existe une autre différence importante entre chaque format de préambule. C'est la différence de temps de garde.

III.3.3- Indice de configuration PRACH

PRACH Configuration Index : indique la densité de temps de PRACH (nombre d'occurrences dans une trame radio).

L'indice de configuration PRACH détermine le format de préambule à utiliser. Par exemple, si l'indice de configuration PRACH est de 10, comme indiqué dans le tableau suivant, le format de préambule 0 est utilisé.

Format de préambule	Indice de configuration PRACH
0	0~15
1	16~31
2	32~47
3	48~63

Tableau III.2 : Format de préambule et l'indice de configuration. [15]

III.4 Planifications du PRACH

En LTE, le planificateur radio doit sélectionner le format de préambule pour chaque cellule en fonction de la plage de cellules maximale estimée. Le format de préambule typique sera le «Format de préambule 0», permettant des tailles de cellule allant jusqu'à 15 km. D'autres formats de préambule permettent des plages de cellules plus grandes. Les paramètres PRACH doivent être planifiés. [13]

III.4.1-Configuration de l'indice PRACH

Le paramètre d'indice de configuration PRACH sélectionne l'une des 4 durées PRACH possibles. Il peut être envoyé dans n'importe quelle trame radio ou uniquement dans les trames paires. Il spécifie également le numéro de la sous-trame où PRACH peut être. Cela dépend comme déjà dit du format du préambule. La capacité PRACH est déterminée par le numéro de trame système (SFN). Un PRACH est considéré par sous-trame.

III.4.2- Décalage de fréquence PRACH

Décalage de fréquence PRACH (`prachFreqOffset`) est le paramètre qui détermine l'emplacement du préambule PRACH dans le domaine fréquentiel.

Il définit la position du préambule PRACH dans la bande passante du canal.

PRACH doit être positionné à côté du PUCCH. Pour éviter le chevauchement avec PUCCH dans le domaine fréquentiel, différents décalages de fréquence sont définis.

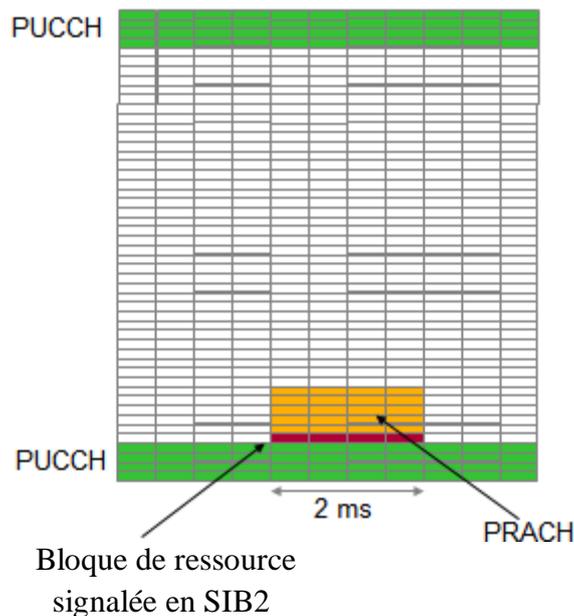


Figure III.4 : la position du préambule PRACH dans la bande passante du canal PRACH. [15]

La zone PRACH doit être à côté de la zone PUCCH soit à la limite supérieure ou inférieure de la bande de fréquences afin de maximiser la zone PUSCH mais ne pas chevaucher la zone PUCCH. Le paramètre est configuré en fonction de la région PUCCH, c'est-à-dire que sa valeur dépend du nombre de ressources PUCCH disponibles.

III.4.3- Indice de séquence racine (`rootSeqindex`)

L'indice de «séquence racine» alloué est un indice logique. L'indice physique réel est obtenu à l'aide d'une table de consultation définie dans 3GPP TS 36.211 (une partie du tableau est indiquée ci-dessous).

Chaque rootSeqIndex logique est associé à un seul numéro de séquence racine physique.

- La distance de réutilisation des «séquences racines» doit être maximisée.
- L'eNB peut être configuré avec toutes les cellules utilisant les mêmes séquences de racine, à condition que les cellules utilisent des indices de configuration de préambule différents.

Numéro de séquence racine logique	Numéro de séquence physique (par ordre croissant du numéro de séquence logique correspondant)
0-23	129, 710, 140, 699, 120, 719, 210, 629, 168, 671, 84, 755, 105, 734, 93, 746, 70, 769, 60, 779, 2, 837, 1, 836
24-29	56, 783, 112, 727, 148, 691
30-35	80, 759, 42, 727, 40, 799
36-41	35, 804, 73, 766, 146, 693
42-51	31, 808, 28, 811, 30, 809, 27, 812, 29, 810
52-63	24, 815, 48, 731, 68, 771, 74, 765, 178, 661, 136, 703
64-75	86, 753, 78, 761, 43, 796, 39, 800, 20, 819, 21, 818
76-89	95, 744, 202, 637, 190, 649, 181, 658, 137, 702, 125, 714, 151, 688
90-115	217, 622, 128, 711, 142, 697, 122, 717, 203, 636, 118, 721, 110, 729, 89, 750, 103, 736, 61, 778, 55, 784, 15, 824, 14, 852
116-135	12, 827, 23, 816, 34, 805, 37, 802, 46, 793, 207, 632, 179, 660, 145, 694, 130, 709, 223, 616
136-167	228, 611, 227, 612, 132, 707, 133, 706, 143, 696, 135, 704, 161, 678, 201, 638, 173, 66, 106, 733, 83, 756, 91, 748, 66, 773, 53, 786, 10, 829, 9, 830
168-203	7, 832, 8, 831, 16, 823, 47, 792, 64, 775, 57, 782, 104, 735, 101, 738, 108, 731, 208, 631, 184, 655, 197, 642, 191, 648, 121, 718, 141, 698, 149, 690, 216, 623, 218, 621
204-263	152, 687, 144, 695, 134, 705, 138, 701, 199, 640, 162, 677, 176, 663, 119, 720, 158, 681, 164, 675, 174, 665, 171, 668, 170, 669, 87, 752, 169, 670, 88, 751, 107, 732, 81, 758, 82, 757, 100, 739, 98, 741, 71, 768, 59, 780, 65, 774, 50, 789, 49, 790, 26, 813, 17, 822, 13, 826, 6, 833

Tableau III.3 : Représentation de l'indice physique réel. [15]

Les 64 séquences de préambule par cellule sont regroupées en sous-ensembles et l'ensemble de séquences dans chaque sous-ensemble est signalé comme faisant partie des informations système. Le terminal sélectionne de manière aléatoire une séquence dans l'un des sous-ensembles pendant le processus d'accès aléatoire. Le sous-ensemble à partir duquel la séquence de préambule est sélectionnée dépend de la quantité de données que le terminal souhaite transmettre sur PUSCH.

L'ensemble des 64 séquences de préambule dans une cellule est déterminé en incluant tous les décalages cycliques disponibles d'une séquence Zadoff – Chu racine.

Si les 64 préambules ne peuvent pas être générés à partir d'une seule séquence Zadoff – Chu racine, des séquences de préambule supplémentaires sont obtenues à partir des séquences racine avec les indices logiques consécutifs jusqu'à ce que les 64 séquences soient trouvées. Des séquences racine ZC supplémentaires ne doivent être utilisées que lorsque le nombre requis de séquences (64) ne peut pas être généré par des décalages cycliques d'une seule séquence racine. De plus, la puissance de traitement d'eNodeB augmente avec des séquences racine supplémentaires

III.4.4- Changement cyclique PRACH (PRACH Cyclic Shift)

Cyclic shift est utilisé pour assurer une séparation suffisante entre les préambules. Le délai de propagation et la séparation cyclique sont directement liés à la plage de cellules.

Le tableau suivant montre comment l'interférence intracellulaire est optimisée par rapport à la taille des cellules: plus la taille des cellules est petite, plus le nombre de signatures orthogonales est grand et meilleures sont les performances de détection.

Plage de cellules (km)	Configuration des CN (PRACHCs)	Nombre de décalages cycliques	Sign par séquence racine	# seq racine par cellule
0.76	1	13	64	1
1.04	2	15	55	2
1.47	3	18	46	2
2.04	4	22	38	2
2.62	5	26	32	2
3.48	6	32	26	3
4.33	7	38	22	3
5.48	8	46	18	4
7.34	9	59	14	5
9.77	10	76	11	6
12.20	11	93	9	8
15.92	12	119	7	10
22.78	13	167	5	13
38.80	14	279	3	22
58.83	15	419	2	32
118.90	0	839	1	64

Tableau III.4 : Optimisation des interférences intracellulaires par rapport à la taille des cellules. [15]

- Afin de répondre aux exigences de couverture d'accès aléatoire, seules des informations de 6 bits sont transmises à l'aide d'un préambule.
- Le dimensionnement du décalage cyclique est donc très important dans la conception RACH.
- La configuration détermine le nombre de décalages cycliques nécessaires pour générer le préambule.
- Les signatures de colonne par séquence racine indiquent le nombre de signatures dans la zone de corrélation zéro (définie dans ce qui suit).
- La 4ème colonne montre que de nombreux indices de séquence racine sont requis pour cette configuration PrachCs spécifique
- La 5ème colonne est la plage de cellules maximale respective.

III.4.5- ZeroCorrelation Zone

- ZeroCorrelation Zone et High Speed Flag sont des conditions préalables à la planification de «l'indice de séquence racine».
- ZeroCorrelation Zone détermine la taille du décalage cyclique utilisé pour générer la séquence PRACH à partir de la «séquence racine».
- Grand décalage cyclique (grande ZeroCorrelation Zone) nécessaire pour prendre en charge de plus grandes plages de cellules.
- Le grand décalage cyclique signifie que moins de séquences PRACH peuvent être générées à partir de chaque «séquence racine».
- Les séquences PRACH générées à partir de différentes «séquences racines» ne sont pas orthogonales.

III.5- Problèmes typiques de PRACH

De nombreux paramètres associés au PRACH sont configurés lors de la planification du réseau radio, par exemple un modèle de réutilisation est prévu pour les séquences racine PRACH; les plages de cellules sont planifiées à l'aide de l'indice de configuration PRACH et du décalage cyclique de la séquence racine. La capacité PRACH est planifiée à l'aide de l'indice de configuration PRACH. Ces activités de planification nécessiteront probablement une optimisation au fil du temps. D'autres paramètres associés au PRACH peuvent également nécessiter une optimisation, par exemple paramètres de contrôle de l'alimentation et d'allocation des ressources. [15]

Les problèmes de performances de PRACH peuvent être causés par:

➤ **Antenne rayonnant au-delà de la plage de cellules maximale prévue :**

La planification PRACH détermine la plage de cellules maximale. Les procédures PRACH échoueront si l'UE est situé en dehors de la plage de cellules maximale (provoque une ambiguïté du préambule PRACH). Cela peut être causé par des antennes rayonnant au-delà de la plage de cellules maximale prévue. La solution consiste soit à planifier à nouveau le PRACH pour prendre en charge une plus grande plage de cellules, soit à incliner les antennes vers le bas pour éviter le dépassement ou à modifier les paramètres pour réduire la couverture.

➤ **Conflits de séquence racine PRACH et appels fantômes :**

La planification PRACH comprend l'attribution de séquences racines à chaque cellule. Ces séquences racines doivent être allouées avec un modèle de réutilisation qui évite aux cellules voisines d'utiliser les mêmes séquences racines. Si les cellules voisines se voient attribuer les mêmes séquences racine, plusieurs cellules peuvent recevoir la même transmission PRACH d'un UE. Cela peut déclencher plusieurs cellules pour initier des connexions et créer ainsi des «appels fantômes». Le risque est faible lorsque les cellules voisines ne sont pas synchronisées dans le temps car chaque cellule écoutera généralement les transmissions PRACH à des moments différents. Les cellules appartenant au même eNodeB sont synchronisées dans le temps et des réseaux complets peuvent être synchronisés dans le temps pour des fonctionnalités telles que le MBMS et la coordination des interférences dans le domaine temporel.

➤ **Réception peu fiable de MSG3 :**

MSG3 correspond à la première transmission PUSCH. Cela signifie qu'il est transmis avant que l'adaptation de liaison et la commande de puissance aient eu une chance de converger. MSG3 est transmis en utilisant une allocation de bloc de ressources initiale, un MCS initial et une puissance d'émission initiale. Si l'un de ces éléments est inexact, l'eNodeB peut avoir du mal à recevoir MSG3. L'inconvénient d'allouer un nombre accru de blocs de ressources et un MCS inférieur est un impact négatif sur la capacité de la cellule, c'est-à-dire que chaque transmission MSG3 consomme plus de ressources. Il réduit également la puissance d'émission par bloc de ressources pour l'UE de bord de cellule.

➤ **Réception peu fiable de MSG5 :**

MSG5 correspond à la deuxième transmission PUSCH. Semblable à MSG3, il est transmis avant que l'adaptation de liaison et le contrôle de puissance aient eu une chance de converger. Ainsi, sa fiabilité peut également être affectée par le bloc de ressources initiales, le MCS et les allocations de puissance d'émission.

➤ **Capacité de traitement eNodeB :**

La capacité de traitement eNodeB limite le nombre de réponses d'accès aléatoire (MSG2) qui peuvent être générées pour chaque sous-trame PRACH. L'eNodeB est spécifié pour être capable de détecter les 64 préambules PRACH mais de ne répondre qu'à 8 d'entre eux. L'eNodeB a également une limite générale sur le nombre d'actions du plan de contrôle qui

peuvent être traitées par seconde. Cela signifie qu'à mesure que les cellules deviennent plus occupées, le taux de réussite de la prise de contact MSG1 -> MSG2 diminuera.

➤ **Congestion PDCCH :**

L'encombrement de PDCCH peut entraîner le blocage du message RAR (Random Access Response). Le RAR est transmis sur le PDSCH et nécessite que son allocation de bloc de ressources soit signalée à l'UE sur le PDCCH. Les transmissions PDCCH pour les informations système et les allocations de ressources de radio messagerie sont prioritaires par rapport aux transmissions PDCCH pour RAR. Un blocage peut se produire si la capacité PDCCH est limitée et si les transmissions pour les informations système, la radio messagerie et le RAR coïncident. Cela peut se produire lorsque le nombre de symboles PDCCH est alloué dynamiquement car l'algorithme attend que le blocage se produise avant de mettre à niveau le nombre de symboles alloués. Une fois que le blocage s'est produit, l'eNodeB ne réessaye pas la transmission, de sorte que la liaison MSG1 vers MGS2 échoue.

III.6- Conclusion :

D'après ce que nous avons vu dans ce chapitre, nous pouvons conclure qu'une planification PRACH optimale est primordiale à un bon fonctionnement d'un réseau LTE. Une synchronisation parfaite doit être atteinte pour éviter tout type de problèmes de fonctionnement dans notre cellule.

Chapitre IV

IV.1- Introduction

Lorsque l'UE est allumé pour la première fois, il entame immédiatement la procédure d'accès aléatoire au réseau (Random Access) via le canal PRACH. Nous allons au cours de ce chapitre, étudier deux points essentiels de cette procédure :

- Probabilité de détection du PRACH.
- Probabilité de fausse alarme.

Pour ce faire, nous allons utiliser le logiciel MATLAB, et exploiter des programmes développés par les équipes de mathworks.

IV.2- La probabilité de détection du PRACH

Représente la probabilité pour que l'UE détecte correctement le canal d'accès aléatoire lors de sa première connexion. En effet, plusieurs possibilités de mauvaise détection peuvent se présenter :

- Détecter un préambule incorrect.
- Ne détecter aucun préambule.
- Détection du préambule correct mais avec une mauvaise estimation de la synchronisation.[16]

La bonne détection du PRACH peut dépendre de plusieurs paramètres, que nous allons tâcher de définir et exploiter dans ce qui suit.

IV.2.1- Simulation

Dans cette partie, à l'aide d'un programme MATLAB, nous allons tracer un graphe de la variation de la probabilité de détection du canal d'accès aléatoire physique par rapport à différentes valeurs du rapport signal sur bruit S/B.

Et pour cela dans notre programme nous allons suivre les étapes suivantes :

- Configuration de la simulation :

Consiste à définir le nombre de sous-trames utilisées (variable), le décalage fréquentiel qui sera modélisé entre l'émetteur et le récepteur (270 Hz), et les points S/B en dB à simuler (de -20dB à 0dB avec un pas de 2 dB).

- Configuration UE :

Les paramètres de l'équipement utilisateur (UE) qui sont : le nombre de blocs de ressources (variable), le mode de duplexage (FDD), la longueur de préfixe cyclique en voie montante(Normale), et le nombre d'antennes de transmission (1).

Chapitre IV. Simulation des performances du PRACH sous MATLAB

- Configuration PRACH :

Comme le format du PRACH (variable), l'indice de séquence logique (22), l'indice du préambule (variable selon le format du PRACH) ...etc.

- Configuration du canal de propagation :

Configurer le modèle du canal de propagation (normal ou sans perturbations) le nombre d'antenne de réception(2) ...etc.

- Une analyse :

A la fin de la boucle S/B, les probabilités de détection calculées pour chaque valeur S/B sont tracées.

A titre d'exemple, dans la figure IV.1 une forme d'onde PRACH est configurée et transmise par un canal approprié. Au niveau du récepteur, la détection PRACH est effectuée et la probabilité de détection PRACH est calculée. L'exemple est exécuté pour les paramètres définis : 10 sous-trames, 6 blocs de ressources, format du PRACH 0, Indice du préambule 0.

Ces paramètres nous serviront de repères à varier afin d'étudier leur incidence sur la détection du PRACH.

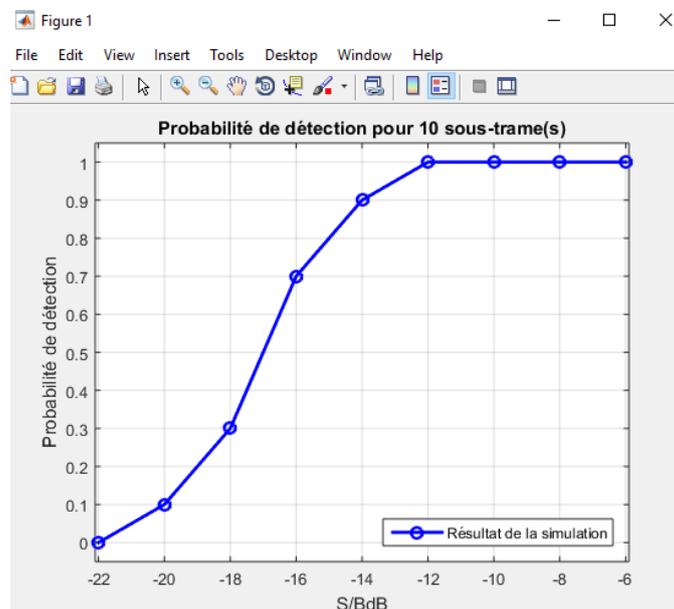


Figure IV.1 : Probabilité de détection du PRACH pour 10 sous-trames.

En analysant la figure, on note qu'un S/B minimal de -22 dB est nécessaire pour avoir une chance de détecter le Canal PRACH, avec une quasi-certitude de détection à -12 dB. Ces valeurs feront office de repère pour nos prochaines simulations.

IV.2.1.1- Variation du Nombre de Blocs de ressources

Ici, nous allons fixer le nombre sous-trames à 10, le format PRACH à 0, et varier le nombre de blocs de ressources déployés

a- Premier cas :

Pour la figure IV.2, nous avons choisi de simuler le programme pour 15 blocs de ressources. Nous voyons bien que la valeur minimale de S/B est de -22 dB, alors que pour une probabilité de détection à 1, un S/B de -14dB est maintenant suffisant.

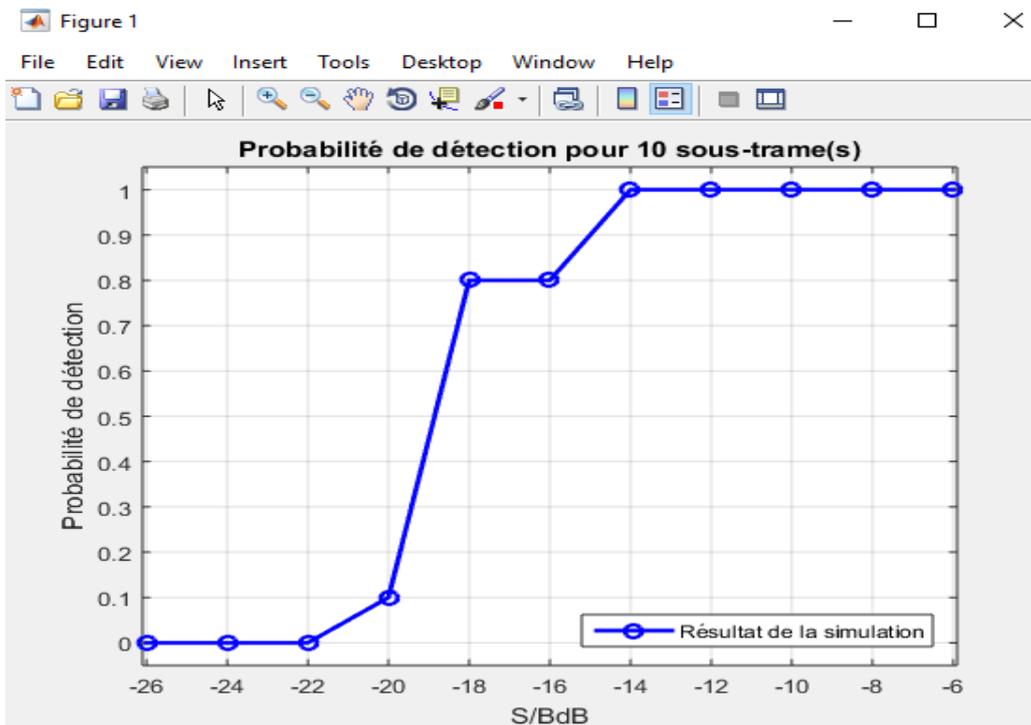


Figure IV.2 : Probabilité de détection du PRACH pour 15 blocs de ressources.

b- Deuxième cas :

Pour la figure IV.3 nous avons choisi une valeur de 25 blocs de ressources. la valeur minimale nécessaire de S/B est passée de -22dB à -24dB, alors que pour une probabilité de détection à 1, le S/B nécessaire demeure -14dB.

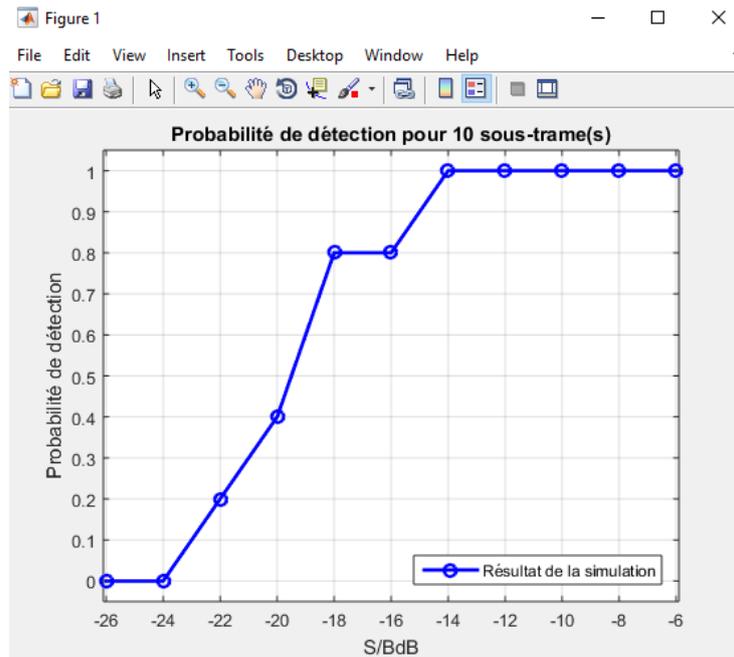


Figure IV.3 : Probabilité de détection du PRACH.

pour 25 blocs de ressources.

IV.2.1.2- Variation du Nombre de sous-trames

Ici, nous allons fixer le nombre de blocs de ressources à 6, le format PRACH à 0, et varier le nombre de sous-trames.

a- Premier cas :

Pour la figure IV. 4 nous avons choisi une valeur de 100 sous-trames. La valeur minimale nécessaire de S/B est maintenant de -26dB, alors que pour une probabilité de détection à 1, le S/B nécessaire est de -10dB.

Chapitre IV. Simulation des performances du PRACH sous MATLAB

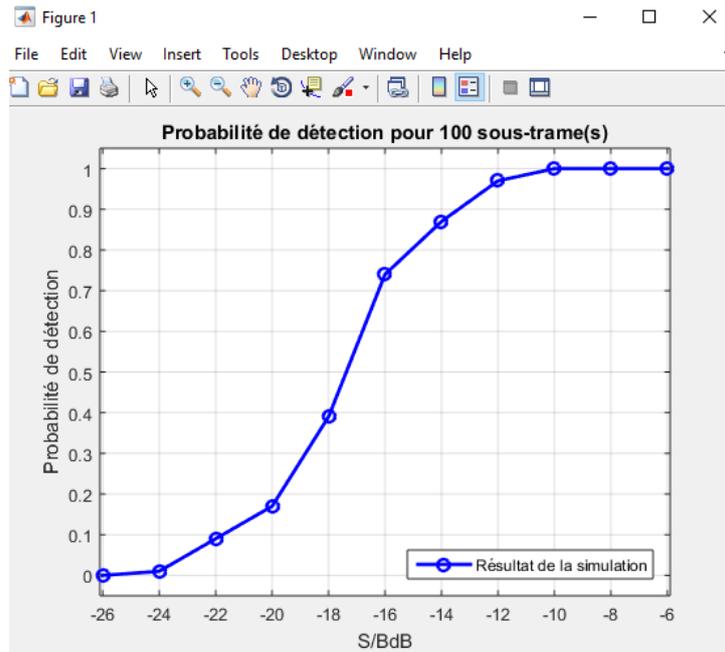


Figure IV.4: Probabilité de détection du PRACH pour 100 sous-trames.

b- Deuxième cas :

Pour la figure IV. 5 nous avons choisi une valeur de 200 sous-trames. La valeur minimale nécessaire de S/B est maintenant de -26dB, alors que pour une probabilité de détection à 1, le S/B nécessaire demeure -8 dB.

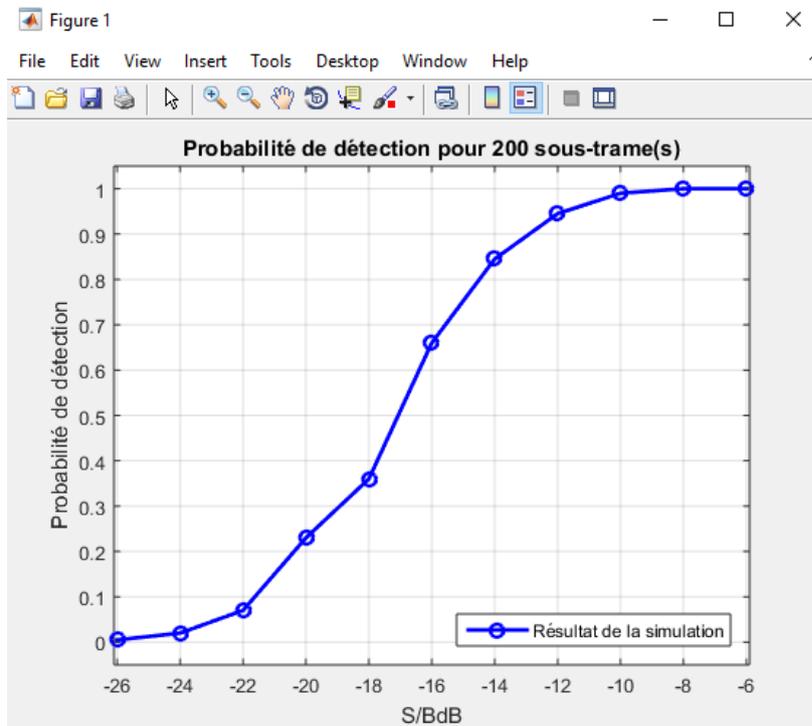


Figure IV.5: Probabilité de détection du PRACH pour 200 sous-trames.

IV.2.1.3- Variation du format du PRACH

Ici, nous allons fixer le nombre de blocs de ressources à 6, le nombre de sous-trames à 10, et varier format PRACH.

a- Premier cas :

Pour la figure IV. 6 nous avons fixé la valeur du format 1, et par conséquent, l'indice de préambule à 16. La valeur minimale nécessaire de S/B est maintenant de -20dB, alors que pour une probabilité de détection à 1, le S/B nécessaire est de -12 dB.

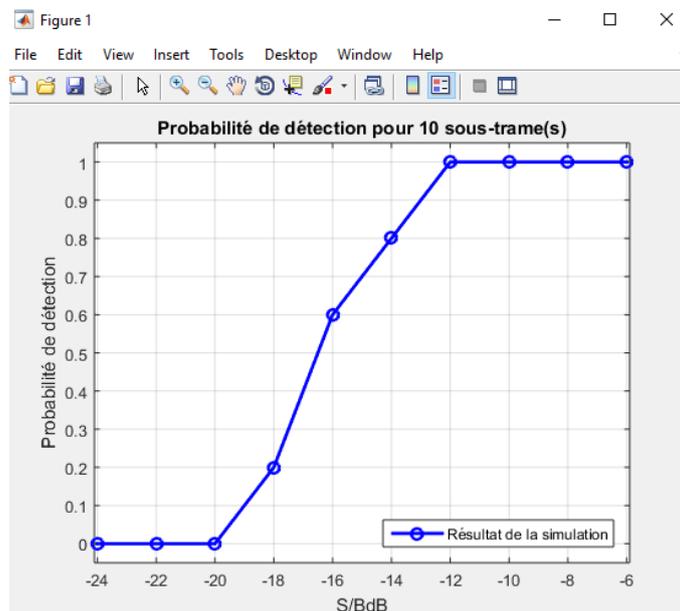


Figure IV.6: Probabilité de détection du PRACH pour les formats 1.

b- Deuxième cas :

Pour la figure IV. 7 nous avons fixé les valeurs du format 2 et 3, et par conséquent, l'indice de préambule à 32 et 48 respectivement. La valeur minimale nécessaire de S/B est maintenant de -22dB, alors que pour une probabilité de détection à 1, le S/B nécessaire demeure -14 dB.

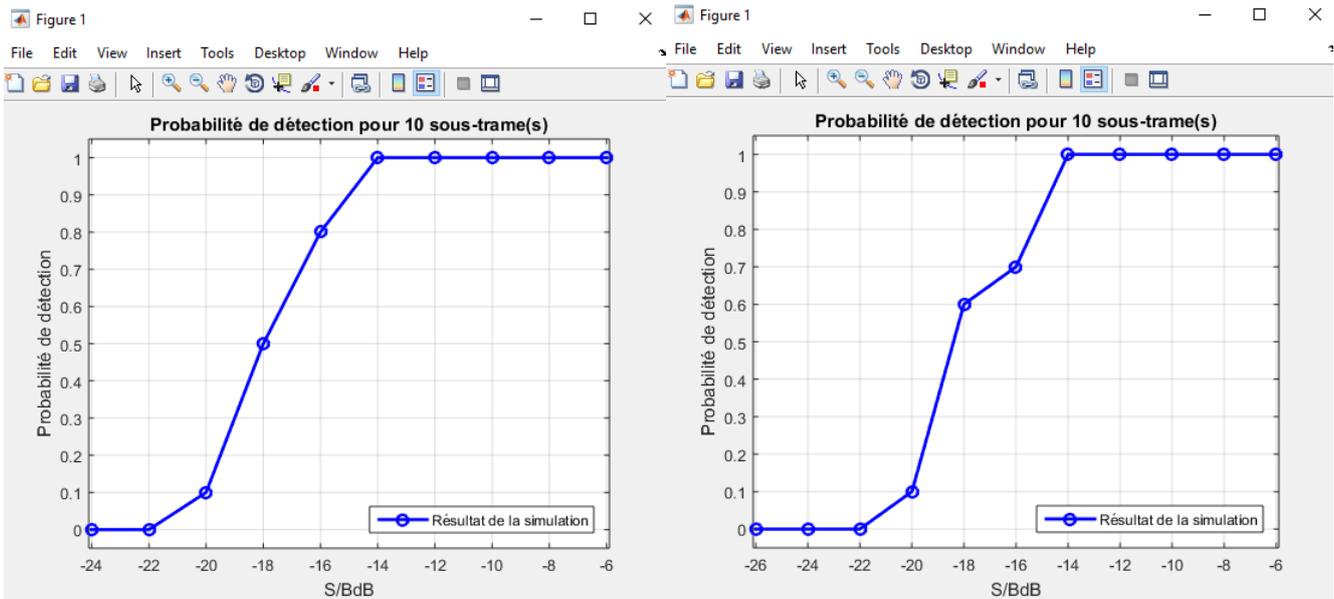


Figure IV.7: Probabilité de détection du PRACH pour les formats 2 et 3.

IV.3 La probabilité de fausse alarme PRACH

L'entrée du détecteur PRACH est constituée exclusivement d'un signal de bruit gaussien. La détection est tentée avec tous les indices de préambule de cellule possibles, et si un préambule est détecté dans le bruit, une fausse détection est accumulée. [17]

IV.3.1 Simulation

Toujours à l'aide d'un programme MATLAB, nous allons tracer un graphe de la variation de la probabilité de fausse détection du PRACH en fonction, cette fois-ci, du nombre de tentatives d'accès aléatoire.

Et pour cela dans, notre programme nous allons suivre les étapes suivantes :

- Configuration UE :

Les paramètres d'équipement utilisateur (UE) que sont : le nombre de blocs de ressources, le mode du duplexage.

- Configuration PRACH :

On définit la configuration PRACH ; comme le format de PRACH, l'indice de séquence logique, l'indice de configuration de décalage cyclique...

Chapitre IV. Simulation des performances du PRACH sous MATLAB

- Boucle de détection dans chaque sous-trame :

Initialiser le nombre de fausses détections et entrer une boucle pour traiter plusieurs tentatives de détection. Pour chaque tentative de détection, un signal de bruit gaussien est créé et une détection est effectuée dessus pour chaque indice de préambule de cellule possible. Dans le cas idéal, aucun préambule n'aurait dû être détecté. Dans le cas où un préambule a été détecté, une fausse alarme pour cet essai est enregistrée.

- Calculer la probabilité finale de fausse alarme :

Calculer la probabilité de fausse alarme finale et tracer la probabilité de fausse alarme en cours dans la simulation.

A titre d'exemple, Dans la figure IV.8, une forme d'onde PRACH est configurée et transmise par un canal approprié. Au niveau du récepteur, la détection PRACH est effectuée et la probabilité de fausse alarme est calculée. L'exemple est exécuté pour les paramètres définis : 6 blocs de ressources et 1400 tentatives d'accès aléatoire.

Ces paramètres nous serviront de repères à varier afin d'étudier leur incidence sur la détection du PRACH.

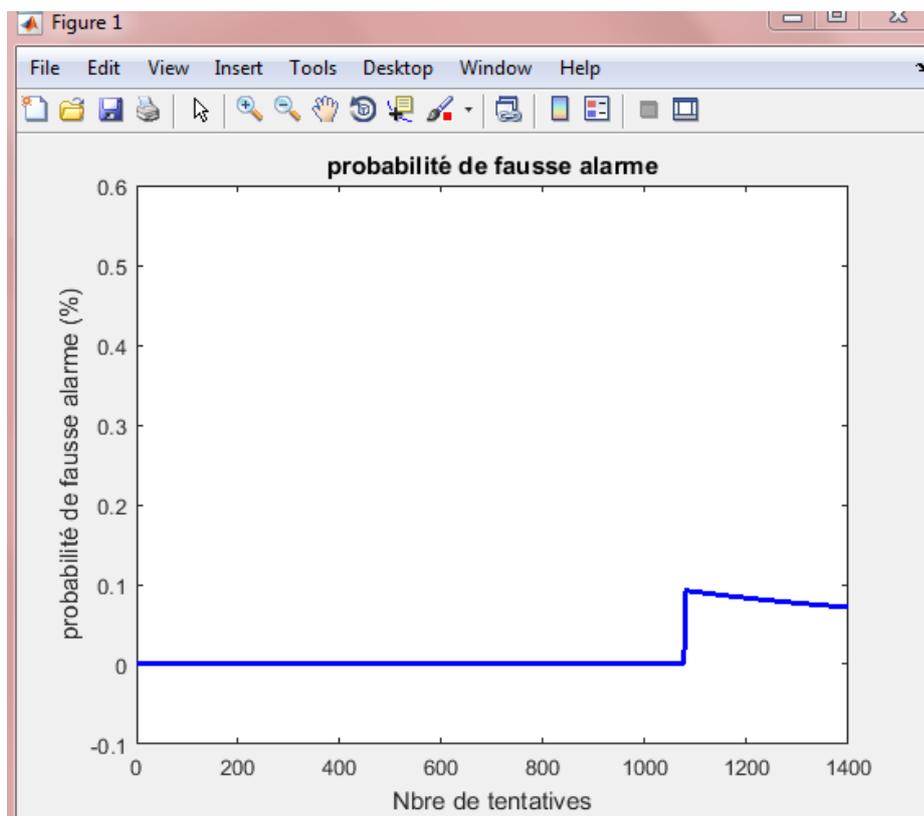


Figure IV.8: Probabilité de fausse alarme de PRACH pour 1400 tentatives et 6 blocs de ressources.

Nous constatons que pour les paramètres définis, la probabilité d'une fausse détection du PRACH est nulle jusqu'aux alentours de la 1100^{ème} tentative, où l'on observe un pic à 0.1% autour duquel la probabilité se stabilise.

IV.3.1.1 Variation du nombre de blocs de ressources

Ici, nous allons fixer le nombre de tentatives d'accès aléatoire à 1400 et faire varier le nombre de blocs de ressources déployés.

a- Premier cas :

Pour la figure IV.9, nous allons déployer 25 blocs de ressources dans le réseau. Et on a trouvé une probabilité de fausse alarme PRACH 0.48% aux alentours de la 430^{ème} tentative.

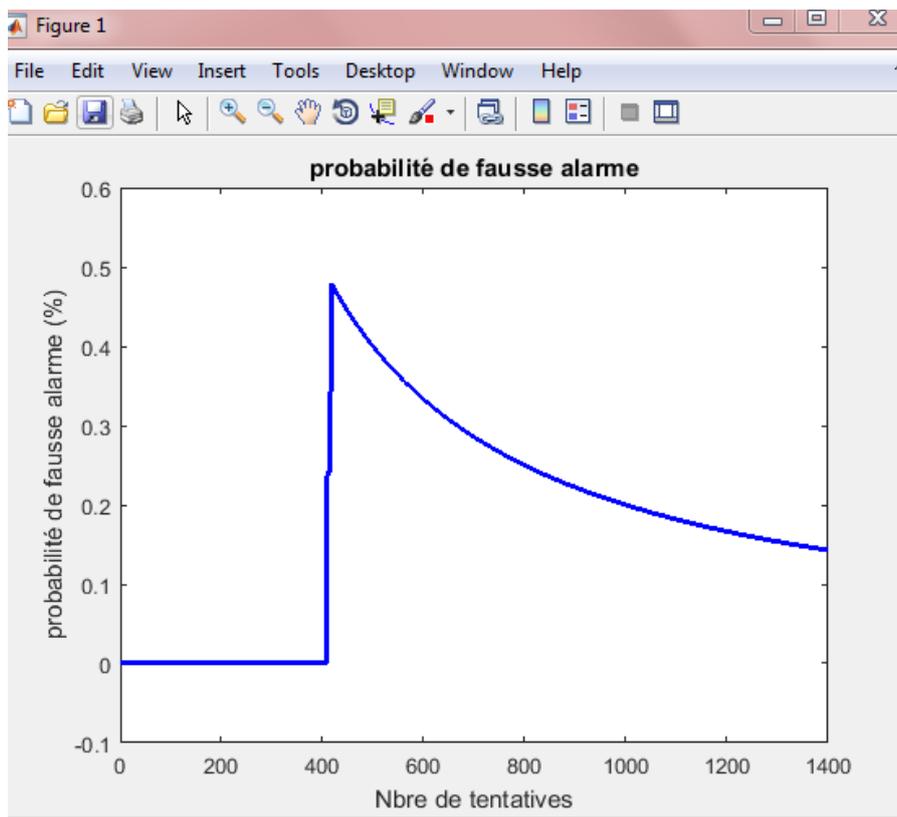


Figure IV.9: Probabilité de fausse alarme pour 25 blocs de ressource.

b- deuxième cas :

Pour la figure IV.10, nous allons déployer 45 blocs de ressources dans le réseau. Et nous avons obtenu les résultats :

- un pic de probabilité de fausse alarme PRACH à 0.25% aux alentours de la 430^{ème} tentative avant de redescendre.
- Un pic de probabilité de fausse alarme PRACH à 0.2% aux alentours de la 1200^{ème} tentative.
- Un nouveau pic probabilité de fausse alarme PRACH 0.25% aux alentours de la 1300^{ème} tentative.

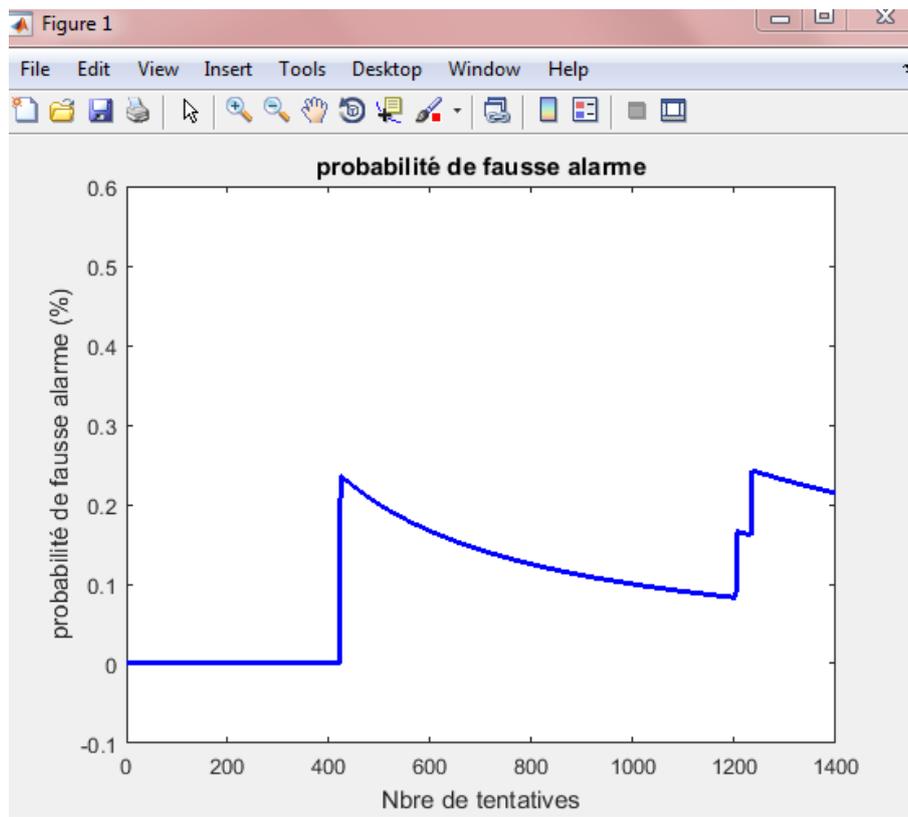


Figure IV.10: Probabilité de fausse alarme pour 45 blocs de ressource.

IV.3.1.2 Nombre de tentatives d'accès aléatoire

Nous allons maintenant fixer le nombre de blocs de ressources à 6 et varier le nombre de tentatives.

a- Premier cas :

Pour la figure IV.11, nous avons simulé 2400 tentatives d'accès aléatoire au réseau, nous avons noté deux pics pour la probabilité de fausse alarme :

- Un pic à 0.1% aux alentours de la 1200^{ème} tentative.
- Un pic à 0.1% également aux alentours de la 1800^{ème} tentative.

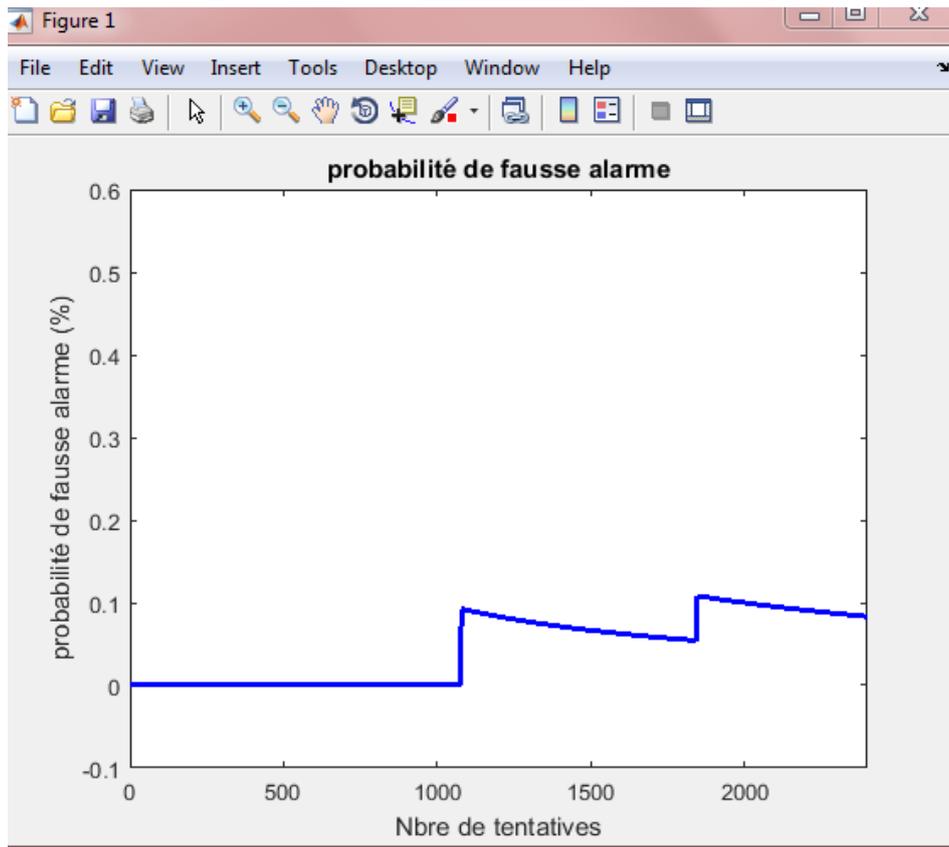


Figure IV.11: Probabilité de fausse alarme pour 2400 tentatives.

b- Deuxième cas :

Pour la figure IV.12, nous avons simulé 5000 tentatives d'accès aléatoire

Nous avons noté plusieurs pics de la probabilité de fausse alarme :

- Un pic à 0.1% également aux alentours de la 1200^{ème} tentative.
- Un pic autour de 0.1% aux alentours de la 1800^{ème} tentative.
- Un pic autour de 0.07% aux alentours de la 4300^{ème} tentative.
- Un pic autour de 0.09% aux alentours de la 4600^{ème} tentative.
- Un pic autour de 0.1% aux alentours de la 4700^{me} tentative.

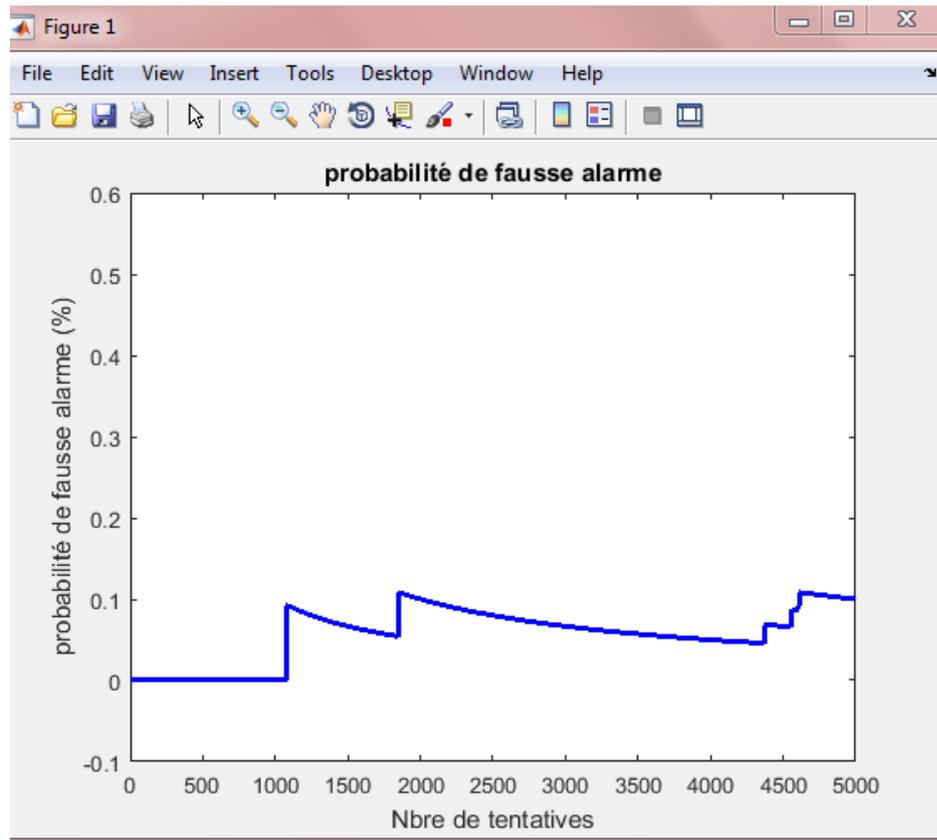


Figure IV.12: Probabilité de fausse alarme pour 5000 tentatives.

VI.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous pouvons déduire qu'en dépit d'être favorable à une meilleure détection du canal PRACH, le nombre de blocs de ressources déployés peut causer une fausse détection de ce dernier, car même si la probabilité reste faible, le simple fait qu'elle existe peut être nuisible au réseau.

Un format du PRACH plus élevé peut-être plus efficace, mais sa consommation de ressources pousse les ingénieurs à en favoriser un plus petit à faible distances pour des soucis économiques. Ce constat vaut également pour le nombre de sous-trames.

Conclusion
Générale

L'accès aléatoire et son bon fonctionnement constituent un enjeu vital pour les opérateurs. Une mauvaise appréciation de cette opération peut entraîner un sérieux revers à la pérennité des technologies déployées.

L'objectif principal de notre travail réside dans la présentation la plus complète possible des méthodologies de planification du canal physique d'accès aléatoire au réseau 4G/LTE (PRACH).

Pour cela, nous avons pu bénéficier d'un soutien non négligeable de la part des ingénieurs planning de l'opérateur mobile « Ooredoo ». Pandémie du Covid-19 oblige, nous n'avons malheureusement pas pu effectuer un stage à proprement parler au sein de leur service. Mais ils nous ont néanmoins été très utiles dans l'approfondissement de nos connaissances en matière de réseaux mobiles, leur fonctionnement, et les différentes procédures d'analyse et planification d'un site donné.

L'étude de diverses documentations spécialisées nous ont permis de maîtriser le procédé d'accès aléatoire au réseau pour un U.E, La planification du canal dédié audit procédé.

Nous avons également eu accès à l'ossature d'un programme destiné à la simulation des performances du PRACH, que nous avons pu exploiter afin de vous offrir notre chapitre IV.

Nous espérons avoir réussi à bien structurer notre présent mémoire étant donné la complexité de la tâche qui nous incombait, au vu de la situation sanitaire actuelle.

Il serait judicieux comme perspectives d'avenir d'approfondir notre étude sur d'autres canaux déployés en 4G, une étude d'autres aspects de la planification d'un site d'opérateur de réseaux mobiles.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] 4G LTE (Long Term Evolution) .Regional Forum for ARAB Region: IMTSystems Technology, Evolution and Implementation, Tunis, Tunisia, 7 - 9 May 2013.
- [2] LTE L14 Radio Network Functionality, Ericsson AB 2014.
- [3] X. Lagrange, Principe de fonctionnement de l'interface radio LTE. Dossier Technique de l'ingénieur. May 2013.
- [4] LTE et les réseaux 4G. Yannick Bouguen, Éric Hardouin, François – Xavier Wolff. Sous la direction de Guy Pujolle. Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8
- [5] Yannick Bouguen& al ; Lte et les réseaux 4G; Chapitre III: L'interface Radio LTE.
- [6] Principes de fonctionnement de l'interface radio LTE. Technologies de l'information | Réseaux Télécommunications par Xavier LAGRANGE. 10 mai 2013
- [7] 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. 2011 Erik Dahlman, Stefan Parkvall& Johan Sköld.Published by Elsevier Ltd.
- [8] Principe de la transmission OFDM - Utilisation dans les systèmes cellulaires. Technologies de l'information | Réseaux Télécommunications par Xavier LAGRANGE. 10 mai 2012.
- [9] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "Peak-to average Power Ratio of Single Carrier FDMA Signals with Pulse Shaping", Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) 2006.
- [10] H. G. Myung and D. J. Goodman, "Single Carrier FDMA: A New Air Interface for Long Term Evolution," 1 st edition, Wiley, 2008.
- [11] Genevieve Baudoin. "Radiocommunications Numériques : Principe, Modélisation et Simulation" (Tome 1), 2002.

[12] A. Rachini, "Etude de la Synchronisation Temporelle dans les Systèmes MIMO-OFDM Appliqués aux Réseaux Mobiles", Thèse doctorat, Université Libanaise, 2014.

[13] M. Kumar Sinha, V. Kumar Trivedi, Student Member, IEEE P. Kumar, Member, "Single Carrier FDMA for Next Generation Communication Systems: An Overview" Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology Patna Bihar 801118, India 2015.

[14] H. Holma and A. Toskala, LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio access, John Wiley and Sons Inc. 2009.

[15] Documentations Ooredoo.

[16] 3GPP TS 36.141 "Base Station (BS) conformance testing"

[17] 3GPP TS 36.104 "Base Station (BS) radio transmission and reception".