

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Nouvelles Technologies de L'information et de la
Communication
Département D'électronique et des Télécommunications



Mémoire de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologie

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des télécommunications

Présenté par :
HADFI Ahlam
DJEDIAI Souhila

Thème

**Simulation d'une transmission LTE dans un
système de communication 4G**

Devant le jury d'examen composé de :

Mr.AOUNALLAH Naceur	MCA	Président	UKM Ouargla
Mr.OTMANI Hamza	MCB	Examinnateur	UKM Ouargla
Mr.MOAD Med Sayah	MAA	Encadreur	UKM Ouargla

Année Universitaire: 2019 /2020

Résumé

La 4G est la quatrième génération de réseaux mobiles. Elle est la norme succédant à la 3G avec plusieurs améliorations des performances de la communication radiomobiles. L'augmentation de débit est l'un des buts les plus importants à la technologie LTE. Pour atteindre cet avantage des nouvelles techniques de transmission sont introduites (OFDM, MIMO...).

L'objectif de ce travail est l'étude et la simulation du canal PDSCH d'une transmission en lien descendant du système LTE. Nous présentons, dans notre travail, l'influence des paramètres intrinsèques de la technologie LTE (configuration MIMO, type de modulation...) sur les performances de la transmission.

Mots-clés: LTE, Canal PDSCH, Configuration MIMO.

ملخص

4G هي الجيل الرابع من شبكة الهاتف المحمول. إنها التكنولوجيا الموالية للجيل الثالث 3G مع العديد من التحسينات في أداء الاتصالات اللاسلكية المتنقلة. ومن أهم أهداف تقنية LTE زيادة التدفق و لتحقيق هذه الميزة, تقنيات جديدة سيتم ادخالها.

الهدف من هذا العمل هو دراسة ومحاكاة القناة PDSCH في إرسال الوصلة الهابطة لنظام LTE. لإبراز تأثير كل من (configuration MIMO, type de modulation) على أداء نقل البيانات.

Abstract

4G is the fourth generation of mobile networks. It is successor standard to 3G with several improvements in the performance of radio-mobile communication. Increasing throughput is one of the most important goals of LTE technology. To achieve this advantage, new transmission techniques are introduce (OFDM, MIMO...).

The objective of this work is the study and simulation of the PDSCH channel downlink transmission technique of the LTE system. We present in our work, the influence of the intrinsic parameters of LTE technology (MIMO configuration, type of modulation) on the transmission performance.

Keywords: LTE, PDSCH channel, MIMO configuration.

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions **Dieu** le tout puissant, le Miséricordieux, de nos avoir donnés le courage, la force, la santé et la persistance pour mener à terme ce travail ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr : Med Sayah Moad, et les membres du jury.

Nous tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous tiens remercions nôtres professeurs et nôtres collègues chacun a son nom.

Et aussi nous remercions l'ensemble du personnel de notre département d'électroniques et de télécommunication.

Dédicace01

Je dédie ce projet de fin d'étude a

A mes chers parents,

A mes Frères,

A toute ma famille,

A mes amies,

Tous ceux qui j'aime et qui m'aiment.

HADFI Ahlam

Dédicace02

Je dédie ce modeste travail à:

*La memoire de mon très cher **père** qui était le lumière de ma vie.*

*Ma chère **mère** l'heroine qui a sacrifiée beaucoup pour témoigne ce moment.*

*Ma chère **grande-mère** qui est toujours la pour nous.*

*Mes chères soeurs **Ibtissem** et **Hind**.*

*Mes chers frères **Adel** et **Mostapha**.*

*Mes chères tantes **Aicha**, **Nassira**, **Houria**, **Samia**, **Nedjma** et **Fatna**.*

*Mes chers oncles **Miloud**, **Abdelatif** et **Abderraouf**.*

*Toutes la famille **Djediai**.*

*Mes chères amies **Ahlem**, **Sabrina** et **Sanaa**.*

Tout ceux que j'aime et qui m'aiment.

Liste des abréviations

2G : deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

5G : cinquième génération

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

ACK Acknowledge aGW access gateway

AGCH Access Grant Channel

AUC Authentication Center

BCH Broadcast Channel

BCCH Broadcast Control Channel

BER Bit Error Rate

BPSK Binary Phase-Shift Keying

BSC Base Station Controller

BSS Base Sub-System

BSIC Base Station Identity Code

BTS Base Transceiver Station

CA Carrier Aggregation

CBCH Call Broadcast Channel

CC Component Carrier

CCCH Common Control Channel

CDMA CDMA Code Division Multiple Access

CP Cyclique Préfix

CQI Channel Quality Indicator

CN Core Network

DCCH Dedicated Control Channel

DCS Digital Communication System

DFT Discrete Fourier Transform

DL DownLink

DL-SCH D Link Shared Channel

DPCCH Dedicated Physical Control Channel

DPDCH Dedicated Physical Data Channel

DSC Digital Cellular System

DSP Densité Spectrale de Puissance

DTCH Dedicated Traffic Channel

E-AGCH E-DCH Absolute Grant Channel

EDGE Enhanced Data Global Environment

E-DPCCH Enhanced-DPCCH

E-DPDCH Enhanced-DPDCH

E-GPRS Enhanced -General Packet Radio Service

EIR Equipment Identity Register

ENodeB Evolved NodeB

EPA Extended Pedestrian A

EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Control Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transform
GGSN	GPRS Gateway Support Node
GMSC	Gateway MSC
GMSK	Gaussian Minimum-Shift keying
GP	Guard Period
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
GW	Gateway
HARQ	Hybrid Automatic Repeat on Request
HLR	Home Location Register
HSCD	High Speed Circuit Switched Data
HS-SCCH	High Speed Downlink Packet Access
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DPCCH	High-Speed Dedicated Physical Control Channel
HSPA	High-Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access +
HS-PDSCH	High-Speed Physical Downlink Shared Channel
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data

HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IAM	Interférence d'Accès Multiple
ICI	Inter Cellular Interference
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISI	Interférence Inter-Symbole
LAPDm	Link Access Procedures on Dm channel
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
MAC	Medium Access Control
MBMS	Multimedia Broadcast and Multicast Service
MBSFN	Multicast Broadcast Single Frequency Network
MCH	Multicast Channel
MCCH	Multicast Control Channel
ME	Mobile Equipment
MIB	Master Information Block
MIMO	Multi-Input Multiple-Output
MME	Mobility Management Entity
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Service Switching Center
MSISDN	Mobile Station ISDN Number
MTC	Machine-Type Communications

MTCH	Multicast Traffic Channel
NACK	Negative Acknowledge Node B base Station
NCT	New Carrier Type
NSS	Network Sub-System
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMS-N	Centre D'exploitation et de Maintenance Réseau
OMS-R	Centre D'exploitation et de Maintenance radio
OSS	Operation Support System
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCH	Paging Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PCU	Packet Control Unit
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PHICH	Physical Hybrid Indicator Channel HARQ
PHY	Couche Physical
P-GW	Packet-Switch GetW
PRACH	Physical Random Access Channel
PSK	Phase Shift Keying
PTM	Point-To-Multipoint

PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
PWS	Public Warning System
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QOS	Quality Of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RB	Resource Block
RE	Resource Element
RRC	Radio Ressources Control
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
SCH	Synchronization Channel
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SC-PTM	SC- Point à Multipoint Unicellulaire
S1-C	S1-Contrôle
SDCCH	Signaling Dedicated Control Channel
SFN	System Frame Number
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SI	Segmentation Information
SIB	System Information Block
SIMO	Single Input Multiple output

SISO	Single Input Single Output
S1- U	S1-Usager
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TCH	Traffic Channel
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TM	Transparent Mode
TS	Time Slot
UCCH	Uplink shared channel
UE	User Equipment
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UL	Uplink
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Télécommunications System
VL	Visitor Location Register
VoIP	Voice Over IP
V2x	Vehicle-To-Everything
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

Table des Matières

Résumé.....	II
Remerciements.....	III
Dédicace01	IV
Dédicace02	V
Liste des Abréviations.....	VI
Table des Matières.....	X

Liste des Figures	XIII
Liste des Tableaux	XV
Introduction Générale.....	1

Chapitre I : Evolution des réseaux mobiles

<u>I.1 Introduction</u>	2
<u>I.2 Structure générale d'un réseau mobile</u>	2
<u>I.3 Présentation générale du réseau GSM</u>	2
I.3.1 L'architecture du réseau GSM.....	2
I.3.1.1 Le sous- système radio BSS	3
I.3.1.2 Le sous- système d'acheminement NSS	4
I.3.1.3 Le sous- système d'exploitation et de maintenance OSS	4
I.3.2 L'interface radio (Um)	5
I.3.3 Organisation des Canaux Radio	5
I.3.3.1 Les canaux physiques:	5
I.3.3.2 Les canaux logiques:	5
I.3.4 Système cellulaire.....	7
I.3.5 Le handover dans le GSM	7
I.3.6 L'implantation du GPRS sur le réseau GSM existante	7
I.3.7 L'intégration de l'EDGE.....	9
<u>I.4 Présentation générale du réseau UMTS</u>	9
I.4.1 L'architecture globale du système UMTS.....	9
I.4.1.1 Le réseau d'accès radio (UTRAN).....	10
I.4.1.2 Le réseau cœur.....	10
I.4.2 L'interface radio UMTS.....	11
I.4.3 Étalement de spectre.....	11
<u>I.5 Evolution de l'UMTS</u>	12
I.5.1 HSDPA	12
I.5.1.1 Caractéristiques générales du HSDPA	12
I.5.2 HSUPA	13
I.5.2.1 Caractéristiques générales du HSUPA	13
I.5.3 HSPA ⁺ High Speed Packet Access.....	13
I.5.3.1 Caractéristiques générales du HSPA ⁺	13
<u>I.6 LTE Long Term Evolution</u>	14
<u>I.7 LTE-A Long Term Evolution-advanced</u>	14
<u>I.8 La 5^{ème} génération de réseaux mobile</u>	15
<u>I.9 Conclusion</u>	15

Chapitre II : Les Normes LTE

II. 1 Introduction	16
II. 2 Architectures générales du réseau 4 G	16
II.2.1 Le réseau d'accès E-UTRAN	17
II. 2.2 Le réseau cœur	17
II. 2.3 Les interfaces de réseau	18
II.3 Caractéristiques fondamentales de la LTE	19
II.3.1 L'interface radio:	19
II.3.2 L'agilité en fréquence:	20
II.3.3 Mobilité:	21
II.3.4 Codage:	21
II.3.5 Multiplexage:	21
II.3.6 MIMO (Multi Input Multi Output):	21
II.4 Techniques de transmission	23
II.4.1 OFDM:	23
II.4.1.1 Chaîne de transmission OFDM	24
II.4.2 SC-FDMA	25
II.5 Structure des ressources de transmission du LTE	26
II.5.1 Structure de la trame en mode FDD	26
II.5.2 Structure de la trame en mode TDD	28
II.6 Différents canaux	28
II.6.1 Les canaux physiques	28
II.6.1.1 Les canaux physiques pour la voie descendante	28
II.6.1.2 Les canaux physiques pour la voie montante	29
II.6.2 Les canaux logiques	30
II.6.2.1 Les canaux de contrôle	30
II.6.2.2 Les canaux du trafic	31
II.6.3 Les canaux de transport	31
II.6.3.1 Les canaux de transport descendant	31
II.6.3.2 Les canaux de transport montant	32
II.7 Evolution des Release LTE:	32
II. 8 Conclusion	34
Chapitre III: Simulation et interprétation des résultats	
III.1 Introduction	35
III.2 Critères d'évaluation	35
III.3 Simulation et résultats:	36
III.3.1 Les étapes principales de cette simulation:	36

III.3.2 LTE PHY Downlink avec multiplexage spatial	37
III.3.2.1 Résultats de simulation de la configuration multiplexage spatial	37
III.3.3 LTE Downlink PDSCH avec diversité de transmission	41
III.3.2.2 Résultats de simulation de la configuration diversité de transmission	41
III.4 Résumé des résultats	45
III.5 Conclusion	47
Conclusion Générale.....	48
Bibliographie.....	49

Liste des Figures

Figure I.1: Structure générale d'un réseau mobile.	2
Figure I.2 : L'architecture du réseau GSM.....	3
Figure I.3 : Motif cellulaire hexagonal classique.	7
Figure I.4: L'architecture du GPRS.....	8
Figure I.5: L'architecture globale du système UMTS.....	9
Figure I.6 : Utilisation des codes de canalisation et d'embrouillage sur la voie montante et la voie descendante de l'UMTS.	12
Figure II.1 : Architecture du système LTE.....	17
Figure II.2 : Protocoles des couches de l'interface radio.....	20
Figure II.3: Le principe de la technique MIMO.....	22
Figure II.4 : Illustration de l'espacement entre sous porteuse.....	24
Figure II.5 : Chaîne de transmission OFDM.....	24
Figure II.6 : Interprétation temps-fréquence d'un signal OFDM.....	25
Figure II.7 : Schéma bloc du SC-FDMA.....	26
Figure II.8 : Structure de trame LTE FDD pour une bande de 20 MHz.....	27
Figure II.9 : Eléments de ressource (RE) et blocs de ressources (RB) LTE en configuration normale.....	27
Figure II.10 Structure de trame en TDD.....	28
Figure II.11: Mappage du canaux descendant et montant.....	32
Figure II.12: Agrégation de porteuses avec porteuse composante.....	33
Figure III.1 : Présentation du modèle de simulation	37
Figure III.2: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 16QAM ..	38
Figure III.3: Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 16QAM	38
Figure III.4: Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 16 QAM.....	38
Figure III.5: Evolution du débit en fonction du SNR pour 16 QAM	39

Figure III.6: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 64QAM ..	40
Figure III.7 : Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 64 QAM	40
Figure III.8 : Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 64 QAM.....	40
Figure III.9: Evolution du débit en fonction du SNR pour 64 QAM.	41
Figure III.10: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 16QAM	42
Figure III.11: Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 16QAM	42
Figure III.12 : Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 16 QAM.....	42
Figure III.13: Evolution du débit en fonction du SNR MIMO 2x2 (a) et MIMO 4x4 (b) pour 16QAM.	43
Figure III.14: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 64QAM.....	44
Figure III.15 : Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 64QAM.	44
Figure III.16 : Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 64 QAM.....	44
Figure III.17: Evolution du débit en fonction du SNR MIMO 2x2 (a) et MIMO 4x4 (b) pour 64QAM.	45
Figure III.18 : Performance du BER en fonction du SNR du configuration multiplexage spatial.....	46
Figure III.19 : Performance du BER en fonction du SNR du configuration diversité de transmission.	46

Liste des tableaux

Tableau I.1: les bandes montante et descendante des réseaux GSM.....	5
Tableau I.2 : Les canaux logiques du réseau GSM.....	6
Tableau I.3 : Type de codage GPRS.....	8
Tableau II.1 : Canaux physiques pour la voie descendante.....	29
Tableau II.2 : Canaux physiques pour la voie montant.....	29
Tableau II.3 : les canaux logiques de contrôle.....	30
Tableau II.4 : Les canaux du trafic.....	31
Tableau II.5 : Les canaux de transport descendant.....	31
Tableau II.6 : Les canaux de transport montant.....	32
Tableau III.1: Les Paramètres de simulation	37
Tableau III.2 : Les Paramètres de simulation	39
Tableau III.3: Les Paramètres de simulation	41
Tableau III.4 : Les Paramètres de simulation	43
Tableau III.5 : Comparaison de la configuration MIMO pour 16 et 64 QAM du canal PDSCH.....	45

Introduction Générale

Le domaine de télécommunication est un domaine très vaste, basé sur plusieurs technologies et toujours en évolution. Les réseaux de télécommunications mobiles ont connus une évolution extraordinaire ces dernières années. Commenant par la technologie GSM (Global System for Mobile Communications) qui représente la 2^{ème} génération, passant par la 3^{ème} génération UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) pour arriver à

un système tout IP dénommé LTE. De nos jours, bien que la 5^{ème} génération peine à être déployé, on parle déjà de la 6^{ème} génération.

La 4^{ème} génération du réseau mobile se base sur la norme LTE et LTE-A. Une évolution importante de la 4G est la technologies VoLTE (voice over LTE) qui assure une meilleure qualité d'appels vocaux. Le réseau LTE supporte un débit maximum descendant (du réseau au terminal) de 100 Mbps et un débit maximum montant (du terminal au réseau) de 50 Mbps en considérant une allocation de bande de fréquences de 20 MHz. Pour ce faire, LTE utilise des technologies avancées tels que MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Dans de tels réseaux, la qualité de transmission dépend essentiellement de la propagation des ondes électromagnétiques dans l'espace libre. Les dégradations causées par le phénomène des trajets multiples, constituent l'entrave majeure à l'augmentation des débit de transmission. Des simulations et des testes préalables à toutes implémentation sont donc nécessaires pour une meilleure prise en charge de la qualité de service (QoS).

Ce mémoire s'intitulant " Simulation d'une transmission LTE dans un système de communication 4G " a pour but de simuler les performances d'une liaison descendante de la 4G LTE. Nous allons considérer le canal physique PDSCH pour réaliser la simulation sous l'environnement Matlab. La simulation porte essentiellement sur le changement des paramètres intrinsèques de la transmission pour obtenir les bonnes conditions d'exploitation.

Notre travail est donc concentré sur l'étude les performances de canal PDSCH des réseaux 4G, pour cela on va présenter l'évolution de la téléphonie mobile depuis la 2^{ème} Génération (GSM) jusqu'à la 4^{ème} génération (LTE) et les caractéristiques de chaque génération, ensuit l'étude détaillé de réseau LTE, et enfin nous allons présenter et analyser les résultats de simulation.

Ces simulations seront effectuées sous matlab2013a et matlab2014a.

Chapitre I :

Evolution des réseaux mobiles

I.1 Introduction

I.2 Structure générale d'un réseau mobile

I.3 Présentation générale du réseau GSM

I.4 Présentation générale du réseau UMTS

I.5 Evolution de l'UMTS

I.6 LTE Long Term Evolution

I.7 LTE-A Long Term Evolution-advanced

I.8 La 5^{ème} génération de réseaux mobile

I.9 Conclusion

I.

I.1 Introduction

La 4^{ème} génération des réseaux mobiles est l'évolution des anciennes générations, avec des améliorations aux services fournis, ainsi qu'une restructuration de l'architecture du réseau.

Dans ce chapitre, afin de mieux appréhender les performances introduites par ces améliorations, nous allons présenter une brève description des systèmes de communication sans fils qui ont précédé la 4^{ème} génération. Nous verrons en premier lieu un réseau de la deuxième génération (2G) qui est le réseau GSM et ces évolutions GPRS (2,5G) et EDGE (2,75G). Nous décrivons aussi le réseau de la troisième génération UMTS ainsi que ces évolutions HSDPA, HSUPA et HSPA⁺. Nous limiterons notre présentation à l'architecture du réseau et à l'interface radio qui ont fait l'objet des évolutions majeures.

I.2 Structure générale d'un réseau mobile

Un réseau mobile est structuré généralement comme suit :

- **réseau d'accès:** est la partie radio d'un système de télécommunication mobile qui permet aux utilisateurs d'accéder au cœur du réseau.
- **réseau Backhaul:** appelée aussi le réseau d'amenée, il désigne le réseau qui assure le lien entre le cœur de réseau et les contrôleurs d'antennes d'accès.
- **réseau cœur:** qui consiste en deux domaines ; domaine circuit et domaine paquet. Le domaine circuit offre des services de commutation téléphonique (voix) tandis que le domaine paquet offre un accès au monde des données (IP). [1]

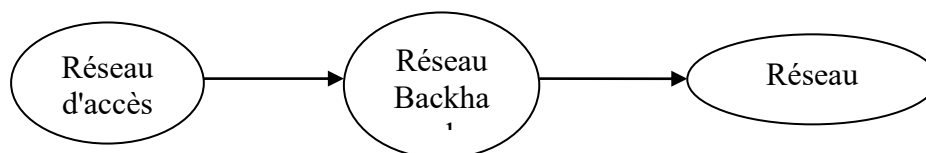


Figure I.1: Structure générale d'un réseau mobile.

I.3 Présentation générale du réseau GSM

I.3.1 L'architecture du réseau GSM

Le réseau de radiotéléphonie GSM (Global System for Mobile Communications) avait pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC). Il s'interface avec le RTC et comprend des commutateurs. Il est caractérisé par un accès très spécifique (la liaison radio). Un réseau de radiotéléphonie peut donc se découper en trois ensembles:[12]

- Le sous-système radio BSS (Base Station Subsystem).
- Le sous-système d'acheminement appelé couramment réseau fixe NSS (Network Switching Subsystem).
- Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation and Support System).

[11]

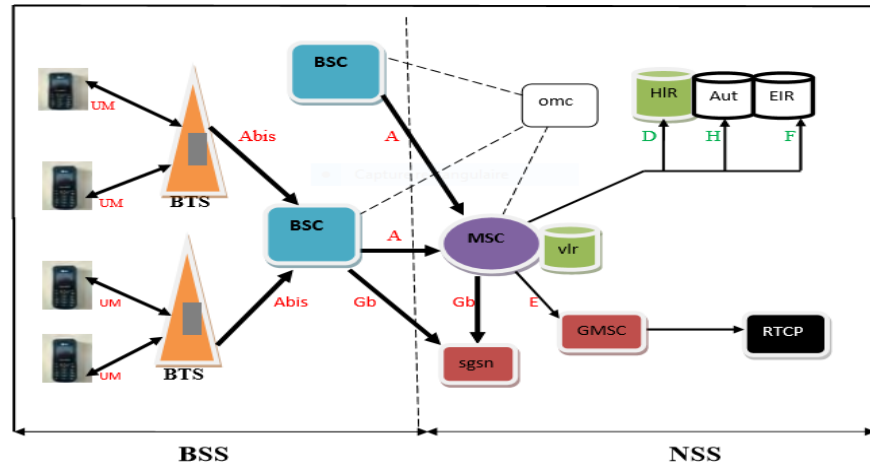


Figure I.2 :L'architecture du réseau GSM.

I.3.1.1 Le sous- système radio BSS

Il assure la connexion d'un ensemble de mobiles d'une zone géographique limitée au réseau cœur, à travers l'interface air et il est constitué des éléments suivants : [10]

- une ou plusieurs BTS (Base Transceiver Station).
- une BSC (Base Station Controller).

Le rôle de chacune des composantes du BSS est illustré ci-dessous:

- Le rôle principal de la BTS c'est la gestion des abonnés présents dans sa zone de couverture. [10]
- La BSC est l'équipement le plus intelligent du sous-système radio du réseau GSM. Les fonctions qu'assure la BSC peuvent être classées selon le type d'équipement auquel elle est connectée.

Du côté de la BTS, la BSC assure la gestion des ressources radio à savoir l'allocation des ressources radio, le contrôle de puissance d'émission de la BTS et du mobile suivant les mesures rapportées sur le canal SACCH (Slow Associated Control Channel), l'exécution des handovers et l'acheminement du trafic vers le mobile ou vers le réseau cœur.

Du côté du MSC, la BSC joue le rôle d'un concentrateur de trafic et de signalisation sur l'interface Air.

Afin de parvenir à assurer toutes ces fonctions, la BSC est aussi doté d'une fonction de commutation entre ses différentes interfaces qui sont l'interface Abis, l'interface Air.[10]

I.3.1.2 Le sous- système d'acheminement NSS

Le NSS assure les fonctions traditionnelles de la commutation téléphonique, comme la commande d'appel, l'analyse des numéros, la taxation, etc. Il est composé de:[10]

- **MSC** (Mobile Switching Center) Il gère l'établissement des communications entre le mobile et un autre MSC, permet la transmission des messages courts ainsi que l'exécution du handover. Il dialogue avec un registre d'abonnés visiteur VLR pour gérer la mobilité des usagers. Enfin, il sert de passerelle active vers un réseau d'abonnés fixe ou d'autres opérateurs (Gateway MSC). [10]
- **HLR** (Home Location Register) C'est une base de données qui gère tous les abonnés d'un opérateur donné. Le HLR détient des informations propre à l'abonné comme l'identité nationale de l'abonné IMSI (International Mobile Subscriber Identity), numéro d'annuaire MSISDN (Mobile Station ISDN Number), et le profil de l'abonnement. [10]
- **VLR** (Visitor Location Register) Comme le HLR, le VLR est une base de données mais contrairement au HLR qui est responsable des abonnés présents dans sa zone d'une manière statique, le VLR en revanche gère les données d'abonnement des abonnés présents dans une zone géographique qu'il contrôle. Il est à noter que le VLR est associé physiquement au MSC. [10]
- **AUC** (Authentication Center) C'est un centre d'authentification " l'information économique et technique". [10]
- **EIR** (Equipment Identity Register) est une base de données qui contient trois listes (blanche-grise-noir). elle est dotée des mécanismes nécessaires pour refuser l'accès au réseau pour les abonnés de la liste noire, et tracer les abonnés de la liste grise et la liste blanche contient tous les abonnés agréés par l'opérateur. [10]

I.3.1.3 Le sous- système d'exploitation et de la maintenance OSS

Les éléments constituant les deux sous réseaux précédents sont reliés à distance, au centre d'exploitation et de maintenance. Dans un réseau GSM l'OSS comporte:[11]

- OMS-R (centre d'exploitation et de maintenance radio).
- OMS-N (centre d'exploitation et de maintenance réseau).

I.3.2 L'interface radio (Um)

C'est l'interface la plus importante de réseau, elle est placée entre la station mobile (MS) et la station de base (BTS). Au niveau physique l'interface Um est la seule qui n'utilise pas la transmission de données à 64 Kbit/s. elle se singularise également par l'emploi d'un protocole adapté au traitement d'un canal à fort taux d'erreurs, le LAPDm (Link Access Procedures on Dm channel). La modulation utilisée dans le système GSM est la GMSK (Modulation à Déplacement Minimal Gaussien).

Le réseau GSM utilise deux méthodes d'accès, le multiplexage temporel TDMA et le multiplexage fréquentiel FDMA, qui permettent aux utilisateurs de partager le support de transmission pour transmettre et recevoir la voix et les données.

Selon la norme GSM adoptée, différentes ressources fréquentielles sont allouées au système. La bande de fréquence est ainsi subdivisée en 124 canaux..... (Il faut décrire le partage fréquentielle voix montante descendante, écart, 200Khz....).

Le canal est partagé selon 8 intervalles de temps différents appelés (time slot). La durée élémentaire d'un slot a été fixée à environ 0,576ms. Ainsi le GSM permet à 8 utilisateurs de partager temporellement la même bande de fréquence de 200khz. (Il faut décrire la trame, les multi trame, les débits.....).[12]

Tableau I.1: Les bandes montante et descendante des réseaux GSM

Normes	Voies	Bandes de fréquences (MHz)
GSM	Montante	890 – 915
	Descendante	935 – 960
Extended GSM	Montante	880 – 890
	Descendante	925 – 935
GSM1800 DCS	Montante	1.710 - 1.785
	Descendante	1.805 - 1.880

I.3.3 Organisation des Canaux Radio

On distingue deux catégories de canaux : les canaux physiques et les canaux logiques.

I.3.3.1 Les canaux physiques:

Chaque utilisateur utilise un time slot par trame TDMA, ils sont numérotés de 0 à 7.

I.3.3.2 Les canaux logiques:

Les canaux logiques permettent de véhiculer les différents types d'informations circulant entre le mobile et la BTS. Il existe trois catégories de canaux logiques:[10]

- **BCH** (Broadcasting Channel) diffuse des données relatives à une cellule permettant à chaque mobile d'adhérer au système local en récupérant les paramètres nécessaires.
- **CCCH** (Common Control Channel) les canaux de contrôle commun sont utilisés presque exclusivement pour la gestion des ressources radio. Le tableau suivant représente les différents canaux qui existent.
- **DCCH** (Dedicated Control Channel) utilisés pour la mise à jour de la localisation et pour l'enregistrement et la génération d'appels mobiles.

Tableau I.2 : Les canaux logiques du réseau GSM

Catégorie	Canal	Sense	Débit	Fonction
BCH	BCCH	Descendant	782 bits	Il diffuse des informations spécifiques de la BTS serveuse et des BTS voisines
	FCCH	Descendant	146 bit	Il permet à la MS de reconnaître son BCCH porteuse après il fixe sa fréquence avec la fréquence de ce BTS
	SCH	Descendant	146 bit	Il Porte le nombre de trame et le BSIC pour indiquer quelle BTS le MS doit utiliser
CCCH	RACH	Montant	36 bit	Il permet au mobile de signaler à la BTS qu'il désire effectuer une opération sur le réseau
	PCH	Descendant	456 bit	Il est utilisé pour initier une communication du réseau destinée au mobile
	AGCH	Descendant	456 bit	Il est utilisé pour l'allocation d'un canal dédié à un mobile.
	CBCH	Descendant	Variab le	Il offre aux usagers présents dans la cellule des informations spécifique.
DCCH	SACCH	Bidirectionnel	304 bit	Il est utilisé pour remonter des mesures sur les niveaux de puissance reçus par les mobiles.
	SDCCH	Bidirectionnel	782 bit	Il véhicule la signalisation générale de l'utilisateur, par exemple : une mise à jour de localisation et notamment pour la signalisation relative à l'établissement d'un appel.
	FACC H	Bidirectionnel	9.2 bit	Canal servant à exécuter les handover, il prend momentanément le slot réservé au canal TCH

I.3.4 Système cellulaire

Dans un système cellulaire la zone à couvrir est découpée en des petites sous zones appelées cellules. On définit le motif cellulaire comme le plus petit groupe de cellules

contenant une et une seule fois l'ensemble des canaux radio. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir. Plus le motif est grand, plus la distance de réutilisation est grande. [12]

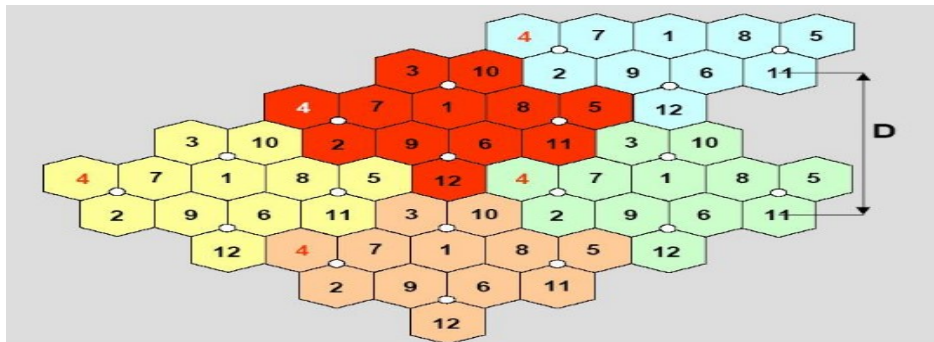


Figure I.3 : Motif cellulaire hexagonal classique.

I.3.5 Le handover dans le GSM

C'est un mécanisme de mobilité qui permet à un abonné de se déplacer entre toutes les cellules et les zones de couverture sans coupure. On distingue les types de handover suivant:[10]

- **Intra cell handover** à l'intérieure d'une cellule, dans le cas d'une congestion dans une cellule.
- **Intra-BSC handover** entre deux cellules appartenant à la même BSC.
- **Inter-BSC handover** entre deux cellules appartenant à deux BSC différentes.
- **Inter-MSK handover** entre deux cellules appartenant à deux zones de communications différentes (MSC).

I .3.6 L'implantation du GPRS sur le réseau GSM existante

Le GPRS (General Packet Radio Service) ne constitue pas à lui tout seul un réseau mobile à part entière, mais une couche supplémentaire rajoutée à un réseau GSM existant. L'objectif principal de cette évolution est d'accéder aux réseaux IP, avec un débit théorique de l'ordre de 171.2 Kbit/s contre un débit réel de l'ordre de 30Kbit/s. Le GPRS utilise la transmission des paquets de taille variable.

Le GPRS supporte différents niveaux de qualité de service classé comme suit:[10]

- Classe de priorité.
- Classe de fiabilité.
- Classe de délai/retard.
- Classe de débit.

[Tapez le titre du document]

Contrairement au GSM où l'utilisateur occupe un TS dans la trame TDMA, le GPRS offre à l'utilisateur la possibilité d'occuper de 2 à 8 TS suivant le type de codage utilisé. Les différents débits disponibles avec le GPRS en fonction du type de codage sont représentés dans le tableau suivant. [10]

Tableau I.3 : Type de codage GPRS

Type de codage	Débit sur un slot (kbps)	Débit sur 8 slot (kbps)
coding scheme CS1	9.05	72.4
coding scheme CS2	13.4	107.2
coding scheme CS3	15.6	124.8
coding scheme CS4	21.4	171.2

L'implémentation du GPRS ne nécessite aucun changement sur l'architecture du réseau GSM existant, à part l'introduction des équipements suivants: [10]

- **PCU** (Packet Control Unit) dans la BSC qui se charge de la gestion de la transmission par paquet.
- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) dans le NSS, il envoie les paquets entrants et sortants de/vers un MS. Il fournit aussi le chiffrement et l'authentification et la gestion des sessions. Il est connecté au HLR, MSC, BSC (la BSC est connectée au SGSN via l'interface Gb).
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) dans le NSS c'est une passerelle entre le réseau GPRS et le réseau public à commutation de paquets.

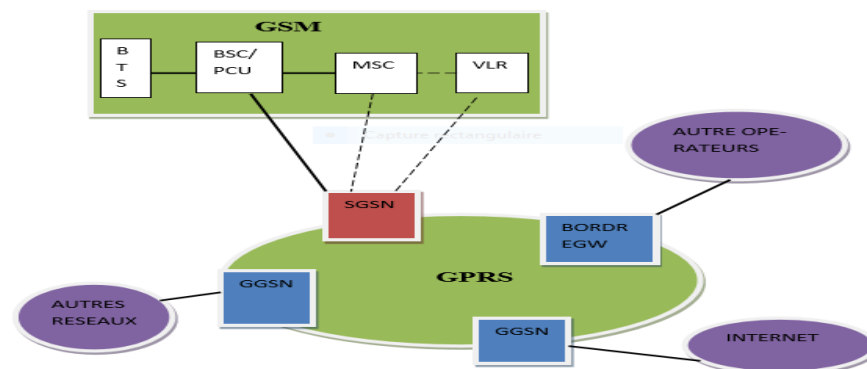


Figure I.4: L'architecture du GPRS.

I.3.7 L'intégration de l'EDGE

L'EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) a été élaboré au cours de l'année 2005. Cette technologie est une évolution des technologies GSM et GPRS. Avec des débits réels de

[Tapez le titre du document]

l'ordre de 177 kbits/s, L'EDGE se place entre le GPRS et les systèmes de la troisième génération 3G

La technologie EDGE a introduit la modulation 8-PSK (8-phase Shift keying). Couplé au GPRS, elle a permis d'augmenter le débit du GSM pour atteindre un débit max de 300KB/S. [13]

I.4 Présentation générale du réseau UMTS

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est le système du réseau mobile de la 3ème génération, la release R99 du 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Sa bande de fréquence de fonctionnement est 1900MHz-2000MHz. Elle est basée sur la technologie CDMA (Code-division multiple access) qui permet de atteindre des débits de 384 kbit/s jusqu'à 2 Mbit/s. L'objectif principal de cette évolution est:

- La compatibilité avec les systèmes de 2^{ème} génération.
- Un support multimédia varié.
- Des débits plus élevés.

I.4.1 L'architecture globale du système UMTS

L'architecture d'un réseau UMTS est répartie en deux groupes. Le premier groupe correspond au réseau d'accès radio (RAN, Radio Access Network) ou UTRAN, (UMTS Terrestrial RAN) qui supporte toutes les fonctionnalités radio. Le deuxième groupe correspond au réseau cœur (CN, Core Network) qui est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. [3]

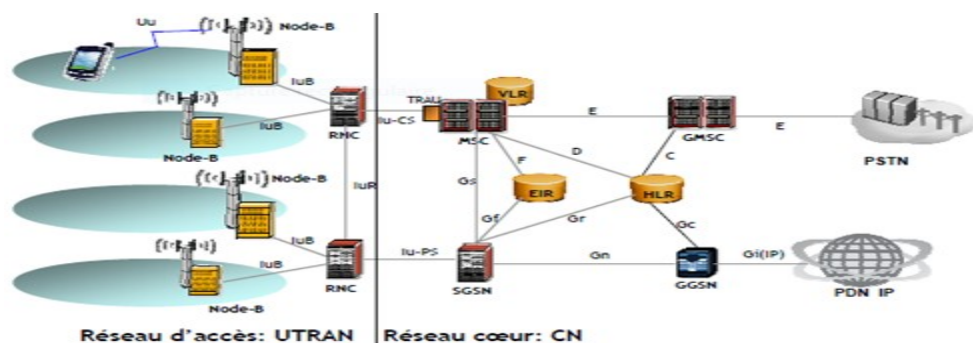


Figure I .5: L'architecture globale du système UMTS.

I.4.1.1 Le réseau d'accès radio (UTRAN)

La fonction principale de l'UTRAN est le transfert des données générées par l'utilisateur, il est considéré comme une passerelle entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur. Cependant, il

[Tapez le titre du document]

est chargé d'autres fonctions tel que la sécurité, la mobilité, la gestion des ressources radio, la synchronisation. Ces principaux éléments sont: [3]

- **Le RNC** (Radio Network Controller) Le RNC est l'élément de réseau en charge de la gestion et du contrôle des canaux radio (établissement, maintien, libération des connexions radio), Il gère le contrôle de la puissance, il gère la configuration ou reconfiguration de l'interface radio et la mobilité du mobile. [2]
- **Le Node B** Station de base est l'élément chargé de la communication radio entre les équipements usage et l'UTRAN (gestion de la couche physique).

I.4.1.2 Le réseau cœur

Le réseau cœur a pour rôle de gestion des appels, l'itinérance (roaming) c.à.d. le passage du réseau d'un opérateur à un autre. Ces principaux éléments sont:[4]

- **Le HLR** (Home Location Register): est une base de données de référence, qui gère l'ensemble des abonnés et leurs profils. Le profil d'un abonné regroupe de nombreuses informations telles que son numéro de téléphone, les services qu'il a le droit d'utiliser, les informations relatives aux services supplémentaires tels que les renvois d'appel, les restrictions d'appels. [5]
- **Le MSC/VLR** (Mobile Switching Centre/Visitor Location Register) : correspond au commutateur (MSC) et à la base de données (VLR). Le MSC permet la commutation des connexions circuit alors que le VLR contient une copie de profil de l'abonné et certaines informations plus précises relatives à la localisation de l'abonné. [5]
- **Le GMSC** (Gateway MSC): est un commutateur connecté directement aux réseaux externes en mode circuit. Toutes les communications entrantes et sortantes, en mode circuit, passent nécessairement par un GMSC. [5]
- **Le SGSN** (Serving GPRS Support Node) : possède des fonctionnalités similaires au MSC/VLR mais est utilisé pour les communications paquet. La partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée «domaine paquet ». [5]
- **Le GGSN** (Gateway GPRS Support Node) : les fonctionnalités du GGSN sont très proches de celles du GMSC, mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet. [5]

I.4.2 L'interface radio UMTS

La couche physique de l'interface radio se fonde sur la technologie WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access l'information). Le spectre du signal est étalé sur environ 5

MHz. La technique d'étalement est dite en séquence directe, c'est-à-dire que les symboles du signal en bande de base sont transformés en symboles de plus courte durée appelés *chips*. La modulation utilisée est la QPSK. [6]

La norme UMTS présente deux modes de multiplexage sur l'interface radio : le TDD (Time Division Duplex) et le FDD (Frequency Division Duplex).

- **Le mode TDD:** Dans le mode TDD, le transfert de données depuis le mobile vers la station de base (Uplink) s'effectue à la même fréquence qu'en sens inverse (Downlink) avec une largeur de canal de 5 MHz. Les séquences Uplink et Downlink sont séparées dans le temps. Ce mode est conseillé dans les micros et pico cellules utilisant la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) à 3.84 Mchips ou la modulation 8PSK (Eight level Phase Shift Keying) à 1.28 Mchips. Le facteur d'étalement varie de 1 à 16. [7]
- **Le mode FDD:** Dans le mode FDD, les liaisons montantes UL (uplink) et descendantes DL (downlink) s'effectuent en même temps, mais sur des bandes de fréquences différentes. Il est utilisé dans les micros et les macros cellules. La séparation entre porteuses est également de 5 MHz utilisant la modulation QPSK à 3.84 Mchips et un facteur d'étalement qui varie de 4 à 256 en UL et de 4 à 512 en DL. [7]

I.4.3 Étalement de spectre

Le code d'étalement est la superposition d'un code de canalisation (spreading code) et d'un code d'embrouillage (scrambling code). Les canaux d'un même émetteur (Node-B ou UE) sont séparés par des codes de canalisation orthogonaux entre eux. Les émissions de deux émetteurs (l'antenne d'une cellule sur la voie descendante, l'UE sur la voie montante) sont séparées par des codes d'embrouillage. [6]

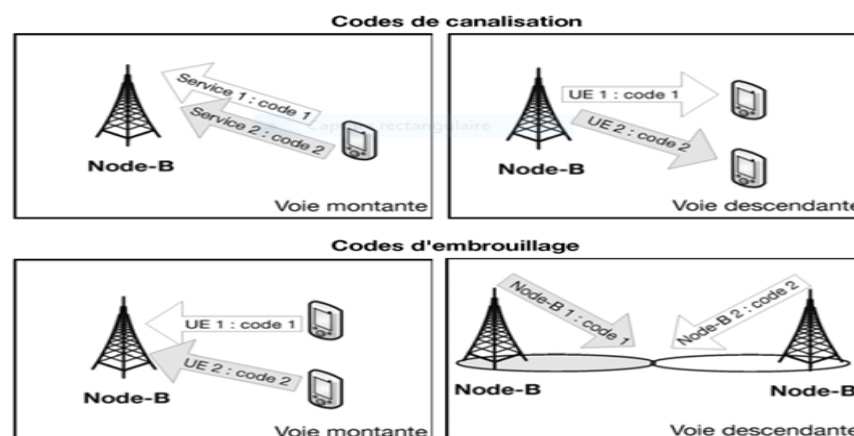


Figure I.6 : Utilisation des codes de canalisation et d'embrouillage sur la voie montante et la voie descendante de l'UMTS.

I.5 Evolution de l'UMTS

I.5.1 HSDPA

L'HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) est une évolution de la norme de réseau mobile UMTS définie dans la Release 5. Alors que la release R4 n'apporte que des changements mineurs sur l'interface radio, la release R5 marque une vraie rupture avec la release R99 en introduisant sur la voie descendante le HSDPA. [6]

I.5.1.1 Caractéristiques générales du HSDPA

La HSDPA utilise la technique d'accès (WCDMA), une largeur de bande (5MHz), ainsi qu'un débit chip (3,84 Mcps). Elle offre la possibilité d'utiliser la modulation 16-QAM sur la voie descendante, le débit est ainsi doublé lorsque les conditions radio le permettent. R5 est aussi une norme beaucoup plus simple que la release R99. Afin de permettre un accès paquet plus rapide et des débits plus importants, plusieurs techniques sont mises en œuvre dans la HSDPA dont:[6]

- Un facteur d'étalement fixe SF= 16.
- La transmission multi-code.
- un TTI raccourci à 2 ms
- La suppression du soft handover sur la voie descendante.
- L'adaptation de lien rapide.
- L'ordonnancement rapide dans le Node-B.
- L'introduction d'un algorithme de retransmission rapide et avancé entre le Node-B et l'UE (HARQ). [6]

I.5.2 HSUPA

L'HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) est une évolution de la norme de réseau mobile UMTS définie dans la Release 6 de 3GPP. Il est mise en place afin de rééquilibrer les deux voies (UpLink/DwLink) et d'améliorer encore les services procurés à l'utilisateur, comme la navigation web qui requièrent une grande réactivité sur la voie montante, la visiophonie ou le jeu en ligne qui nécessitent des capacités équivalentes sur les deux voies.[6]

I.5.2.1 Caractéristiques générales du HSUPA

Afin d'offrir des débits plus importants (jusqu'à 5,76 Mbps en crête, 2 Mbps par UE de manière typique), une plus grande capacité cellulaire et de plus faibles délais que la release R99, HSUPA réutilise la plupart des concepts développés pour HSDPA avec cependant

quelques différences. Comme pour le HSDPA, dans la HSUPA l'utilisation de la technique d'accès (WCDMA), d'une largeur de bande (5 MHz), ainsi d'un débit chip (3,84 Mcps) ne sont bien entendu pas modifiés. Voici ses les principales caractéristiques:[6]

- La QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) reste l'unique modulation sur la voie montante, compatible avec la *release* R99 et bien sur avec la release R5.
- Le facteur d'étalement est variable entre 2 et 256.
- La transmission est multi-code.
- Le TTI passe de 20 ms minimum à 10 ou 2 ms.
- Le HARQ (Hybrid automatic repeat request) qui permet la transmission fiable de données sur un canal de communication qui peut engendrer des erreurs de transmission est introduit sur la voie montante.
- l'adaptation de lien rapide est introduite sur la voie montante.
- l'ordonnancement rapide est contrôlé par le Node-B.
- Le soft handover est conservé sur la voie montante.

I .5.3 HSPA⁺ High Speed Packet Access

Régit par les releases R7 et R8 du 3GPP, elle est principalement conçu pour améliorer le support de la VoIP (Voice over IP), augmenter le débit maximal par l'utilisation de : [6]

- des modulations plus denses.
- la technique MIMO (multiple-input and multiple-output).
- La transmission sur double porteuse.

I.5.3.1 Caractéristiques générales du HSPA⁺

La release R7 introduit la modulation 64-QAM (Quadrature amplitude modulation) sur la voie descendante et la 16-QAM sur la voie montante. En release R8 apparaissent les premières catégories de terminaux capables d'utiliser simultanément la 64-QAM et les MIMO. Le débit peut alors atteindre environ 42 Mbps. Comme pour le HSDPA et le HSUPA l'utilisation de la technique d'accès (WCDMA), d'une largeur de bande (5 MHz), ainsi d'un débit chip (3,84 Mcps) ne sont bien entendu pas modifiés. Les principaux changements sont les suivants: [6]

- Des modulations de plus grand ordre : HSPA+ introduit la 64-QAM sur la voie descendante et la 16-QAM sur la voie montante.
- Les techniques multi-antennaires MIMO sur la voie descendante: en utilisant deux antennes au Node-B et a l'UE, un nouveau schéma MIMO 2 x 2 permet d'exploiter la

diversité du canal pour rendre plus fiable la transmission ou pour augmenter le débit par multiplexage spatial.

- Le double porteur : lorsque le canal radio ne permet pas une utilisation efficace des MIMO, l'UE peut recevoir des signaux émis sur deux porteuses simultanément.
- Des améliorations de la couche 2 : elle s'adapte aux augmentations de débits induits par les changements au niveau physique.
- Des améliorations dans l'utilisation des canaux logiques communs, de transport et de contrôle. [6]

I.6 LTE Long Term Evolution

C'est les release R8 et R9 de 3GPP, c'est une nouvelle technologie créé en décembre 2008. Elle introduit une nouvelle technique de transmission sur plusieurs porteuses complètement différente de l'étalement de spectre des releases précédentes. Les buts poursuivis pour la LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale, un très haut débit de l'ordre de 10 Mbit/s à 100 Mbit/s par utilisateur, une portée plus importante et un nombre d'appels par cellule plus élevée. [6]

I.7 LTE-A Long Term Evolution-advanced

La LTE-A a été introduit par la 3GPP dans la Release 10, qui a vu le jour dans les années 2012. Le LTE-A répondre aux exigences de la 4^{ème} génération selon les critères définis par l'UIT (Union internationale des télécommunications). Les principaux objectifs pour cette technologie sont un débit de 1Gbit /s en cas d'immobilité de l'utilisateur, et de 100Mbit/s en mobilité, une haute qualité pour les services multimédia. LTE-Advanced est une évolution de la norme LTE originale et ne représente pas une nouvelle technologie. Parmi les technologies ajoutées à la norme LTE pour aboutir à LTE-A sont l'agrégation des porteuses, l'amélioration du MIMO de la voix descendante, l'introduction du MIMO sur la voix montante et relais entre cellules. Dans le chapitre qui suit nous allons présenter la norme LTE-A. [8]

I.8 La 5^{ème} génération de réseau mobile

La 5G est la release du 3GPP avec les exigences suivantes :

- Augmentation de l'efficacité énergétique.
- Un débit de 10 Gbit /s.
- Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface.
- 100% de couverture. [9]

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'évolution des différentes générations des réseaux mobiles et ces principales caractéristiques. À partir du GSM, l'implantation du GPRS sur le réseau GSM. L'évolution du GPRS vers EDGE prépare à l'introduction des réseaux UMTS. L'amélioration du UMTS au flux descendant HSDPA et au flux ascendant HSUPA, le H⁺ le nom commercial associé à la technologie HSPA+. Avec un bref aperçu des technologies LTE, LTE-A et la 5^{ème} génération de réseau mobile.

Chapitre II : Les Normes LTE

II.1 Introduction

II.2 Architectures générales du réseau 4 G

II.3 Caractéristiques fondamentales de la LTE

II.4 Techniques de transmission

II.5 Structure des ressources de transmission du LTE

II.6 Différents canaux

II.7 Evolution des Release LTE

II.8 Conclusion

II.1 Introduction

De nos jours, tous les intervenants de la télécommunication sont en train de créer le besoin des abonnés alors qu'auparavant c'était l'abonné qui exige et demande plus de ces intervenants. Alors que d'optimisée les réseaux d'accès radio, pour un opérateur, est un enjeu fondamental lui permettant de minimiser les investissements; garantir une bonne qualité de service aux utilisateurs.

La 4G est une technologie avancée au débit et à la qualité de service, nous présentons ces caractéristiques dans ce chapitre.

Les normes LTE et LTE-Advanced sont développées par le 3GPP. Elles héritent beaucoup des normes précédentes 3GPP (UMTS et HSPA) et sont considérées comme une évolution de ces technologies. Toutefois, pour répondre aux exigences de l'IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced), la norme LTE devait changer radicalement la technologie de transmission W-CDMA utilisée dans les normes précédentes. Les travaux de normalisation de LTE ont commencé en 2004 et ont finalement abouti à une refonte ambitieuse et à grande échelle des réseaux mobiles. Après quatre ans de délibérations, le processus de normalisation de LTE (3GPP Release 8) a été achevé en 2008. La norme LTE (Release 8) a ensuite évolué vers LTE (Release 9) avec des modifications mineures, puis vers la Release 10, également connu sous le nom de norme LTE-Advanced. La LTE-Advanced offre des améliorations en efficacité spectrale, en débit de données et en qualité de service par rapport au LTE. Avec un débit de pointe maximum de 1 Gbps, LTE-Advanced a également été approuvé par l'ITU comme une technologie IMT-Advanced de quatrième génération.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur les spécifications physiques PHY du réseau d'accès et du réseau cœur des normes LTE.

II.2 Architectures générales du réseau 4 G

L'architecture générale du réseau LTE est composée de deux parties : le E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) qui est le réseau d'accès, et l'EPC (Evolved packet Core) qui est le cœur du réseau. [13]

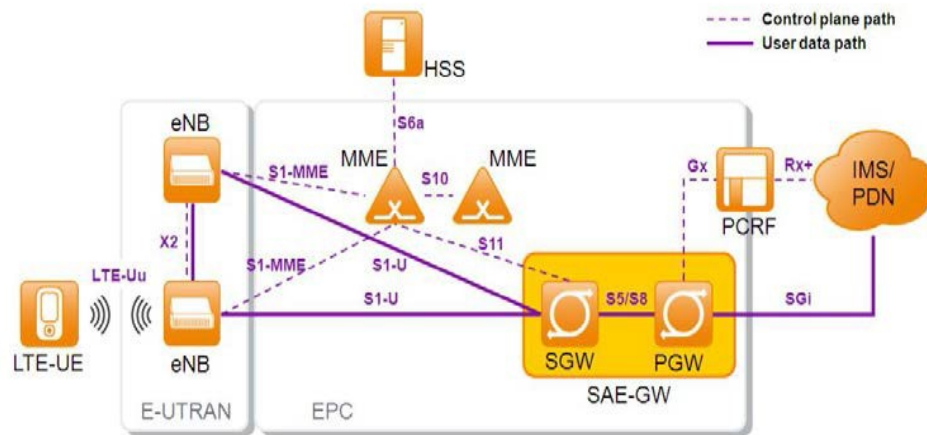


Figure II.1 : Architecture du système LTE

II.2.1 Le réseau d'accès E-UTRAN

Le réseau d'accès est simplifié par rapport à ceux des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN). Son architecture est composée par des bases eNodeB (evolved Node B) qui peuvent être interconnectées entre elles par l'interface X2. [13]

L'E-UTRAN est connecté au réseau cœur, l'EPC, et plus précisément à la MME dans le plan contrôle et à la S-GW dans le plan utilisateur, via l'interface S1. Le RNC disparaît donc de l'architecture du réseau d'accès au profit d'un eNode-B aux fonctions considérablement augmentées.

L'eNode-B conserve les fonctions du Node-B au niveau MAC et PHY comme la modulation, la protection de données, l'ordonnancement rapide et la fonction HARQ.

En outre, il concentre maintenant des fonctions qui étaient auparavant dévolues au RNC : gestion des ressources radio, de la mobilité et des handovers, remontée des mesures, contrôle des radios bearers (services fournis par la couche L2), terminaison des protocoles.

II. 2.2 Le réseau cœur

L'EPC est une évolution radicale des réseaux de base GSM/GPRS utilisé pour GSM et WCDMA/HSPA. L'EPC prend en charge uniquement le traitement des services du domaine paquets, le domaine circuit n'est plus nécessaire. Il se compose de plusieurs types de nœuds, dont certains sont brièvement décrits ci-dessous et illustrés dans la figure II-1.

- **MME** (Mobility Management Entity) L'entité de gestion de la mobilité MME est le nœud qui gère le plan contrôle entre le cœur du réseau et l'utilisateur. Ses responsabilités comprennent la connexion/libération des services à un terminal, la gestion des transitions (au repos, connecté), le traitement des clés de sécurité et l'authentification des utilisateurs. [16]
- **S-GW** (Serving Gateway) La passerelle de service (S-GW) est le nœud qui gère le plan utilisateur reliant l'EPC à L'E-UTRAN. Le S-GW agit comme un point de référence pour la mobilité lorsque les terminaux se déplacent entre les eNodeBs. De plus, il est aussi un point d'ancrage de mobilité pour d'autres technologies 3GPP (GSM/GPRS et HSPA). La collecte d'informations et de statistiques nécessaires à la tarification est également gérée par le S-GW. [16]
- **P-GW** (Packet-Switch Gateway) La passerelle du Réseau de données (PDN Gateway, P-GW) connecte l'EPC à Internet. L'attribution de l'adresse IP pour un terminal spécifique est gérée par le P-GW, ainsi que l'application de la qualité du service conformément à la politique contrôlée par le PCRF. Le P-GW est également la référence de mobilité pour les technologies d'accès radio non 3GPP, telles que CDMA2000, connectées à l'EPC. [16]
- **HSS** (Home Subscribers Service) Le HSS est le nœud équivalent de HLR dans les réseaux précédent. C'est une base de données contenant des renseignements sur les abonnés. Elle contient l'information de souscription de l'utilisateur tel que le profil de QoS (Quality of service) de l'abonné ou les restrictions d'accès en itinérance. [13]
- **PCRF** (Policy and Charging Rules Function) est un nœud optionnel au sein de l'architecture EPC. La notion de " Policy control" est liée aux fonctions d'autorisation/blocage des flux IP. La notion de "charging control " est relative à la taxation des flux IP. Le PCRF s'assure que le traitement appliqué est en accord avec le profil de souscription de l'utilisateur. [14]

Il convient de noter que les nœuds mentionnés ci-dessus sont des nœuds logiques. Dans une mise en œuvre physique réelle, plusieurs d'entre eux peuvent très bien être combinés. Par exemple, le MME, le P-GW et le S-GW pourraient très bien être combinés en un seul nœud physique.

II. 2.3 Les interfaces de réseau

Le réseau LTE consiste en plusieurs interfaces sont:

a) L'interface Uu: C'est l'interface radio définie entre l'eNodeB et l'UE.

b) L'interface X2: définie entre les eNodeBs et fonctionne de manière maillée (ce qui signifie que tous les eNodeBs peuvent éventuellement être liés ensemble). Le but principal de cette interface est de minimiser la perte de paquets due à la mobilité des utilisateurs. [15]

c) L'interface s1: L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME, et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW. L'interface S1-C est conçue pour la signalisation du plan contrôle entre l'eNodeB et le MME, alors que l'interface S1-U est conçue pour transporter les données du plan utilisateur entre l'eNodeB et le S-GW. [15]

II.3 Caractéristiques fondamentales de la LTE

L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures. [20]

II.3.1 L'interface radio:

L'interface radio du réseau LTE comporte deux plans, un plan usager dont le rôle est de gérer l'acheminement des données utiles dans le réseau et un plan de contrôle RRC (Radio Ressources Control) qui gère les messages de signalisation échangés entre les éléments du réseau.

- **Le plan usager :** transporte toutes les informations considérées comme des données utilisateur, du point de vue de l'interface. Ceci consiste en des données purement usager comme les paquets de voix et vidéos ou la signalisation de niveau application. [22]

[Tapez le titre du document]

- Le **plan de contrôle** s'occupe tous les messages et les procédures strictement liés aux fonctionnalités prises en charge par les interfaces. [22]

L'interface radio est composée des couches suivantes:

a) La couche physique: Son rôle est d'assurer la transmission des données sous une forme capable de se propager dans l'air et de résister aux différentes perturbations inhérentes au canal radio mobile. La couche physique offre un service de transport sur l'interface air à la couche MAC. Elle réalise les fonctions suivantes: codage de canal, modulation, modulation multi porteuse. [14]

b) La couche liaison: Cette couche se compose de trois sous-couches.

- Le MAC (Medium Access Control) assigne une identité à chaque terminal client et lui attribue des ressources radio.
- Le RLC (Radio Link Control) gère la segmentation et la concaténation des paquets, ainsi que la correction d'erreurs.
- Le PDCP (Packet Data Convergence Protocol) est censé assurer le chiffrement et l'intégrité des données. [14]

c) La couche RRC (Radio Resource Control): La fonction principale de la couche RRC est la gestion de la signalisation établie entre UE et eNodeB. La couche RRC supporte les fonctions de : allocation et libération de ressources radio, diffusion de l'information du système, paging, handover, transfert du contexte utilisateur entre eNodeB pendant le handover, mesure et gestion d'énergie. [17]

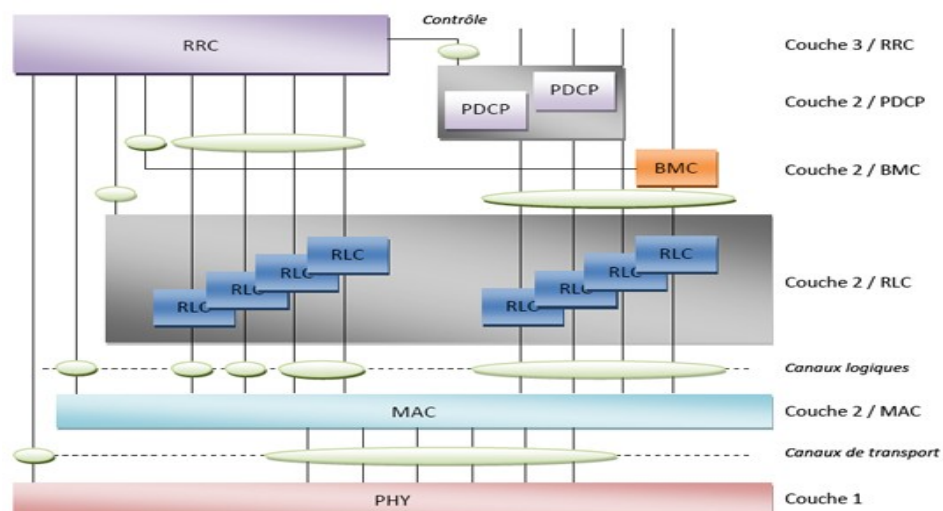


Figure II.2 : Protocoles des couches de l'interface radio.

II.3.2 L'agilité en fréquence:

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20MHz. [18]

II.3.3 Mobilité:

La gestion de mobilité dans le réseau LTE est distribuée entre les eNodeBs et les MME + S-GW. Les eNodeBs prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeBs via l'interface X2. Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message complet de Handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB. Après réception du message, les Gateways ajustent le chemin de commutation. [19]

II.3.4 Codage:

La technologie de codage radio utilisée dans le réseau LTE est l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) sur la voie descendante, et SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) sur la voie montante. Contrairement à l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui est une technique de transmission qui permet de lutter contre la propagation multi-trajet et l'interférence entre symboles, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. Les modulations associées à la technique OFDMA sont la BPSK, la QPSK, la 16-QAM et la 64-QAM. Tout mobile doit être capable de recevoir un signal 64-QAM sur la voie descendante mais seuls les terminaux de catégorie 5 ont la capacité d'utiliser cette modulation sur la voie montante. [20]

II.3.5 Multiplexage:

Deux méthodes de duplexage sont possibles, le TDD (Time Division Duplexing), et le FDD (Frequency Division Duplexing). Dans le mode FDD, l'émission et la réception se font à des bandes de fréquence différentes. En mode TDD, l'émission et la réception utilise la même bande de fréquence, mais à des instants différents. [18]

II.3.6 MIMO (Multi Input Multi Output):

La technique MIMO est utilisée pour augmenter le débit global à travers la transmission de deux (ou plus) flux de données différents sur deux (ou plus) antennes différentes en utilisant les mêmes ressources en fréquence et en temps. Ces flux sont séparés par l'utilisation de signaux de référence différents. Cette technologie offre trois sortes de gain potentiellement apportés par l'utilisation de plusieurs antennes: le gain de diversité obtenu à l'émission ou à la réception (fiabilité de la transmission), le gain de multiplexage permettant la transmission de plusieurs flux simultanément (augmentation du débit) et le gain de réseau d'antennes par formation de faisceaux (Antennes intelligentes et adaptatifs).

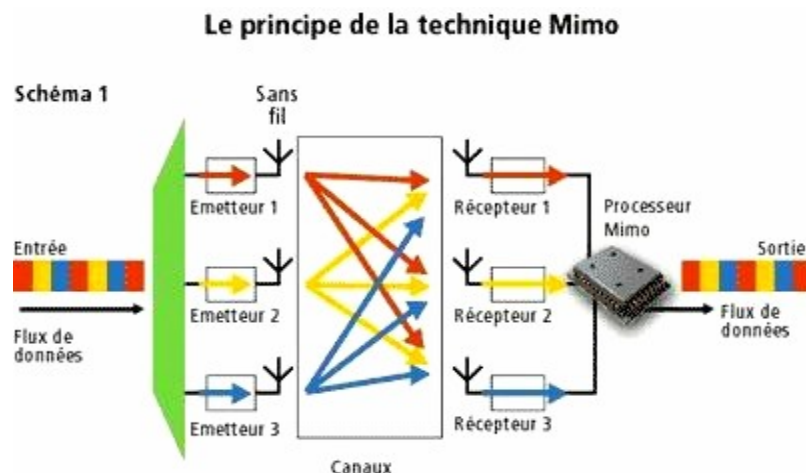


Figure II.3: Le principe de la technique MIMO.

La norme LTE permet plusieurs modes de transmissions, selon la qualité du canal, nécessitant des configurations d'antennes différentes:

TM1 port d'antenne unique, port 0 – SIMO.

TM2 diversité en transmission – MIMO.

TM3 multiplexage spatial en boucle ouverte – MIMO.

TM4 multiplexage spatial en boucle fermée – MIMO.

TM5 MIMO multi-utilisateur - MV-MIMO.

TM6 precodage de rang 1 en boucle fermée - formation de faisceaux.

TM7 port d'antenne unique, port 5 - formation de faisceaux.

TM8 Formation de faisceau double couche.

Les modes de transmission LTE sont définis de manière semi-statique pour un UE. Cela signifie que chaque terminal est configuré par RRC pour recevoir des données dans l'un des sept modes de transmission. Si les conditions du canal ne lui permettent pas d'assurer un

décodage correct dans ce mode, la solution de repli est le mode TM2 de diversité en transmission. [6]

II.4 Techniques de transmission

II.4.1 OFDM:

Le LTE utilise l'OFDM (Orthogonal Frequency division Modulation) dans le sens descendant (DL), qui est la direction de l'eNodeB vers l'UE. L'OFDM est conforme aux exigences du système LTE au regard à la flexibilité du spectre, et permet d'établir une base à coûts efficaces pour de larges bandes de fréquence qui offrent des pics de débits de données très élevés. La ressource physique du LTE peut être vue comme une grille de temps-fréquence. Dans le domaine fréquentiel, l'espacement entre les sous-porteuses adjacentes est de 15 KHz. [13]

L'OFDM consiste à fragmenter les flux de données pour qu'ils soient transmis sur plusieurs sous porteuses, permettant d'augmenter la période du symbole. Vu que les techniques de modulations à faibles débits sont plus robustes aux multi-trajets, il est plus commode de transmettre plusieurs flux de données à bas débits en parallèle plutôt qu'un flux de données à haut débits. Le but d'utiliser plusieurs sous porteuses est d'obtenir un canal qui soit presque constant (plat) sur chaque sous bande donnée, ce qui rend l'égalisation plus simple au niveau du récepteur. [13]

Finalement l'OFDM permet une utilisation flexible de la bande de fréquence et peut réaliser des débits de données très élevés. L'OFDM repose sur la fameuse technique de multiplexage à division de fréquence FDM (Frequency Division Multiplexing). Dans la FDM, les différents flux d'informations sont mappés à des canaux de fréquences séparés parallèles. L'OFDM diffère de la traditionnelle FDM : [13]

a) Le même flux d'informations est mappés à un grand nombre de sous porteuses étroites ce qui induit une augmentation de la période du symbole en comparaison aux techniques à un seul canal.

b) Les sous porteuses sont mutuellement orthogonaux en vue de réduire l'interférence inter-porteuse (ICI). De plus, l'entrelacement entre les sous porteuses est toléré pour réaliser une haute efficacité spectrale.

c) l'intervalle de Garde, souvent appelée préfix cyclique (CP), est ajouté au début de chaque symbole OFDM pour préserver l'orthogonalité entre les sous porteuse et éliminer l'interférence inter-symbole (ISI) et l'ICI.

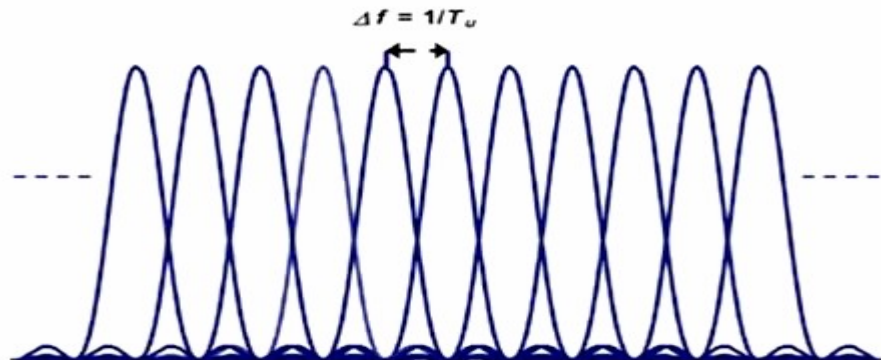


Figure II.4 : Illustration de l'espacement entre sous porteuse.

II.4.1.1 Chaîne de transmission OFDM

Un système de transmission OFDM à une seule entrée et une seule sortie (SISO). Au niveau de l'émetteur, le flux de donnée est mappé en symbole PSK/QPSK. Les symboles (QAM/PSK) modulent N sous porteuses orthogonales. Ceci est effectué à l'aide d'une opération de transformée de Fourier rapide inverse (IFFT), qui est efficace du point de vue calcul. Ensuite, le CP est inséré et une conversion parallèle-série est effectuée préalablement à la transmission sur l'interface air. [6]

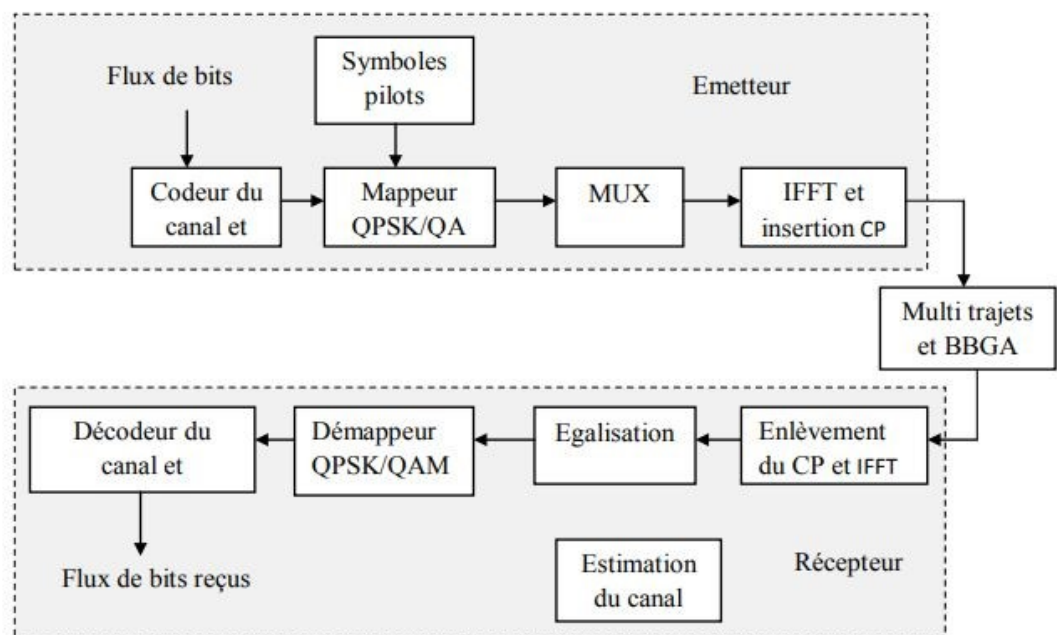


Figure II.5 : Chaîne de transmission OFDM.

Au niveau du récepteur, les opérations inverses sont effectuées. Une fois le signal est au niveau du récepteur, le CP, qui aurait subi des interférences de la part des symboles OFDM adjacents, est enlevé. Puis, une opération de transformé de Fourier rapide (FFT) amène les données au domaine fréquentiel. De cette manière, l'estimation du canal et l'égalisation est simplifiée. [13]

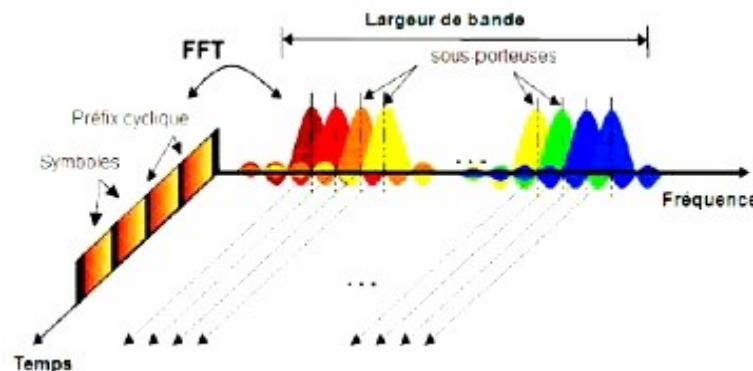


Figure II.6 : Interprétation temps-fréquence d'un signal OFDM.

En OFDMA, des groupes de sous-porteuses peuvent potentiellement être attribués à des utilisateurs différents. L'orthogonalité des sous-porteuses assure l'absence d'interférence entre les utilisateurs d'une cellule, ce qui rend l'OFDMA fondamentalement différent du CDMA. Puisque les utilisateurs peuvent également être séparés dans le temps, l'allocation des ressources radio est faite dans l'espace à deux dimensions, temps et fréquence. [6]

II.4.2 SC-FDMA

Le LTE utilise la technique SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) dans le sens montant (UL). Le principe de base du SC-FDMA est identique à l'OFDMA à la différence qu'une DFT est appliquée avant la modulation OFDM figure II.7, ce qui permet de disperser les symboles de données sur l'ensemble de sous porteuses transportant l'information et permet ainsi de produire une structure à une seule porteuse. Le SC-FDMA présente un PAPR (Peak to Average Power Ratio) réduit par rapport à l'OFDM, ce qui le rend attrayant pour la transmission en sens montant du fait que l'UE en bénéficie en terme d'efficacité de la puissance transmise. [13]

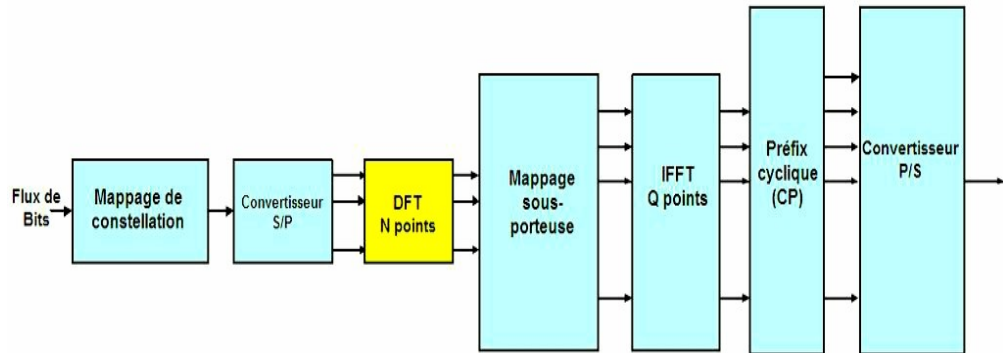


Figure II.7 : Schéma bloc du SC-FDMA

Le SC-FDMA combine ainsi les avantages de l'OFDM, notamment en termes de résistance à la propagation multi-trajet et d'allocation flexible des ressources, avec un faible PAPR. Chaque symbole QAM étant étalé sur plusieurs sous porteuses, un égaliseur est cependant nécessaire, mais sur la voie montante, cette complexité supplémentaire est intégrée dans l'eNode-B. [6]

II.5 Structure des ressources de transmission du LTE

Les transmissions sur les voies montante et descendante dans le réseau LTE s'organisent dans le temps en trames radio d'une durée de 10 ms. Chaque trame est numérotée par un numéro SFN (System Frame Number) code sur 10 bits. Il existe deux types de trames radio:

- Le type 1 pour le mode FDD.
- Le type 2 pour le mode TDD. [6]

II.5.1 Structure de la trame en mode FDD

Le trame du type 1 est d'unité temporelle de 10 ms, qui est divisée en dix sous trames de 1ms chacune, qui à son tour est divisée en deux slots de 0.5ms chacun. Dans la configuration normale (avec préfixe court), un slot se compose de sept symboles OFDM/SC-FDMA. En configuration avec préfixe étendu, il y a six symboles par slot.

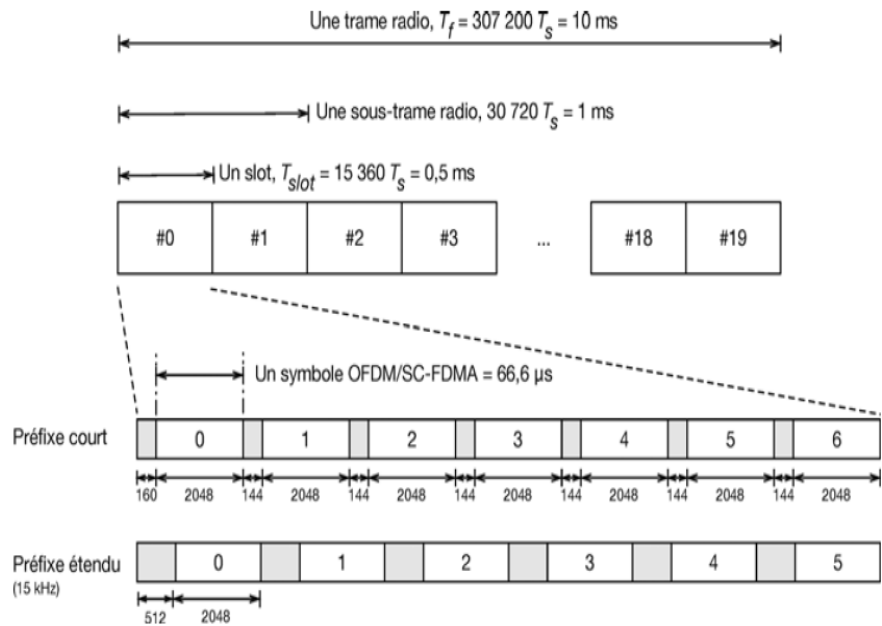


Figure II.8 : Structure de trame LTE FDD pour une bande de 20 MHz.

Dans le domaine fréquentiel, les ressources sont groupées en unités de 12 sous porteuses (ainsi elles occupent une bande totale de 180kHz). Une seule unité de 12 sous porteuses d'une durée d'un slot est appelée block de ressources (RB).

L'unité élémentaire de ressources est appelée élément de ressource (RE) qui consiste en une sous porteuse pour une durée d'un symbole OFDM ou SC-FDMA. Un RB comprend alors 84 RE dans le cas d'une configuration normal, et 72 dans le cas de la configuration étendu. [6]

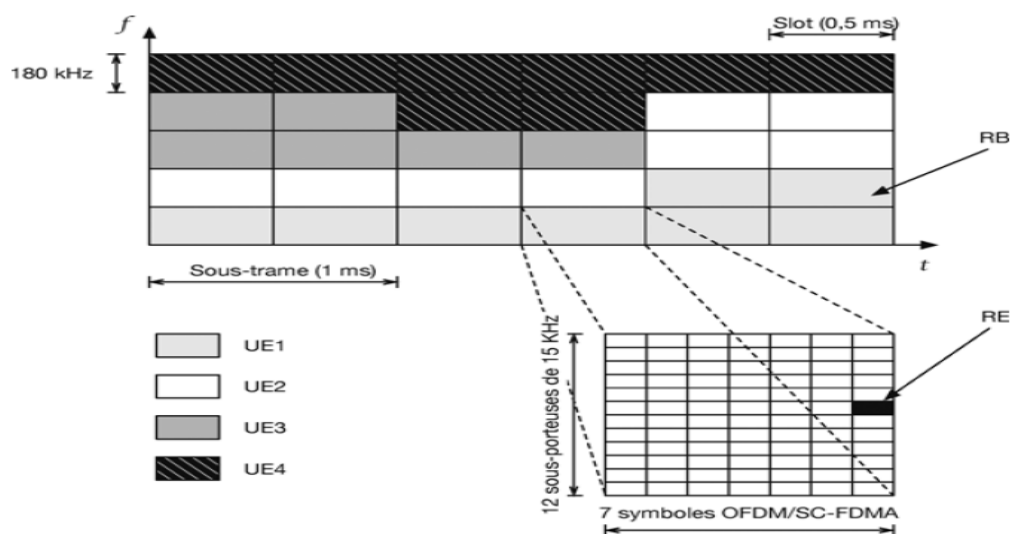


Figure II.9 : Eléments de ressource (RE) et blocs de ressources (RB) LTE en configuration normale.

II.5.2 Structure de la trame en mode TDD

La trame LTE en mode TDD est divisée en des sous trames consécutives certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (Guard Period). [20]

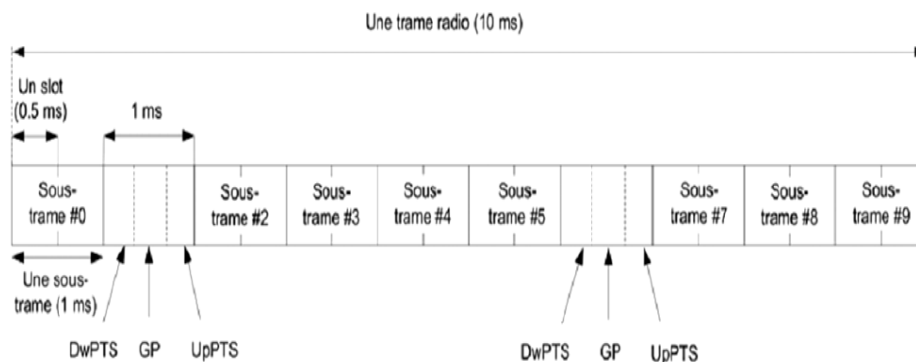


Figure II.10 : Structure de trame en TDD

II.6 Différents canaux

Dans cette partie, nous présentons et classons les différents types de canaux. La couche PHY offre à la couche L2 un ensemble de canaux de transport qui sont mis en correspondance avec des canaux physiques. Elle comprend également la gestion des signaux physiques qui ne transportent pas d'informations des couches supérieures. La sous-couche MAC offre au RLC un ensemble de canaux logiques et les met en correspondance avec les canaux de transport.

II.6.1 Les canaux physiques

Les canaux physiques sont caractérisés par la voie utilisée (descendante ou montante). Un canal physique correspond aux modulations disponibles, la possibilité d'utiliser des techniques multi-antennaires et la manière dont les données sont placées dans le plan temps et fréquence. Ils sont présents ci-dessous en fonction de leur voie:

II.6.1.1 Les canaux physiques pour la voie descendante

Le tableau suivant présente les canaux physiques pour la voie descendante: [6]

Tableau II.1 : Canaux physiques pour la voie descendante

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	porte les données utilisateur dans le sens descendant à partir des couches supérieures, ainsi que la signalisation de pagination.
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	détermine le nombre de symboles OFDM utilisés pour l'allocation des canaux de contrôle (PDCCH) dans une sous trame
Physical Hybrid HARQ Indicator Channel	PHICH	Porte le HARQ (Hybrid automatic repeat request) ACK/NACK.
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	porte les attributions d'ordonnancement, allocation de liaison montante, et autres informations de contrôle ; le PDCCH est maillé à l'élément de ressource jusqu'à trois symboles OFDM dans le premier intervalle de temps d'une sous trame.
Physical broadcast channel	PBCH	utilisé pour la diffusion de certains paramètres de la cellule ou une information spécifique au système

II.6.1.2 Les canaux physiques pour la voie montante

Le tableau suivant présente les canaux physiques pour la voie montante [6]

Tableau II.2 : Canaux physiques pour la voie montant.

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Physical uplink shared channel	PUSCH	porte les données utilisateur de la liaison montante à partir des couches supérieures ; l'allocation des ressources pour le PUSCH se fait sur une base de sous trame par l'ordonnanceur.
Physical uplink control channel	PUCCH	porte l'information de contrôle de la liaison montante, comprenant l'indicateur de qualité du canal (CQI), HARQ ACK/NACK et les requêtes d'ordonnancement de liaison montante
physical random access channel	PRACH	utilisé pour demander l'établissement d'une connexion dans la liaison montante.

II.6.2 Les canaux logiques

La sous-couche MAC offre un certain nombre de canaux logiques à la sous-couche RLC. Ces canaux sont caractérisés par le type d'informations transportées. On distingue les canaux logiques de contrôle (véhiculant des informations du plan contrôle) et les canaux logiques de trafic (véhiculant des données du plan utilisateur). [6]

II.6.2.1 Les canaux de contrôle

Le tableau suivant présente les canaux logiques de contrôle: [6]

Tableau II.3 : les canaux logiques de contrôle

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Broadcast Control Channel	BCCH	est un canal logique de contrôle sur la voie descendante utilise pour la diffusion des informations système.il est associe au canal de transport BCH pour la diffusion du MIB mais aussi au canal de transport DL-SCH pour la diffusion des SIB.
Paging Control Channel	PCCH	est un canal logique de contrôle sur la voie descendante utilise pour la diffusion des messages de paging et les notifications de changement des informations système. Il est associe au canal de transport PCH.
Common Control Channel	CCCH	est un canal logique de contrôle sur les voies montante et descendante utilise pour transmettre des messages de signalisation entre le réseau et les UE qui n'ont pas de connexion RRC. Il est associe au canal de transport partage DL-SCH sur la voie descendante et au canal UL-SCH sur la voie montante.
Multicast Control Channel	MCCH	est un canal logique de contrôle point-a-multipoint sur la voie descendante utilise pour la transmission de messages de signalisation MBSFN du réseau aux UE. Il est associe a un ou plusieurs canaux de trafic MTCH. Il est associe au canal de transport MCH.

II.6.2.2 Les canaux du trafic

Le tableau suivant présente les canaux du trafic: [6]

Tableau II.4 : Les canaux du trafic

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Dedicated traffic channel	DTCH	ce canal est utilisé pour transmettre les données utilisateurs dédiées dans les deux sens ascendant et descendant.
Multicast traffic channel	MTCH	ce canal est utilisé pour transmettre les données utilisateurs dans le sens descendant.

II.6.3 Les canaux de transport

Les données en provenance de la couche MAC sont échangées avec la couche physique à travers les canaux de transport. Les données sont multiplexées dans les canaux de transport selon la façon dont elles sont transmises dans l'air. [6]

II.6.3.1 Les canaux de transport descendant

Le tableau suivant présente les canaux de transport descendant: [6]

Tableau II.5 : Les canaux de transport descendant.

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
Broadcast channel	BCH	ce canal est utilisé pour le transport des parties du (SI) qui sont essentielles pour accéder au canal partagé descendant (DL-SCH). Le format de transport est fixe et la capacité est limitée.
Downlink shared channel	DL-SCH	ce canal est utilisé pour le transport des données utilisateur ou les messages de contrôle. En plus les parties restantes du (SI), qui ne sont pas transmises via le BCH, sont transmises dans le DL-SCH.
Paging channel	PCH	ce canal est utilisé pour transporter les informations de pagination aux UE's et pour les informer de la mise-à-jour du (SI) et les messages PWS.
Multicast channel	MCH	ce canal est utilisé pour le transport des données MBMS de l'utilisateur ou les messages de contrôle qui requièrent la combinaison MBSFN.

II.6.3.2 Les canaux de transport montant

Le tableau suivant présente les canaux de transport montant: [6]

Tableau II.6 : Les canaux de transport montant

Le canal	Acronyme	Fonctionnement
		ce canal est utilisé pour le transport des

Uplink shared channel	UCCH	données utilisateur dans le sens ascendant ou les messages de contrôle.
Random access channel	RACH	ce canal est utilisé pour accéder au réseau quand l'UE ne dispose pas de moments de synchronisations précis ou quand l'UE n'a pas de ressource qui lui est allouée dans le sens ascendant.

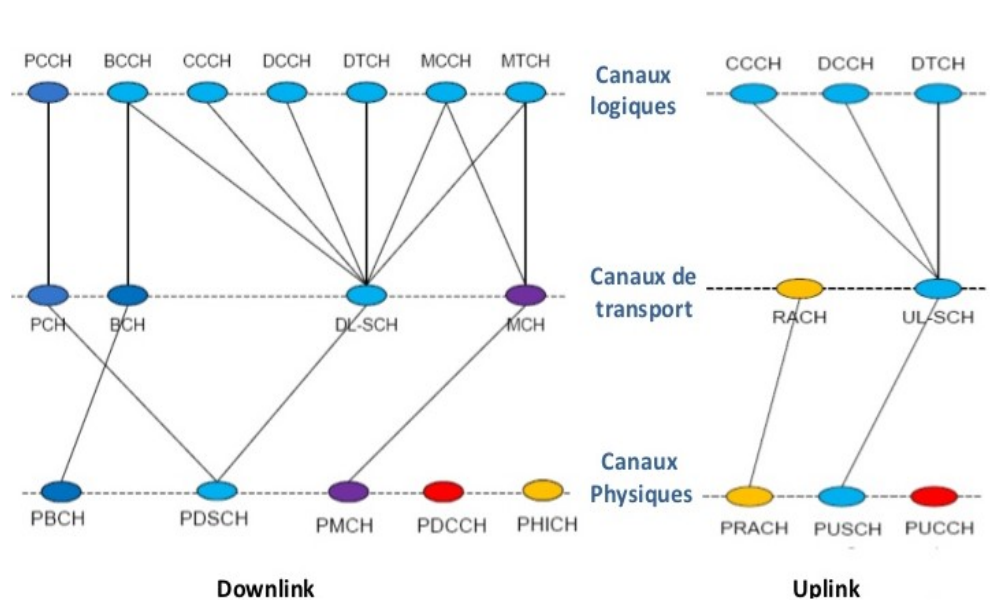


Figure II.11: Mappage du canaux descendant et montant.

II.7 Evolution des Release LTE:

Avec l'invention des nouvelles technologies, et la demande croissante des grands débits d'internet, le groupe 3GPP continu toujours d'élaborer de nouvelles releases afin de répondre à ces exigences.

a) La release 10 LTE-A: (juin 2011) malgré tout les services fournis par la LTE (Rel- 8 et 9), elle ne satisfaisait pas toutes les spécifications techniques imposées pour les normes 4G par l'Union internationale des télécommunications (UIT). Le LTE Advanced (Rel- 10) se différencie, pour l'essentiel, par une série d'améliorations indépendantes les unes des autres. Elle utilisée:

- Prise en charge d'une bande passante plus large (agrégation de porteuses) par l'utilisation de plusieurs porteuse agrégée, chaque porteuse agrégée est appelée porteuse composante, CC (component carriers). pour étendre la bande passante jusqu'à 100 MHz.



Figure II.12: Agrégation de porteuses avec porteuse composante.

- Techniques MIMO avancées le majeur changement dans LTE-Advanced est l'introduction du 8x8 MIMO dans le DL et du 4x4 dans l'UL.
- utilisation de Relay Nodes (RNs) ou station de base domestique est un simple répéteur qui extrait les données du signal reçu et applique les techniques de correction du bruit et retransmet le nouveau signal «propre» dans sa propre zone de couverture. le RN est connectée à une macro eNodeB (station de base en LTE) appelée Donor eNodeB (DeNB) à l'aide d'une interface radio. [21]

b) La release 11: (Mars 2013)

- Améliorations de l'agrégation de porteuses (CA).
- Différentes configurations TDD UL / DL sur différentes bandes.
- Canal de contrôle de liaison descendante amélioré (E-PDCCH).
- Amélioration des exigences de performances minimales pour E-UTRA: Rejet d'interférence. [21]

c) La release 12:(Mars 2015)

- Nouveau type de porteuse (NCT). L'un des ces avantages est d'éviter la transmission continue de signaux de référence communs dans chaque sous-trame sur la bande passante.
- Améliorations supplémentaires apportées au TDD pour la gestion des interférences et du trafic DL / UL.
- Nouvelle amélioration DL MIMO. [21]

D) La release 13: (mars 2016)

- Améliorations LTE pour les communications de type machine (MTC).
- Formation de faisceaux en élévation / MIMO pleine dimension.
- Diffusion point à multipoint unicellulaire (SC-PTM). [21]

e) La release 14: (Juin 2017)

- Prise en charge LTE pour les services V2x (les communications véhicule-à-tout objet communément).
- Agrégation de porteuses 4 bandes. [21]

f) La release 15:(juin 2019)

- Nouveau système radio complété par un réseau central de nouvelle génération.
- Intègre des améliorations au LTE et, implicitement à l'Evolved Packet Core (EPC). [21]

g) La release 16: (Juin 2020)

- Partage dynamique du spectre.
- Économie d'énergie d'UE.
- Double connectivité et agrégation de porteuses. [21]

h) La release 17:

- Améliorations de l'architecture radio.
- Améliorations des protocoles radio. [21]

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE, en montrant aussi les techniques les plus importantes qui dépendent de l'interface radio l'OFDM et MIMO; sont des techniques qui donnent une grande amélioration pour le réseau cellulaire et aussi la satisfaction des clients.

Chapitre III:

Simulation et interprétation des résultats

III.1 Introduction

III. 2 Critères d'évaluation

III.3 Simulation et résultats

III.4 Résumé des résultats

III.5 conclusion

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons simuler une transmission downlink du réseau LTE dans le but de montrer ses performances. Nous avons utilisé les Toolbox du langage Matlab, Communication Toolbox et LTE Toolbox, pour la simulation de la transmission d'un canal physique LTE. Nous nous sommes intéressé à prendre comme canal, le canal PDSCH qui, selon la littérature, est l'un des plus importants dans les systèmes LTE. Nous allons considérer deux modes de transmission MIMO, la configuration MIMO diversité de transmission (Mode TM2) et la configuration MIMO multiplexage spatial (mode TM4).

Pour montrer les performances de la transmission LTE Downlink, nous allons l'évaluer selon quatre critères de performance. Le premier est l'occupation spectrale conditionnant le dimensionnement multi utilisateurs d'un système de transmission mobile. Le deuxième critère est le diagramme de constellation qui montre la correspondance entre les symboles émis et les symboles reçus. Le troisième critère est le taux d'erreur binaire (BER) qui mesure le nombre d'erreur induit par le système de transmission. Enfin, le quatrième paramètre est le débit maximal permis.

La simulation sera réalisée en faisant varier les paramètres intrinsèques de la transmission LTE Downlink, à savoir, l'ordre de la modulation (QAM16, QAM64), le nombre d'antennes MIMO utilisé (2x2 et 4x4).

Le canal de transmission étant un élément essentiel de tous systèmes de transmission sans fil, nous avons, alors, choisi d'utiliser le canal MIMO EPA dont les spécifications sont développées par la Third Generation Partnership (3GPP).

III.2 Critères d'évaluation

Les performances des modèles de transmission étudiées dans ce travail seront évaluées en utilisant les paramètres dont les définitions sont:

- **SNR** (signal-to-noise ratio) est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information, il est défini comme le rapport entre la puissance du signal et la puissance du bruit.

$$\text{SNR} = \frac{P_S}{P_B} \quad (\text{III.01})$$

Ou en dB

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_S}{P_B} \right) \quad (\text{III.02})$$

- **BER** (Bit Error Rate) est le nombre de bits erronés reçus par rapport au nombre de bits transmis.

$$\text{BER} = \frac{\text{nombre des bits erronés}}{\text{nombre des bits transmis}} \quad (\text{III.03})$$

- **Diagramme de constellation** Diagramme polaire qui permet de représenter un signal modulé par un point. [23]
- **Canal EPA** (Extended Pedestrian A model) est un canal par la 3GPP. Il modélise un environnement intérieur avec des utilisateurs marchant à une vitesse allant jusqu'à 3 km / h avec un décalage Doppler maximal de 5 Hz. [24]
- **Le débit** est une mesure de la quantité de données numériques transmises par unité de temps.

III.3 Simulation et résultats:

III.3.1 Les étapes principales de cette simulation:

- Génération de charge utile de taille variable
- Brouillage au niveau du bit
- Modulation des données (16QAM ou 64QAM)
- Mappage des données sur deux ou quatre antennes
- la transmission des canaux physiques et les signaux physiques en les mappant en éléments de ressource
- Génération de signaux OFDM
- Transmission sur un canal MIMO

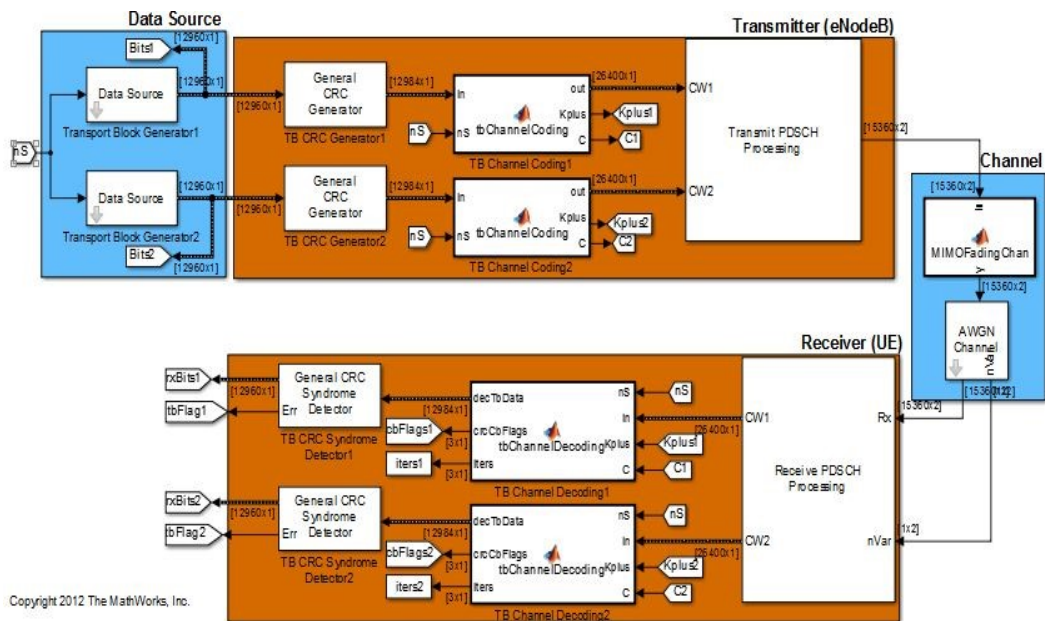


Figure III.1 : Présentation du modèle de simulation

III.3.2 LTE PHY Downlink avec multiplexage spatial

Ce modèle met en évidence le traitement du canal PDSCH de liaison descendante LTE avec multiplexage spatial. Il comprend à la fois les configurations MIMO 2x2 et 4x4 selon les spécifications LTE Release 10. Le multiplexage spatial utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur pour obtenir des gains de débits élevés.

III.3.2.1 Résultats de simulation de la configuration multiplexage spatial

Dans cette partie nous présentons les résultats de simulation avec les paramètres généraux suivants :

Tableau III.1: Les Paramètres de simulation.

Paramètres	Valeurs
Modèle de canal	EPA
Fréquence Doppler maximale (Hz)	0
Largeur de bande (MHz)	20
Modulation	16QAM

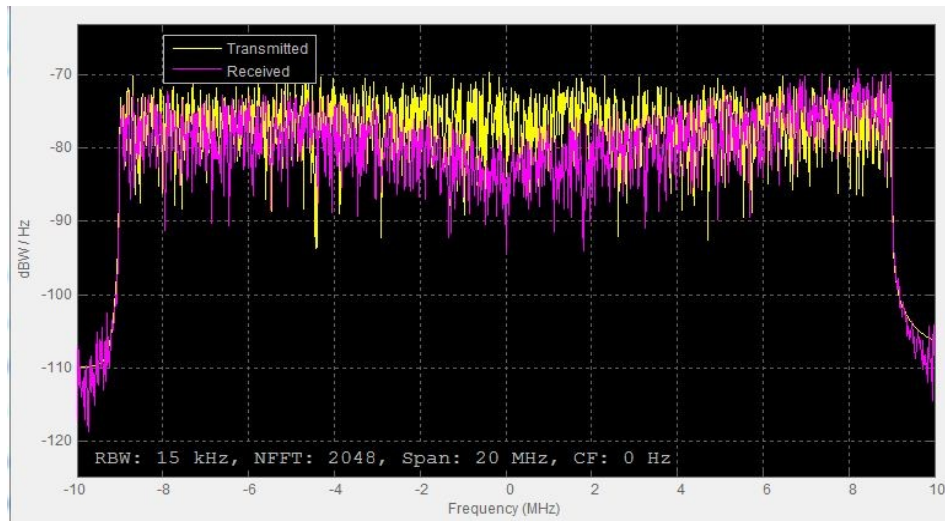


Figure III.2: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 16QAM

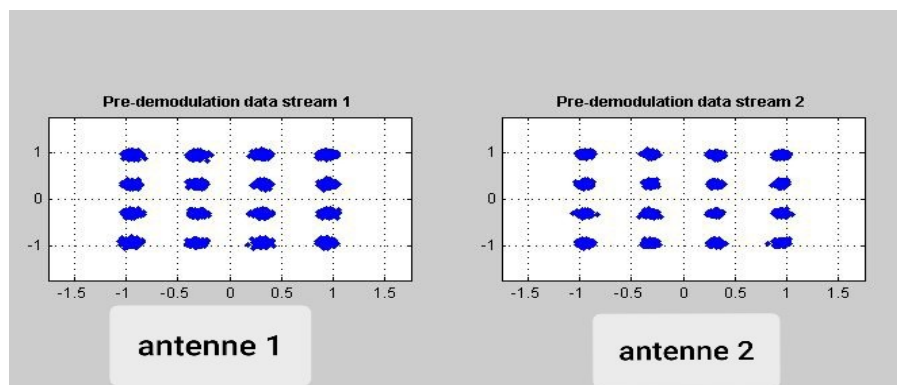


Figure III.3: Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 16QAM

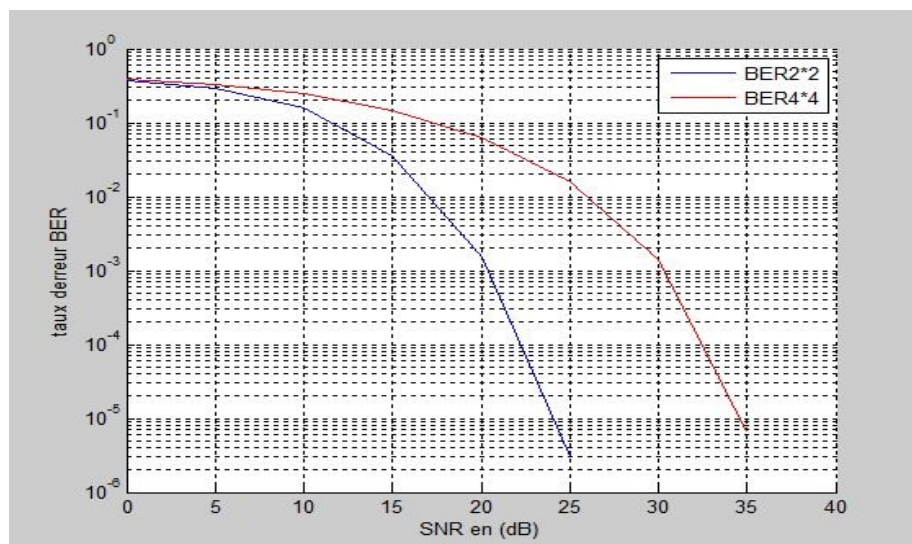


Figure III.4: Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 16 QAM.

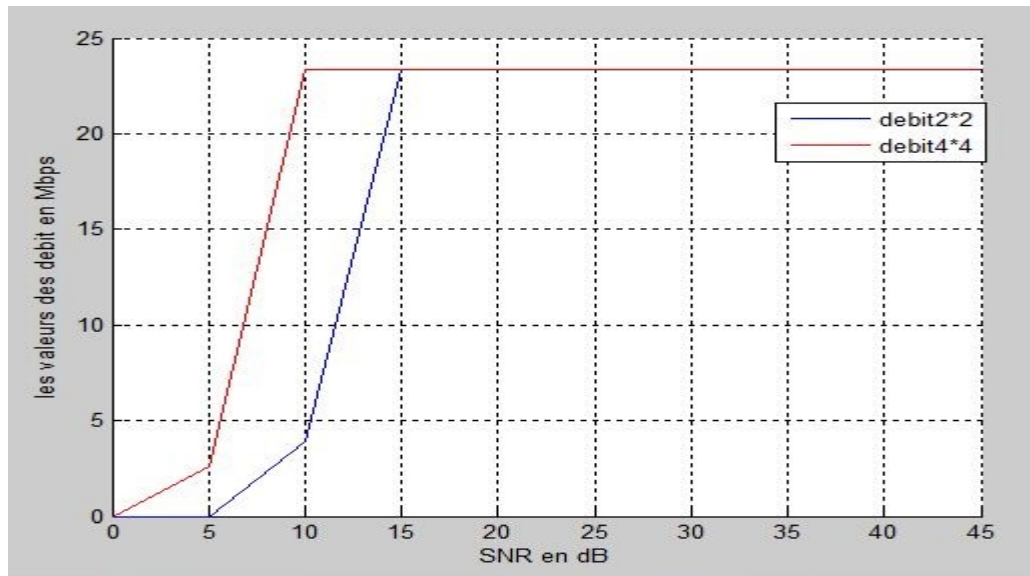


Figure III.5: Evolution du débit en fonction du SNR pour 16 QAM

Nous constatons dans cette simulation que la DSP du signal reçu est similaire à celle du signal émis. Les points de diagramme de constellation sont bien séparés ce qui permet de dire qu'on a une bonne résolution. Le nombre d'antenne d'émission et de réception a un impact sur le taux d'erreur et le débit de transmission.

Dans cette partie nous présentons les résultats de simulation avec les paramètres généraux suivants:

Tableau III.2 : Les Paramètres de simulation

Paramètres	Valeurs
Modèle de canal	EPA
Fréquence Doppler maximale (Hz)	0
Largeur de bande (MHz)	20
Modulation	64QAM

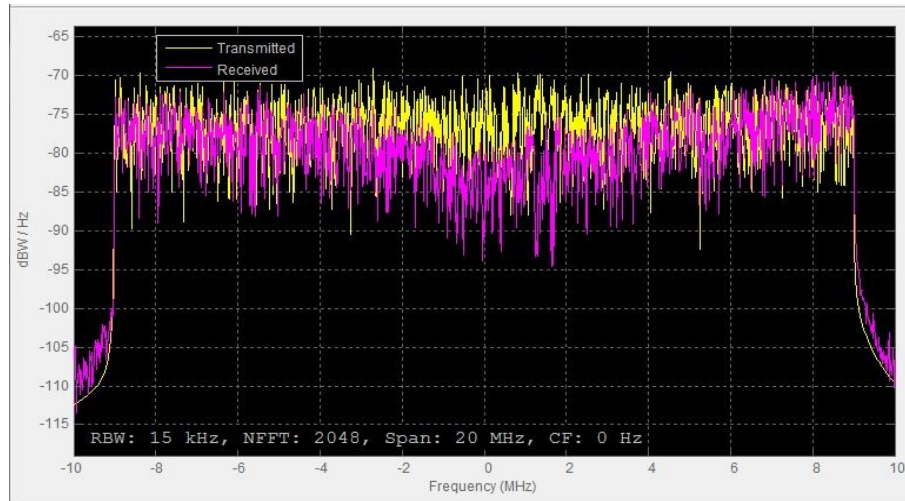


Figure III.6: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 64QAM

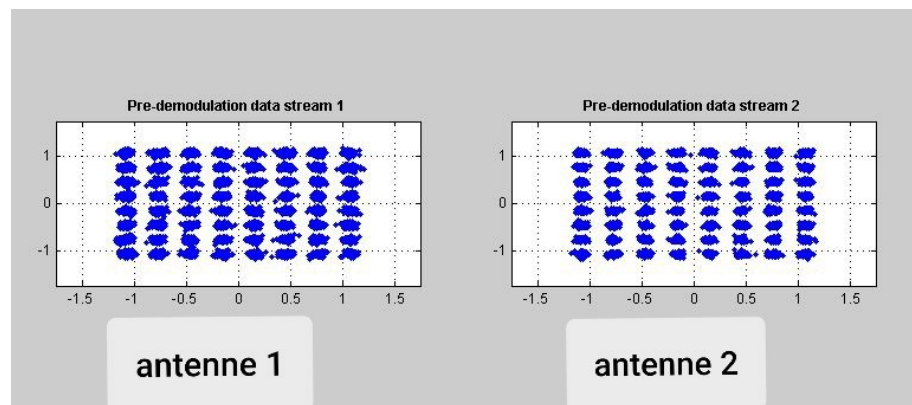


Figure III.7 : Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 64 QAM

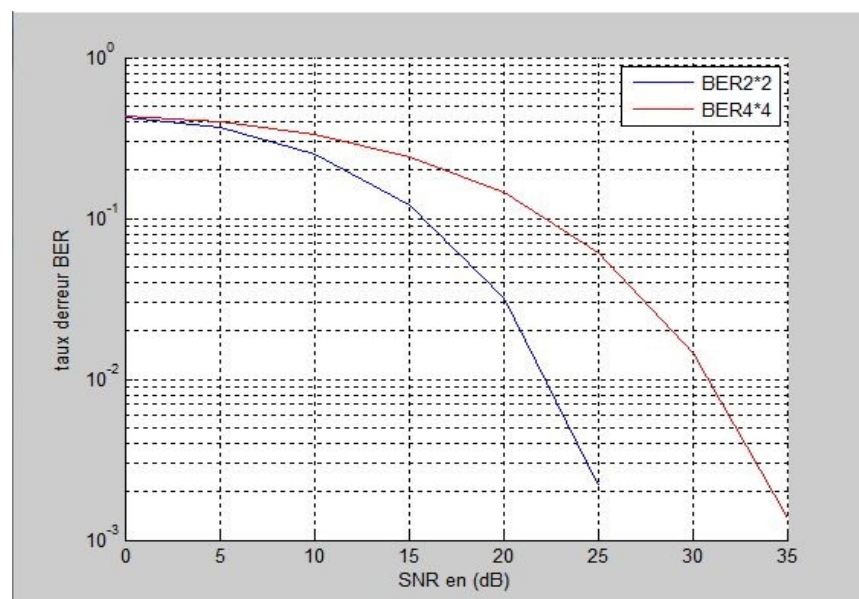


Figure III.8 : Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 64 QAM

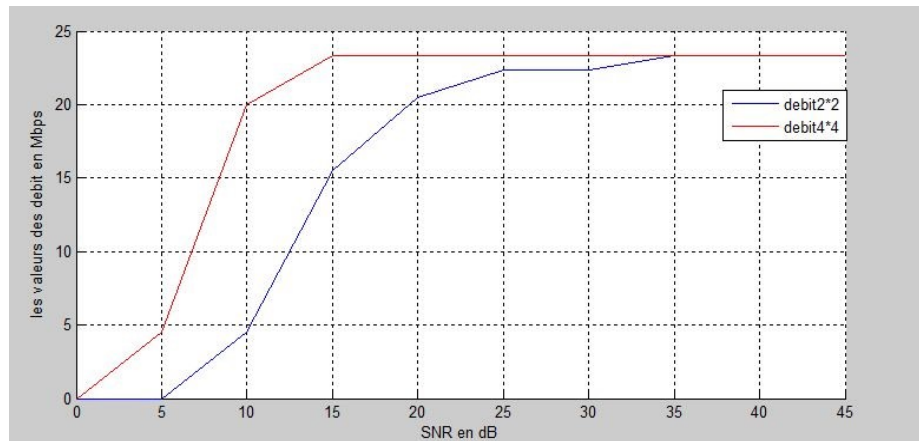


Figure III.9: Evolution du débit en fonction du SNR pour 64 QAM.

Nous constatons dans cette simulation, qu'avec la modulation 64QAM, la résolution du signal reçu a diminué par rapport à la modulation 16QAM. De plus: pour un taux d'erreur donné et un même débit de transmission, la valeur du SNR nécessaire pour la 64QAM est supérieure à la valeur du SNR pour la modulation 16QAM.

III.3.3 LTE Downlink PDSCH avec diversité de transmission

Ce modèle met en évidence le traitement du canal PDSCH de la liaison descendante LTE avec diversité de transmission. Il comprend à la fois les configurations MIMO 2x2 et 4x4 selon les spécifications LTE Release 10. La diversité d'émission utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur pour obtenir des gains de diversité sans impact sur le débit de données mais offre des avantages de performances accrus par rapport aux transmissions à antenne unique.

III.3.3.1 Résultats de simulation de la configuration diversité de transmission

Dans cette partie nous présentons les résultats de simulation avec les paramètres généraux suivants :

Tableau III.3: Les Paramètres de simulation

Paramètres	Valeurs
Modèle de canal	EPA
Fréquence Doppler maximale (Hz)	0
Largeur de bande (MHz)	20
Modulation	16QAM

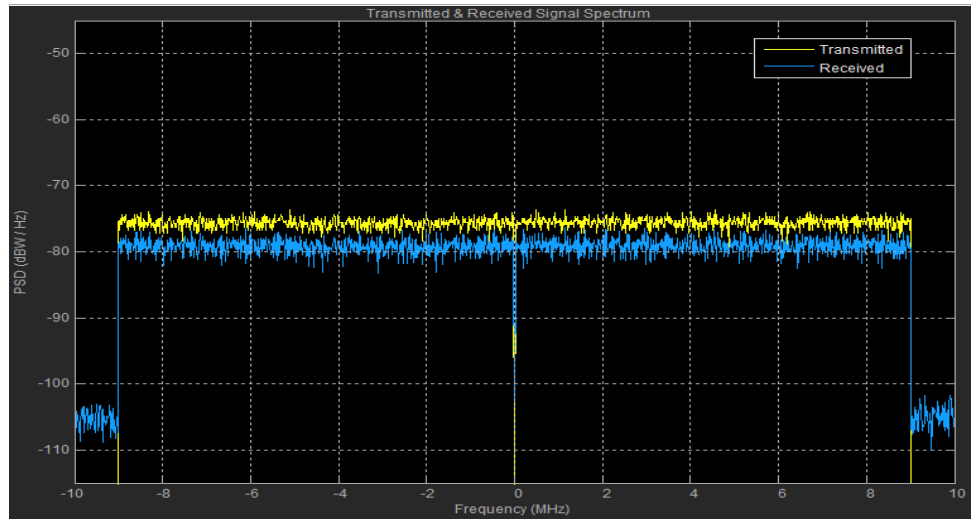


Figure III.10: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 16QAM

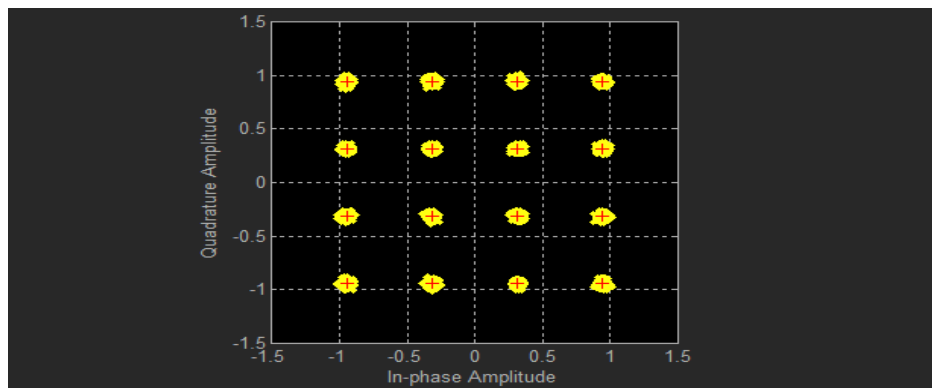


Figure III.11: Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 16QAM

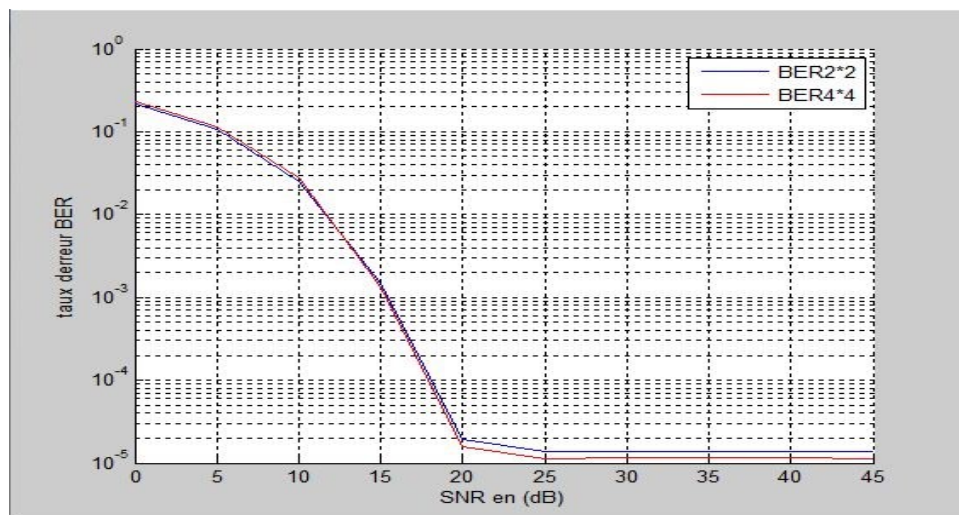
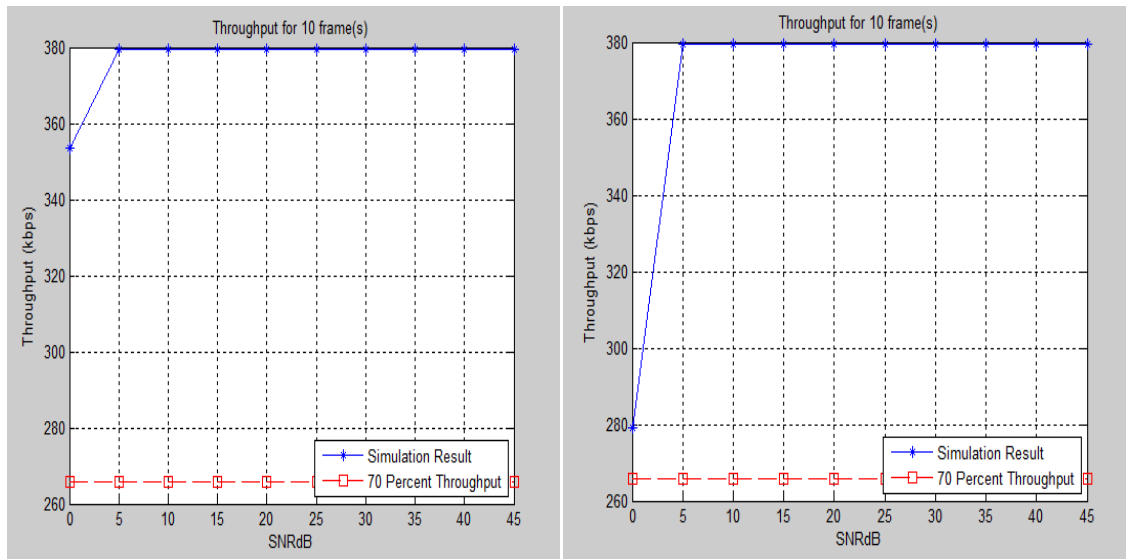


Figure III.12 : Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 16 QAM.



(a)

(b)

Figure III.13: Evolution du débit en fonction du SNR MIMO 2x2 (a) et MIMO 4x4 (b) pour 16QAM.

Avec la configuration diversité de transmission et la modulation 16 QAM, le signal reçu a perdu une petite valeur dans l'amplitude de sa DSP, mais il présente une bonne résolution. De plus, le taux d'erreur est presque identique dans le MIMO 2×2 et le MIMO 4×4. Le débit reste constant au delà d'un SNR de 5dB.

Dans cette partie nous présentons les résultats de simulation avec les paramètres généraux suivants :

Tableau III.4 : Les Paramètres de simulation

Paramètres	Valeurs
Modèle de canal	EPA
Fréquence Doppler maximale (Hz)	0
Largeur de bande (MHz)	20
Modulation	64 QAM

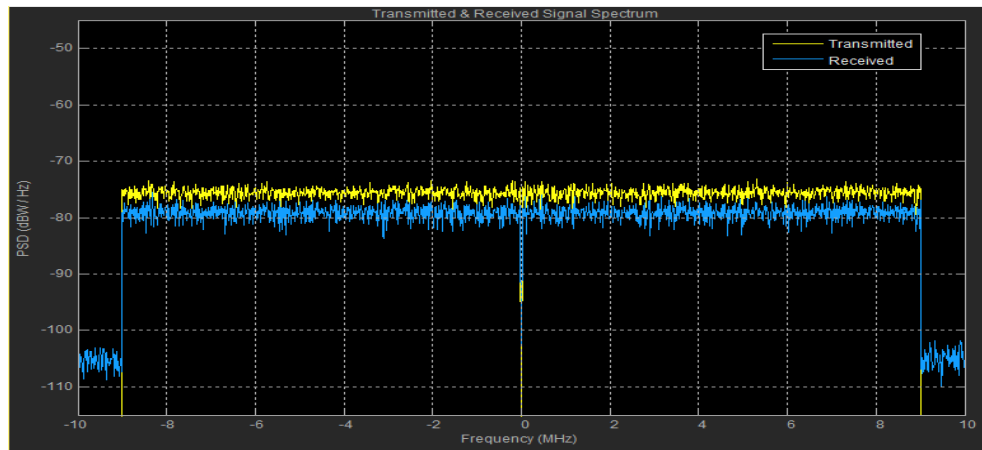


Figure III.14: La densité spectrale de puissance du signal émis et signal reçu pour 64QAM.

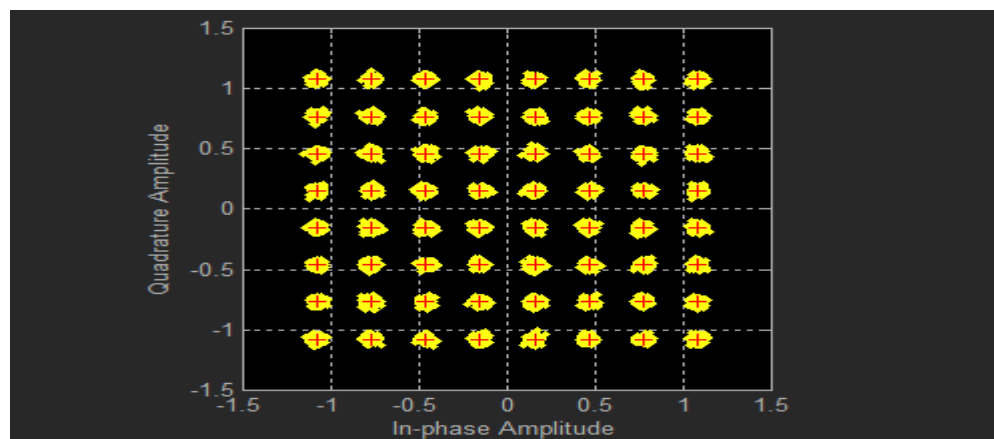


Figure III.15 : Diagramme de constellation du signal reçu après le récepteur MIMO 2x2 pour 64QAM.

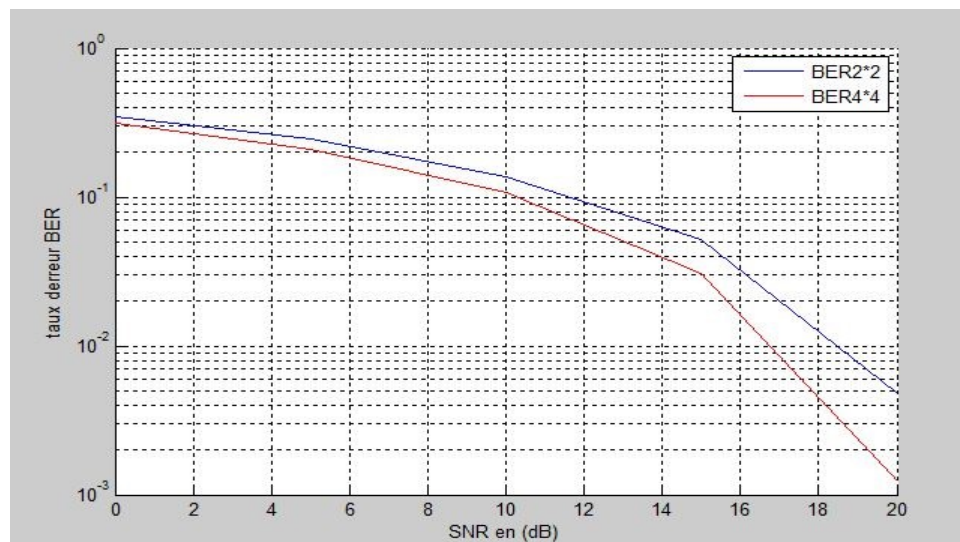


Figure III.16 : Les valeurs du BER en fonction du SNR pour 64 QAM.

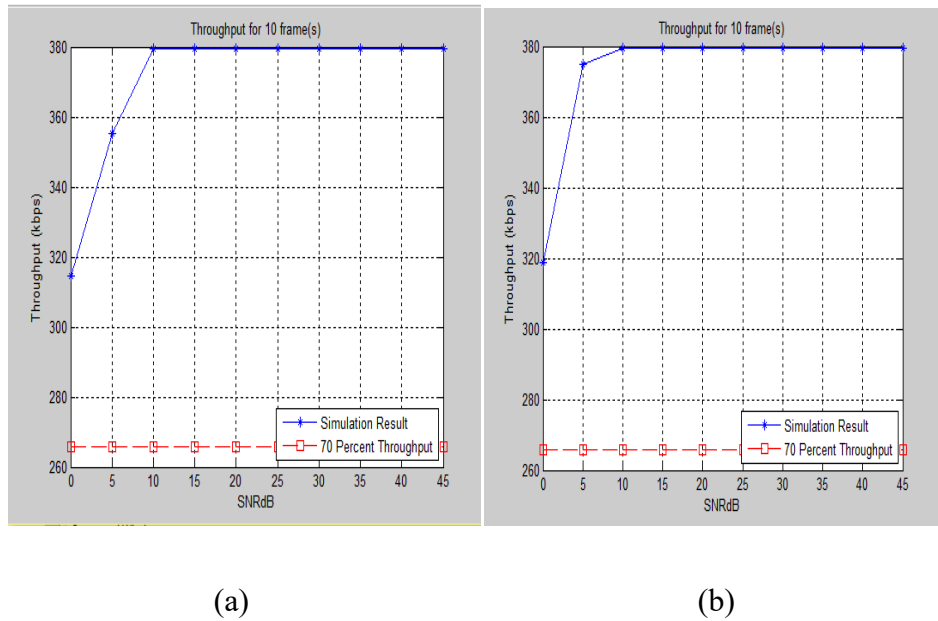


Figure III.17: Evolution du débit en fonction du SNR MIMO 2x2 (a) et MIMO 4x4 (b) pour 64QAM.

Pour la configuration diversité de transmission et la modulation 64QAM, le signal reçu présente une bonne résolution, mais le taux d'erreur est meilleure avec la configuration MIMO 4×4. Le débit reste constant au delà d'un SNR de 10dB.

III.4 Résumé des résultats

Le tableau III-5 présente une comparaison des simulations étudiées de la liaison LTE Downlink avec le canal PDSCH

Tableau III.5 : Comparaison de la configuration MIMO pour 16QAM et 64QAM du canal PDSCH

Critère de performance	Multiplexage spatiale		Diversité de transmission	
	16 QAM	64QAM	16QAM	64QAM
DSP du signal reçu	Les signaux pour 16QAM et 64QAM sont presque identique avec le signal reçu		Les signaux pour 16QAM et 64QAM sont presque identique avec le signal reçu mais avec une faible perte de sa puissance	
La résolution	Très bonne résolution	Résolution correcte	Très bonne résolution	

Le taux d'erreur	BER= 10^{-3} pour un SNR=25dB	BER= 10^{-3} pour un SNR=35dB	BER= 10^{-3} pour un SNR=15dB	BER= 10^{-3} pour un SNR=20dB
Le débit de transmission	Le max de débit est pour un SNR=15dB	Le max de débit est pour un SNR=35dB	Le max de débit est pour un SNR=5dB	Le max de débit est pour un SNR=10dB

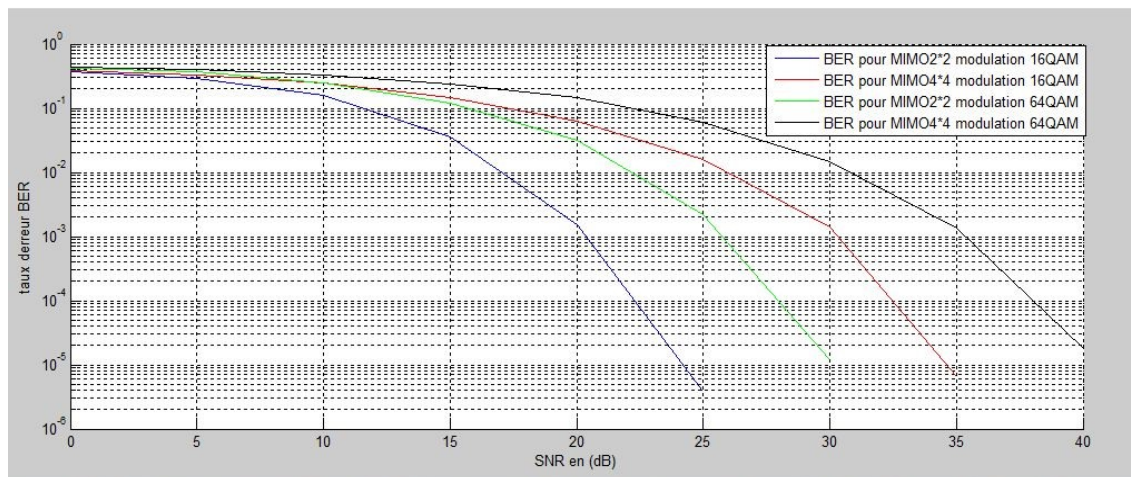


Figure III.18 : Performance du BER en fonction du SNR du configuration multiplexage spatial

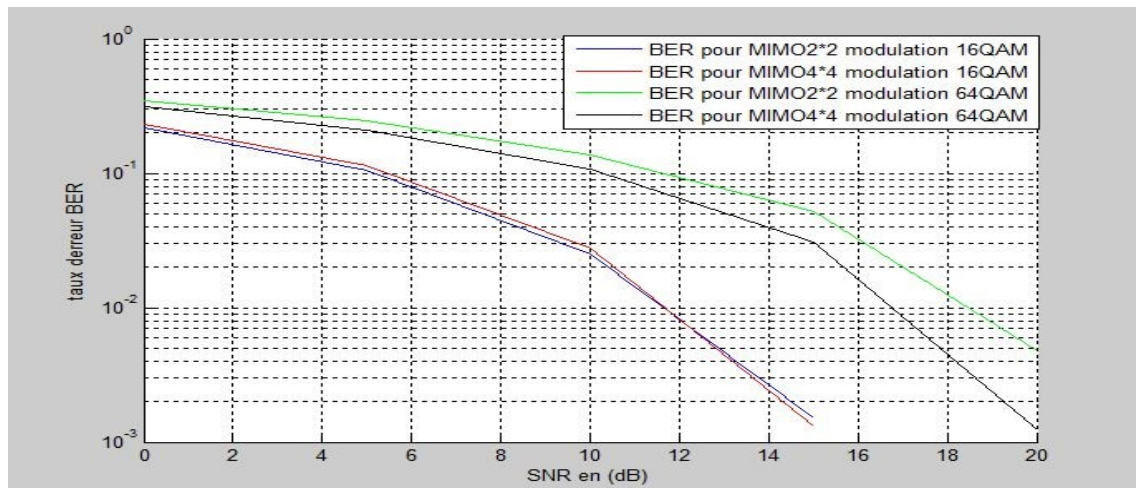


Figure III.19 : Performance du BER en fonction du SNR du configuration diversité de transmission.

Le tableau III.5 et les figures III.18 et III.19 montrent que :

- Pour atteindre le débit maximal, la modulation 64QAM nécessite une puissance supérieure par rapport à la 16 QAM.
- Après un SNR donné, le taux d'erreur pour la 64QAM et la 16QAM diffère de petites valeurs.
- Le nombre des antennes d'émission et de réception influence plus sur le taux d'erreur pour la configuration multiplexage spatial que la configuration diversité de transmission.

III.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons illustré l'influence de quelques paramètres de la technologie LTE en utilisant une simulation d'une transmission LTE descendant. D'après les résultats de simulation, la configuration MIMO multiplexage spatial permet des transferts de données avec un débit plus élevé, par contre, la configuration MIMO diversité de transmission permet la diminution du BER pour des petites valeurs de SNR c'est à dire influence le taux d'erreur du signal.

Conclusion Générale

Les travaux réalisés dans ce mémoire ont pour but de simuler les performances d'une transmission descendant de la technique LTE. Le canal PDSCH est utilisé comme exemple pour mettre en évidence ces performances.

Pour ce faire, on a commencé notre document par des rappels des différentes générations de la téléphonie mobile. On a, ensuite, présenté les principales évolutions des réseaux mobiles depuis la 2^{ème} Génération (GSM) jusqu'à la 4^{ème} génération (LTE).

On a mis en évidence la contribution engendrée par l'utilisation des techniques MIMO dans la technologie LTE. La technique MIMO est utilisée dans LTE pour améliorer la qualité du service. Il existe plusieurs façons d'implémentation de la technique MIMO dans LTE. Dans

[Tapez le titre du document]

ce travail, on a simulé l'influence du multiplexage spatial et de la diversité de transmission sur le canal PDSCH.

D'après les résultats de simulations de la transmission descendant du canal PDSCH, nous avons remarqué que la technique de multiplexage spatial permet des transferts de données avec un débit élevé pour un SNR donné. De plus, ce débit dépend aussi du nombre des antennes d'émission et de réception utilisé.

La technique de diversité de transmission permet un taux d'erreur moindre pour des valeurs du SNR réduites.

Notre travail traite la simulation d'une transmission descendant de la technologie LTE. Pour une meilleure évaluation, nous proposons de faire une simulation de la liaison montante de la LTE et d'étudier les performances de la technologie LTE de bout en bout.

Bibliographie

- [1] Zaki, "Evolution des Réseaux Mobiles vers la 4G", Copyright EFORT, 2014
- [2] M.Moussaoui, "Le réseau UMTS et ses évolutions: UMTS/HSxPA/3LTE", Engineering school, 15-17 Mars 2010, Marrakech, Maroc.
- [3] Eric Meurisse, "L'UMTS et le haut-débit mobile", Février 2007.
- [4] L.Elaabidi, "UMTS Universal Mobile Telecommunications System", Cynapsys Software Engineering, 2010.
- [5] Y.Otmani, "Chapitre I : Présentation du GSM, UMTS et la signalisation Air Interface", Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen.
- [6] N.Puech, "Vers les systemes radiomobiles de 4eme generation De l'UMTS au LTE", Marceau Coupechoux Philippe Martins, 2013, Springer. Springer-Verlag France.
- [7] S.CHouchene, "Conception et Réalisation d'un Outil d'Evaluation de Performances du Réseau UMTS", Cycle de formation des ingénieurs en Télécommunications, 2005/2006.
- [8] T.Anicotte et B.Guillaume, "Le LTE Advanced : notre future 4G", [TELECOM Lille1](#), 2010.
- [9] M.Dehemchi et A.Bouhafer, "Etude et Analyse de Méthodes de Beamforming pour des Systèmes Multi-utilisateurs Pour la 5G", Université 8Mai 1945 – Guelma, juillet 2019.
- [10] N.Adouane et Y.Maafa, "Dimensionnement d'Interfaces dans les Réseaux GSM et UMTS", Université A.MIRA Bejaïa, 2014/2015.
- [11] *Audrey Kevin Dzali Noumbi*, "Installation et maintenance d'une BTS", ESMT Dakar Sénégal, 2008.
- [12] G. Heine, "GSM networks: Protocols, terminology, and implementation", Artech house, 2002.
- [13] S.Djami et Ch.Toulmout, "Contribution à l'optimisation d'un réseau LTE : Adaptation du HANDOVER", Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, Juin 2017.
- [14] B.Yannick et H. Éric et W. François, "LTE et les réseaux 4G", Groupe Eyrolles, 2012.
- [15] A.Magatte Diop, "Long term Evoltion", *Institut National des postes et télécommunications*, october 2013.

[Tapez le titre du document]

- [16] A.Roumane,"Étude des mécanismes de gestion de congestion dans la EUTRAN pour les applications M2M IoT", université de Montréal, Juin 2016
- [17] K.Belkezai et S.Beddar, "etude est simulation d'un reseau mobile haut debit (4G) en vue de l'optimisation", UNIVERSITE BOUGARA-BOUMERDES, Juin 2017.
- [18] H.Bouchentouf et R S. Boudgheneou, "Etude des performances des réseaux 4G (LTE)", Projet fin d'études, Faculté de technologie, Tlemcen, Algérie, 2013.
- [19] T.Bchini, "Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération", L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 10/06/2010.
- [20] R.Karaouzene et N.Halfaoui, " Etude Comparative entre les réseaux cellulaires 3G et 4G Perspectives vers la 5G", Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, 05/2016
- [21] le site: <https://www.3gpp.org/>
- [22] Gh.Fellahi,"Planification et optimisation d'un réseau de la 4G (LTE) pour la Wilaya de Tlemcen", Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, juin 2015.
- [23] M. Rubinstein," Bases de la modulation numérique ", haute école d'ingénierie et de gestion du canton de vaud, 10/10/2018.
- [24] Dr.smith, "CS 103 telecom", Miami Dade College.