الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique
et de l'Informatique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Option : systéme de télécommunication

THEME

Etude et simulation de la chaine de transmission MIMO SC-FDMA de la liason montante du standard 4G-LTE

Proposé et dirigé par :

Dr. ELBESSEGHI MOURAD

Préparé et présenté par:

Zeghar Mohammed

Ould Bokhari Hamza

Année universitaire 2017/2018

Chapitre I

Introduction..... **11**

I.1. Naissance de la téléphonie Mobile 11

I.2. Les différents standards de la téléphonie mobile..... 12

I.2.1. Première Génération :..... 12

I.2.1.1. Définition : 12

I.2.1.2. Avantages et inconvénients 13

I.2.2. Deuxième génération..... 14

I.2.2.1. Les principaux standards de téléphonie mobile 2G..... 14

I.2.3. 2.5G - GPRS (service général de radiocommunication par paquets) :..... 18

I.2.4. 2.75 - EDGE (Débit de données amélioré pour l'évolution GSM) :..... 19

I.2.5. Troisième Génération 20

I.2.5.1. UMTS..... 20

I.2.5.2. HSDPA..... 22

I.2.5.3. HSUPA..... 23

I.2.5.4. HSPA..... 23

I.2.6. LTE (Long Term Evolution) 23

I.2.6.1. Introduction 23

I.2.6.2. Objectif..... 24

I.2.6.3. Caractéristiques de la norme LTE 25

I.2.6.4. Architecture du Standard LTE..... 26

I.2.6.5. Réseau d'accès 4G/LTE : 26

I.2.6.6. Réseau cœur 4G/LTE: 28

I.2.6.7. Entité MME (Mobility Management Entity)..... 28

I.2.6.8. Entité Serving GW (Serving Gateway) 29

I.2.6.9. Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway) 29
I.2.6.10. HSS : 30
I.2.6.11. PCRF (Policy &ChargingRulesFunction): 30
I.2.7. 5G : 30
I.3. Conclusion 31
I. **Chapitre II**
II. Introduction **: 34**
II.1. Objectifs de performance de LTE : 34
II.2. Structure d'une trame LTE : 35
II.2.1. Trame type 1 (FDD) : 36
II.2.1.1. Caractéristiques de la trame FDD : 36
II.2.2. Trame type 2 (TDD) : 36
II.2.2.1. Caractéristiques de la trame TDD : 37
II.3. Les types de transmission utilisée dans la 4 G : 37
II.3.1. Technique OFDM 38
II.3.1.1. Principe de la modulation OFDM: 39
II.3.2. Single Carrier FDE : SC-FDMA 41
II.3.2.1. La Paramétrisation de la SC-FDMA 41
II.3.2.2. Principe de la modulation SC-FDMA : 42
II.3.2.3. Principe de la démodulation SC-FDMA : 44
II.3.3. Etude Comparative de l'OFDMA et de la SC-FDMA 45
II.4. Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA 45
II.4.1. Allocation de ressource en mode distribué : 46
II.4.2. Allocation de ressource en mode localisé 47
II.5. Canal de transmission : 48
II.5.1. Canal à bruit blanc additif gaussien (AWGN) 48

II.5.2. Distribution de Rayleigh : 49
II.5.3. Distribution de Rice : 50
II.6. Codage de canal: 51
II.6.1. Théorie de codage classique : 52
II.6.1.1. Codes convolutifs : 52
II.6.2. Théorie de codage moderne : 53
II.6.2.1. Turbo code : 53
II.7. Modulation d'amplitude sur deux porteuses en quadrature : 55
II.8. Principe de la technologie MIMO 56
II.8.1. Canal de propagation MIMO : 57
II.8.2. Multiplexage spatial : 59
II.9. Conclusion : 60
III. **III. ChapitreIII**
III.1. Taux d'erreur binaire (BER) : 62
III.2. Rapport signal sur bruit (SNR) 62
III.3. La chaine de transmission 63
III.3.1. Conception de la chaine : 64
III.3.1.1. Partie émetteur : 64
III.3.1.2. Canal de gaussien (AWGN Channel): 67
III.3.1.3. Partie récepteur 67
III.3.2. Les performances du système : 69
III.3.2.1. Canal réel (multi trajet) : 74
III.3.3. Partie MIMO : 77
III.3.3.1. La partie Emetteur : 78
III.3.3.2. Canal multi trajet : 79
III.3.3.3. Partie récepteur : 79

III.3.4. Les performances de system : 81

III.4. Conclusion 82

Listes des figures

Figure I.1 *principe de fonctionnement de la 1G* 13

Figure I.2 Architecteur du GSM 15

Figure I.3 *Architecture du réseau GPRS* 18

Figure I.4 *Architecture UMTS* 21

Figure I.5 *Evolution de l'efficacité spectrale* 25

Figure I.6 *Architecture de l'E-UTRAN* 27

Figure I.7 *Simplification de l'architecture LTE* 28

Figure II.1 *Le fonctionnement d.une trame radio* 35

Figure II.2 *Trame radio type 1(FDD)* 36

Figure II.3*trame radio type2(TDD)* 36

Figure II. *Transmission parallèle et séquentielle des systèmes OFDMA et SC-FDMA* 37

Figure II.5 *Schéma d'un système OFDM* 39

Figure II.6*Principe de l'OFDMA* 39

Figure II.7 *Spectre du signal OFDM avec N porteuse* 39

Figure II.8 *Cyclic Préfix (l'intervalle de garde)* 40

Figure II.9 *Emetteur et récepteur OFDMA* 41

Figure II.10 *Représentation temporelle du slot d'un système SC-FDMA à 5 Mhz de largeur de bande* 42

Figure II.11 *Emetteur SC-FDMA* 43

Figure II.12 *Filtre de mise en forme en Cosinus surélevé* 44

Figure II.13 *Récepteur SC-FDMA* 44

Figure II.14 *Similitude entre une chaine OFDMA et SC-FDMA* [5] 45

Figure II.15 *Mapping I-FDMA* 47

Figure II.16 Mapping L-FDMA 47

Figure II.17 *Système de communication avec un canal à bruit additif* 49

Figure II.18 *Propagation multi-trajet dans l'espace*..... 50

Figure II.19 *Gain de codage: exemple de [Biglieri].* 52

Figure II.21 *Exemple de codeur convolutif.* 53

Figure II.22 *Structure du turbo codeur* 54

Figure II.23 *Constellations de deux modulations de type MAQ*..... 55

Figure II.24 *Constellation de la modulation MAQ-32.* 56

Figure II.25 *Un exemple d'un système MIMO* 57

Figure II.26 *Modèle Système MIMO* 58

Figure II.27 *Multiplexage spatial sur deux antennes* 59

Figure III.1 *chaine de transmission 4G LTE* 63

Figure III.2 : paramètres de turbo code ……..……66

Figure III.3 *Modulateur OFDM* 66

Figure III.4 *étage OFDM* 68

Figure III.5 *TEB en fonction de SNR des différant modulation sans codage.*..... 70

Figure III.6 *déférent cas modulation en cas de codage avec un codeur de 1/2* 71

Figure III.7 *modulation 16 QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6*..... 72

Figure III.8 *modulation 64QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6*..... 72

Figure III.9 *modulation 4, 16 ,64,256 QAM turbo code* 73

Figure III.10 *Modulation 16QAM ca turbo avec défèrent itération*..... 74

Figure III.11 *Bloc d'estimation et d égalisations de canal.* 75

Figure III.12 *Egalisation Zéro Forcing*..... 76

Figure III.13 *modulation 4,16 et 64 QAM multi trajet cas codage avec codeur ½*..... 76

Figure III.14 *partie MIMO.* 80

Figure III.15 *bloc space time diversity encoder.* 80

Figure III.16 *Bloc TX1 et TX2* 81

Figure III.17 *Bloc multipath chanel .* 83

Figure III.18 *deux blocs de canal AWGN*..... 79

Figure III.19 *Bloc RX1 et RX2*..... 80

Figure III.20 *Bloc Estimation.* 80

Figure III.21 *Bloc combineur MIMO* 81

Figure III.22 *chaine MIMO cas codage avec taux de codage ½*..... 81

Figure III.23 *chaine MIMO cas turbo avec taux de codage 1/3* 82

Liste des tableaux

Tableau I.1 *Récapitulatif des caractéristiques des différents standards de la téléphonie mobile* 31

Tableau III.2 *Modulation 4, 16,64et 256QAM cas sans codage* 70

Tableau III.3 *déférent cas modulation avec codeur de ½.* 71

Tableau III.4 *modulation 16 QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6.* 72

Tableau III.5 *modulation 64 QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6* 73

Tableau III.6 *modulation 4,16, 64,256 QAM, cas turbo code*..... 74

Tableau III.7 *modulation 4,16 et 64 QAM multi trajet en cas codage de canal à un codeur de1/2* 77

Tableau III.8 *chaine MIMO avec taux de codage 1/2* 81

Tableau III.9 *chaine MIMO avec taux de codage 1/3* 82

Les abréviations

3GPP	3rd Generation Partnership Project.
APN	Access Point Name
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS Base	Transceiver Station
CP	Cyclic Prefix
CRC	CyclicRedundancy Check
CDMA	Code Division Multiple Access
DFT	Discrete Fourier
DL	Down-link
eNodeB	Evolved Node B
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Acces
FFT	Fast Fourier Transform
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High-Speed DownlinkPacket Access
HSDPA	High Speed DownlinkPacket Access

HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
IDFT	Inverse DFT
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Message Service
MSC	Mobile Switching Center
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
P-GW	Packet Data Network GatWay
QoS	Quality of Service
RNC	Radio Network Controller
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SC-FDM	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access
SGSN	Serving GPRS Support Node

Introduction générale

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS). D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que WiFi, Bluetooth, etc.

Les évolutions se poursuivent de partout, tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, étiquettes intelligentes, etc.) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais

des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms classiques avec HS(D)PA, monde des réseaux sans fil avec le WiMAX voire le monde de la diffusion télévision terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S). La future génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritablement tournant dans le foisonnement et la disparité des solutions existantes. L'objectif cette fois sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité. Des premières solutions sont déjà disponibles auprès de la plupart des opérateurs de télécommunications mais la plupart d'entre elles sont des solutions spécifiques à un type d'interconnexion et à un opérateur.

Dans ce mémoire on se verra de présenter les différentes normes (générations) de téléphonie mobile, on commencera tout d'abord par l'ancienne génération très connu et très répondu dans le monde la 2G (GSM), ensuite on passera à la 2.5G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM, ce réseau et une extension du réseau GSM, après on présentera les réseaux 3G(UMTS).

Notre travail s'est donc concentré sur l'étude les performances d'une chaine de transmission 4G LTE , pour cela on va étudier ce réseau en détail, présenter et étudier ces performances, présenter les différentes Qualités de Service, et enfin faire une simulation démontrant les performances des réseaux de 4ème génération cellulaire.

Pour effectuer ce travail nous avons choisis de travailler avec le simulateur ''SIMULINK'' à fin de pouvoir faire une bonne simulation et obtenir de bon résultat.

Introduction

Aujourd'hui, il parait évident d'avoir à partir de son terminal mobile, une conférence vidéo avec un correspondant à l'autre bout du monde, d'acheter un article en ligne tout en étant chez soi à la maison. Mais il est important de savoir que les systèmes de télécommunication que nous apprécions tant n'ont pas toujours permis de tels avantages. Un regard depuis les premiers dispositifs de communication jusqu'à la naissance du téléphone mobile, nous montre l'évolution surprenante qu'a connu les sciences et technologies de communications. Notre travail consistera dans ce premier chapitre à montrer le chemin de cette évolution

I.1. Naissance de la téléphonie Mobile

Après la découverte des ondes électromagnétiques par Maxwell et l'invention du premier téléphone par le savant Graham Bell le téléphone traditionnel connaitra plusieurs évolutions. Devant les limites que connaitra le téléphone fixe à savoir le manque de mobilité et d'aisance, la nécessité d'un téléphone mobile se fera sentir. Ainsi, depuis les années 1940 jusqu'à nos jours, nous assisterons à la naissance et à l'évolution de plusieurs standards de la téléphonie mobile.

En 1950, le monde de la téléphonie est révolutionné par la mise en place du premier service de radiotéléphone aux Etats-Unis. Mais celui-ci connaitra plusieurs limites dont le principal est l'utilisation restreinte des ressources, qui limitent le nombre d'abonnés. Pour parer à ces difficultés, de nouveaux concepts sont introduits à partir de 1964 à savoir le partage des ressources qui consistera aux partages des bandes de fréquence radio entre un plus grand nombre d'utilisateurs.

Ainsi, le réseau alloue un canal radio à chaque communication uniquement pendant sa durée .Ceci permettra d'obtenir un nombre d'abonnés supérieur au nombre de canaux radio disponibles. A partir de 1982, la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) crée le Groupe Spécial Mobile (GSM), qui a pour mission la spécification des normes pour les radiocommunications. Celui-ci sera l'ancêtre de la normalisation de la norme de téléphonie GSM (Global Système for Mobile Communication) que nous connaissons aujourd'hui. C'est parti pour une course vers l'innovation. [1]

Aujourd'hui, face au besoin capital de l'internet dans le quotidien, l'internet mobile a vu le jour.

Ainsi, beaucoup d'autres services utiles à la vie quotidienne de l'homme intègrent les terminaux mobiles au grand plaisir des abonnés.

I.2. Les différents standards de la téléphonie mobile

I.2.1. Première Génération :

I.2.1.1. Définition :

La première génération de systèmes cellulaires (1G) reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base. Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux. Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique.

I.2.1.1.1. Les standards de la 1er génération 1G :

La première génération de téléphonie mobile (**1G**) possédait un fonctionnement analogique et était constituée d'appareils relativement volumineux. Il s'agissait principalement des standards suivants :

I.2.1.1.2. AMPS

(Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux Etats-Unis, constitue le premier standard de réseau cellulaire. Utilisé principalement Outre-Atlantique, en Russie et en Asie, ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.

I.2.1.1.3. TACS

(Total Access Communication System) est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).

I.2.1.1.4. ETACS

(Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS développé au Royaume-Uni utilisant un nombre plus important de canaux de communication. [1]

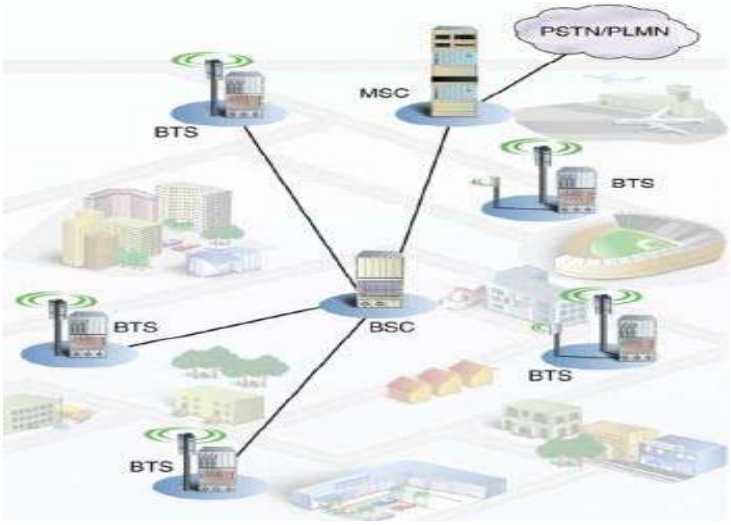


Figure I.1 : *principe de fonctionnement de la 1G*

Initialement, pour la 1G le réseau était composé une antenne (appelée station de Base ou BTS en Anglais), d'un centre de commutation nommé MSC et le trafic était envoyé sur le réseau fixe.

Puis, un contrôleur intelligent a été placé entre la BTS et le MSC dont le rôle est de définir les liens (faisceaux radio) pour acheminer les appels (Hopping car le BSC gère plusieurs BTS, gestion des liaisons, ...) Le mobile, le BTS et le BSC forment la sous partie radio, nommée **BSS**(Base Station Sub system).

I.2.1.2. Avantages et inconvénients

Cette technologie était assez simple et présentait de vaste champ de couverture réseaux. Cependant elle a présenté de nombreux inconvénients. Du fait de son orientation analogique, elle s'avère assez couteuse en termes de consommation énergique. La sécurité est difficile à maitriser car il est facile de synthétiser une fréquence utilisée et écouter la communication. Aussi, l'utilisation du multiplexage par répartition de fréquence limite la capacité d'utilisateur. En outre, Les différents réseaux analogiques qu'utilisait cette norme différaient d'un pays à un autre ce qui entrainait une incompatibilité entre eux. Face à toutes ces difficultés d'autres standards verront le jour avec des offres meilleures [2].

I.2.2. Deuxième génération

La 2G a marqué le passage de l'analogique (premiers téléphones portables) vers le numérique. Cette seconde génération de réseaux mobiles a, par exemple, permis les premiers envois de MMS (photos, sons), comme la génération 1G qui avait permis l'envoi des tous premiers SMS.

Lorsque l'on parle de 2G**,** il s'agit d'une sorte de « réseau internet »**.** Votre téléphone portable doit juste être compatible et vous permettre l'accès Internet. Ce système apporte une meilleure qualité ainsi qu'une repose sur une technologie numérique a été développée à la fin des années 1980. Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur.

I.2.2.1. Les principaux standards de téléphonie mobile 2G

I.2.2.1.1. Le réseau GSM :

GSM est originaire d'Europe, c'est la norme la plus admirée de toutes les technologies mobiles utilisées dans plus de 212 pays dans le monde .La norme GSM rend l'itinérance internationale très commune entre les opérateurs de téléphonie mobile, permettant aux abonnés d'utiliser leurs téléphones dans de nombreuses régions du monde. Le GSM utilise TDMA pour multiplexer jusqu'à 8 appels par canal dans les bandes 900 et 1800 MHz. Le GSM peut non seulement transmettre des données vocales, mais aussi des données commutées sur circuit jusqu'à 14,4 kbps. [3]

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. Parmi ces qualités on peut recenser :

- Une grande capacité d'utilisateurs
- Une utilisation optimale du spectre, ce qui optimise la fluctuation d'utilisateurs
- La bande de fréquence utilisée varie d'un continent à un autre
- Une disponibilité assez large etc.…

En Europe la bande de fréquence est située autour de 900 MHz en raison de 890-915 MHZ en Up-link et 935-960 MHz en Down-link [3]. Chaque communication utilise une

bande de 200 kHz de largeur. Cela revient donc à 124 canaux fréquentiels disponibles et à repartir entre les opérateurs de téléphonie mobile. Devant l'augmentation du nombre d'abonnés, il a été nécessaire d'ouvrir d'autres canaux sur d'autres bandes. Cela se fera aux alentours des 1800 MHz (1710-1785 en Up-link et 1805-1885 en Down-link) d'où l'introduction du système DCS-1800 pour Digital Communication Système) ou le GSM 1800 qui reste identique au GSM 900 en terme de protocole et de service. Par contre aux Etats-Unis la bande de fréquence en Up-link se situe entre 1850 et 1910. En Down-link ce sera entre 1930 et 1990 MHZ.

Le débit maximal qu'autorise le GSM est de 9,6 Kbits/s, à la différence de la 1ère Génération, le GSM est basé sur deux techniques d'accès multiples : TDMA et FDMA pour mieux partager la bande de fréquence en sous bande ou porteuse. Chaque porteuse est divisée en huit intervalles de temps ou slots qui correspondent à huit canaux successifs. Chacun de ces canaux sera utilisé pour une communication. Le GSM utilise un taux de transmission de 270kbits/s sur l'interface air. La modulation de symbole utilisé ici est la GMSK. L'une des innovations principales que présente le GSM est le transfert de données numériques : Le message texte (SMS : Short Message Service) et les messages multimédias (MMS : MultiMedia Message Service) [2].

I.2.2.1.2. Architecture GSM

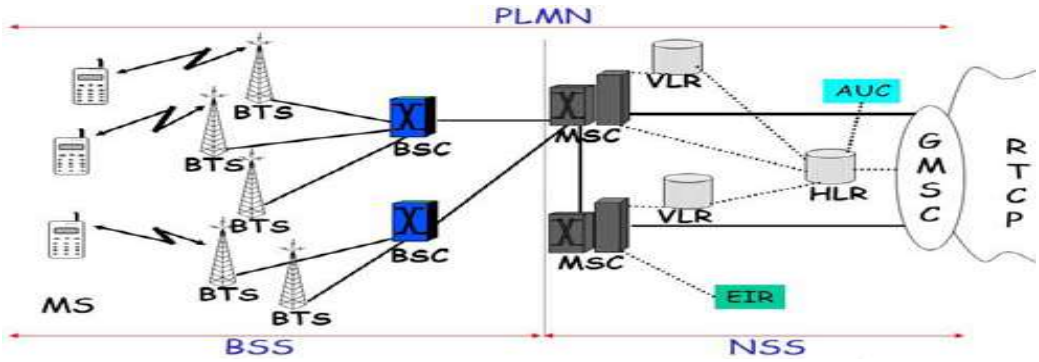


Figure I.2 : Architecteur du GSM

Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

1. Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-System):

BSS pour base station sub-system, c'est un sous-système de l'architecture GSM qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio. Le BSS comprend les

BTS qui sont des Emetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence et les BSC qui contrôlent un ensemble de BTS et permettent une première concentration des circuits.

2. Le sous-système d'acheminement NSS :

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutations et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

Il se compose de plusieurs équipements, en citant quelques-uns :

- **Commutateur (MSC) :** le Commutateur (MSC : Mobile Switching Center) assure l'interconnexion du réseau de radiotéléphonie avec le réseau téléphonique public, il effectue les commutations nécessaires pour les mobiles situés dans la zone de location.

Le Commutateur est un nœud important du réseau, il donne accès vers les bases de données du réseau et vers le Centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés. Ce dernier assure aussi l'établissement des communications.

- **Le registre de localisation (HLR) :** le HLR ou Home Location Registre est une base de données qui gère les abonnés d'un opérateur. D'autre part, le HLR est une base de données de localisation.

Dans le cas d'implantation, à chaque abonné est associé un HLR unique, de façon indépendante de la localisation momentanée d'un abonné. Le réseau identifie le HLR du numéro d'appel.

- **L'enregistreur de localisation visiteur (VLR) :**le VLR (Visitor Location Register) est une base de données qui mémorise les informations aux abonnés présents dans la zone géographique du MSC ou la zone de localisation (LA).

Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR, mais concernant seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée, le VLR a une information de localisation plus précisé que le HLR.

- **Le centre d'Authentification (AUC):**le Centre d'authentification (AUC : Authentification Center) mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demande de services et pour chiffrer les communications.

3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance-OSS :

. Il assure la gestion et la supervision du réseau à travers :

- La détection des pannes
- Mise en service des sites
- Modification de paramétrage
- Réalisation de statistiques
- Cette parte du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.
- Outre les innovations citées plus haut, le GSM a introduit de nouveaux concepts qui permettent une meilleure mobilité:
- Le concept d'itinérance : reconnaissance à tout instant de la localisation de l'abonné.
- Le concept de handover : permettant le passage d'une zone couverte à une autre.[1]

I.2.2.1.3. Avantages et Inconvénients

Le GSM a été une révolution pour la téléphonie mobile. Il a apporté des nouveaux services essentiels au quotidien de l'homme. Comme les SMS, les MMS, les services multimédias (météo, horoscope, consultation de compte bancaire etc…) Malheureusement son faible débit de 9,6 Kbit/s ne permet pas d'avoir l'accès à de grands services multimédia et internet. L'un des problèmes majeurs est la Monopolisation des ressources. Un certain nombre de ressources sont monopolisées dans tout le réseau pour un seul utilisateur et pendant toute la durée de sa session, alors que ces ressources ne sont qu'épisodiquement réellement utilisées. Il y a donc gaspillage des ressources, notamment des ressources radio, rares et chères, non utilisées à cent pour cent de leur capacité. Devant ces limites cette norme connaitra des améliorations.[5]

I.2.3. 2.5G - GPRS (service général de radiocommunication par paquets) :

GPRS est l'extension du réseau 2G existant pour avoir la capacité de lancer des services par paquets tout en améliorant les débits de données supportés par ces réseaux. Le terme «seconde génération et demie» est utilisé pour décrire les systèmes 2G qui ont mis en œuvre un domaine à commutation par paquets en plus du domaine à commutation de circuits.

"2,5 G" est un terme informel. Le GPRS a fourni des débits de données allant de 56 Kbps à 384 Kbps, en utilisant les technologies HLR, VLR, EIR et AUC avec les technologies HSCSD, GPRS et EDGE. Il fournit des services tels que l'accès au protocole WAP (Wireless Application Protocol), le service de messagerie multimédia (MMS) et les services de communication Internet tels que l'e-mail et l'accès au (**WWW**). Le transfert des données GPRS est généralement facturé par mégaoctet de trafic transféré, tandis que la communication des données par commutation de circuit traditionnelle est facturée par minute de connexion, que l'utilisateur utilise réellement la capacité ou soit dans un état inactif. Les réseaux 2.5G peuvent prendre en charge des services tels que le WAP, les MMS, les jeux mobiles SMS, l'annuaire de recherche et l'accès Internet.[4]

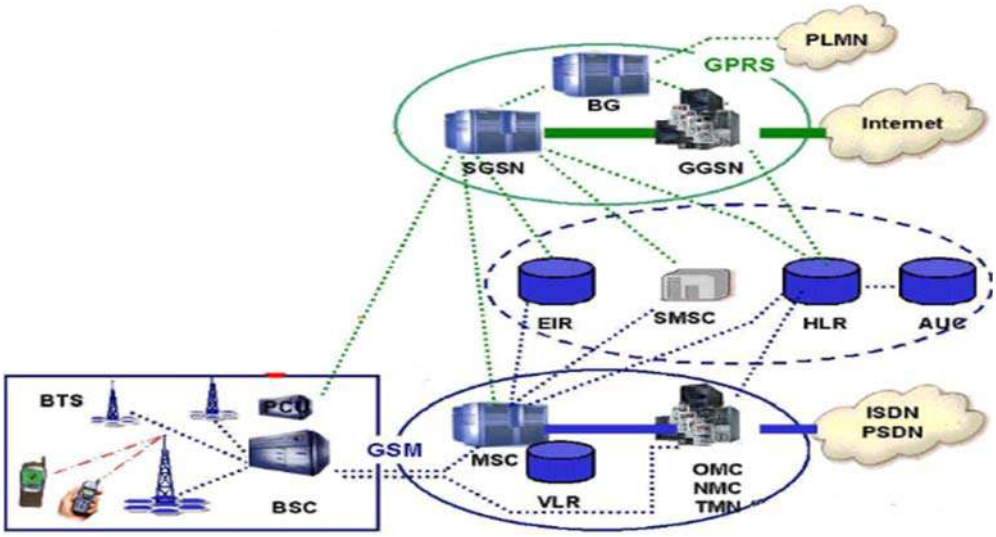


Figure I.3 : *Architecture du réseau GPRS*

Le réseau GPRS et le réseau GSM fonctionnent en parallèle : le premier est utilisé pour le transport des données, et le second pour les services classiques de voix. Tous deux utilisent les mêmes équipements BSS, c'est-à-dire les stations de base BTS et leurs contrôleurs BSC. Le réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP qui se constitue de routeur IP. Il comprend : [7]

- Un Nœud de Service GPRS (SGSN : Serving GPRS Support Node) qui est relié à un ou plusieurs BSS. Il se charge de la mobilité du terminal à travers les cellules et la conversion des données du terminal en type IP et réciproquement.
- Un Nœud de Passerelle GPRS (GGSN : Gateway GPRS Support Node) relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet ou autres). C'est un routeur qui permet aux paquets venant de données externes d'être acheminés vers le SGCN du destinataire.
- Un module BG (Border Gateway) qui est un nœud passerelle permettant de relier un réseau
- GPRS à un réseau fédérateur interconnectant différent réseaux GPRS. Il joue aussi le rôle de supplémentaire de sécurité.
- Un réseau fédérateur est l'ensemble des GGSN, SGSN et des routeurs IP éventuels.

I.2.3.1.1. Avantages et Inconvénients

L'innovation de ce réseau permet de considérer le réseau GSM comme un réseau de transmission de données par paquets avec un accès radio et des terminaux mobiles. Il permet une compatibilité avec des protocoles IP et X25. L'avantage majeur est la transmission par paquet sur la voie radio quipermet d'économiser la ressource radio. De ce fait le terminal peut recevoir ou émettre des donnée sà tout moment sans qu'un canal radio soit monopolisé en permanence comme était le cas en GSM.

Malheureusement le débit pratique est limité à 48 Kbit/s ce qui ne permet pas un accès aisé aux services multimédias.

I.2.4. 2.75 - EDGE (Débit de données amélioré pour l'évolution GSM) :

La technologie EDGE s'appuie sur une modification de la communication entre le mobile et la station de base. Il est nécessaire de changer la carte TRX (transmission/réception) de la BTS et de modifier la partie logicielle. L'astuce consiste à modifier la modulation numérique en augmentant la valence (la modulation MSK est remplacée par une modulation 8PSK c'est à dire 3 fois plus rapide). Cela entraine une réception plus sensible au bruit et par conséquent une couverture plus faible.

I.2.5. Troisième Génération

I.2.5.1. UMTS

Après ces évolutions du GSM considérées toujours comme technologie de 2nd génération, l'UMTS (Universel Mobile Télécommunications System) viendra complètement bouleverser les systèmes de téléphonie mobile à la release 99 [5].

Tout le réseau mobile a été repensé dans sa totalité dans cette nouvelle norme qui marque ainsi le passage de la 2G à la 3G .Cette norme disponible depuis les années 2002, présente des avantages meilleurs que les précédentes. Elle présente les caractéristiques suivantes [2]:

- Utilisation de la plage de fréquence dans l'ordre des 2000 MHz
- Utilisation de larges canaux de l'ordre de 5MHz contre 200KHz pour le GSM
- Utilisation du W-CDMA (amélioration de la TDMA)
- Accès rapide à internet depuis les terminaux mobiles
- Compatibilité avec les normes précédentes
- Optimisation des problèmes de saturation de réseaux

Ce standard permet l'accès à bon nombre d'applications et services dont :

- Les appels Visio qui permettent de voir en temps réel notre interlocuteur
- L'option de visioconférence permettant d'entretenir des conversations avec plusieurs interlocuteurs à la fois et de les apercevoir.
- Fax et messagerie rapide
- Accès à des bases de données.
- L'interface radioélectrique entre le mobile et le nœud B (équivalent de la BTS) peut présenter deux types de solutions CDMA.
- Une interface W-CDMA en mode FDD (Fréquence Division Duplex)
- Une interface TD-CDMA en mode TDD (Time Division Duplex)

La bande de fréquences réservée à l'UMTS est divisée en plusieurs sous-bandes selon le mode de fonctionnement :

- 1920-1980 MHz pour la voie montante du FDD
- 2110-2170 pour la voie descendante du FDD
- 1900-1920 MHz et 2020-2025 MHz pour le TDD

En FDD les voies montante et descendante sont affectées à deux bandes de fréquences distinctes, espacées de 190 MHz.

En TDD les voies montantes et descendantes sont multiplexées temporellement sur une même porteuse. Pour chaque mode de fonctionnement, la bande de fréquence est divisée en canaux radio de 5 MHz. Dans la même bande de fréquence de 5MHz le débit utile pour chaque canal est de 384Kbit/s en W-CDMA et de 144 en TD-CDMA.

I.2.5.1.1. Architecture du réseau UMTS

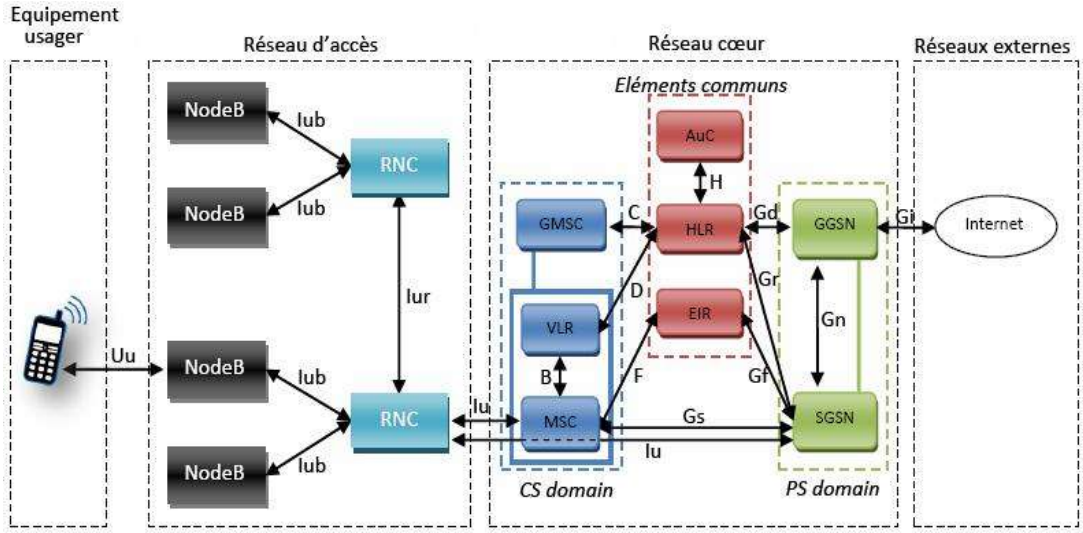


Figure I.4 : *Architecture UMTS* [11]

I.2.5.1.2. La carte USIM

C'est l'équivalent de la carte SIM dans le GSM. Elle assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications.

I.2.5.1.3. Le réseau d'accès radio (UTRAN)

Il comporte les deux éléments suivants : [5],[2]

- **Le Nœud B** : qui est l'antenne équivalente de la BTS en GSM. Cette station se charge de gérer la couche physique de l'interface radio. Le Nœud B régit le code de canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement. Le Nœud B communique avec le mobile sous l'interface dénommée.
- **Le RNC** (Radio Network Controller) : C'est le contrôleur des Nœud B. Il est l'équivalent de la BSC en GSM. Il gère les ressources radio de la zone qu'il contrôle, c'est-

à-dire les ressources de la zone de couverture de tous les nœuds B auxquels il est rattaché. Il assure la mobilité des usagers et la concentration de trafic. Il gère le contrôle et la congestion des différents Nœuds B et assure le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio. Il s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit.

L'ensemble des Nœuds B et RNC constitue l'équivalent de la BSS en réseau GSM.

I.2.5.1.4. Le réseau cœur

Il s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Le réseau cœur est en charge de la communication et du routage des communications (voix et données) vers le réseau externe. Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet. [2]

- Le domaine Circuit (DC) : Il permet la gestion des services en temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphoniques), jeux application multimédia. Ces applications nécessitant un temps de transferts rapide, le débit du mode domaine circuit est de l'ordre de 384Kbits/s. La structure s'appuie sur les principaux éléments du GSM/MC/VLR (bases de données existantes) afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe.
- Le domaine Paquet (DP) : il permet de gérer les services qui ne sont pas en temps réels. Il s'agit particulièrement de la navigation internet, la gestion des jeux en réseaux et l'accès et utilisation des e-mails .Ces applications est moins sensible au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transitent en mode paquet. Le débit du domaine paquet est de l'ordre de 2 Mbits/s.

Avantages et Inconvénients

Le réseau UMTS est complémentaire aux réseaux GSM et GPRS. Il couvre les fonctionnalités nécessaires aux services de type voix en mode circuit. Ce réseau a apporté les premières fonctionnalités à la mise en place de services de type Data en mode paquets. Malheureusement l'investissement en architecture réseau est conséquents car le mode de communication entre les terminaux 3G et le Nœud B (ou BTS) est différent des normes précédentes.

I.2.5.2. HSDPA

Le High Speed Downlink Packet Access (abrégé en HSDPA) est un protocole pour la téléphonie mobile il est dit 3.5G, 3G+, ou encore turbo 3G dans sa dénomination commerciale. Il offre des performances dix fois supérieures à la 3G dont il est une évolution logicielle. Cette évolution permet d'approcher les performances des réseaux DSL (Digital Subscriber Line). Il offre des débits descendants jusqu'à 14,4 Mbit/s en théorie et 3,6 en pratique avec la release 5. Il est basé sur la technologie de communication WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) [9], [11].

I.2.5.3. HSUPA

High Speed UplinkPacket Access (*HSUPA*) est aussi un protocole de téléphonie mobile de troisième génération (3G) dont les spécifications ont été publiées par le 3GPP dans la « *release 6* » du standard UMTS. HSUPA peut se présenter comme une variante de HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) sur la voie montante. HSUPA, présenté comme le successeur de HSDPA, porte le débit montant à 5,8 Mbit/s théorique, le flux descendant reste de 14 Mbit/s comme en HSDPA. L'intérêt d'HSUPA est d'offrir la possibilité d'émettre facilement des contenus volumineux (photos, audio, vidéo) vers d'autres mobiles mais également vers les plates-formes de partage sur Internet. Cette technologie est un pas significatif vers l'accès aux applications Web 2.0 sur l'Internet mobile, elle accompagne d'ailleurs le développement de pages adaptées aux mobiles par les acteurs de sites collaboratifs [10], [11].

I.2.5.4. HSPA

HSPA (High Speed Packet Access), aussi appelé 3G+ dans sa dénomination commerciale, est la liaison de deux protocoles utilisés en téléphonie mobile pour améliorer les performances obtenues avec la 3G : High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) et High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).

I.2.6. LTE (Long Term Evolution)

I.2.6.1. Introduction

Devant l'objectif de proposer des débits répondants aux besoins croissant des mobinautes, plusieurs évolutions voient le jour. Après l'apparition de la norme 3G et avec toutes les limites que celle-ci présente une autre difficulté majeure est rencontrée : la gestion de la mobilité. De nos jours les utilisateurs sont de plus en plus mobiles. Il en résulte donc un grand problème d'optimisation du débit et de la qualité de service. Ceci sera donc une

grande motivation pour mettre en œuvre un autre système architectural. Le standard LTE pour Long Term Evolution. C'est un projet lancé depuis 2004 au sein du 3GPP. En 2007, le projet LTE est passé de l'étude de faisabilité aux premières spécifications techniques. Ainsi en Décembre 2008, après plusieurs améliorations, les spécifications sont enfin suffisamment mûries pour la mise oeuvre commerciale du LTE, pour donner naissance à la Release 8 qui est la norme 3GPP LTE [5].

Ce standard s'apparente à la 4G, mais on le considère comme étant de la 3.9 G. Par contre son évolution LTE Advanced est typiquement de la 4ème génération 4G. Pour parer à toute contrainte de communication (faible débit, disponibilité) LTE propose un débit descendant minimal de 10Mbpspour atteindre les 300Mbps en condition optimale. Les débits montant ne sont pas en reste enpartant de 5Mbps jusqu'à 75Mbps.

I.2.6.2. Objectif

Axé sur l'amélioration de la technique d'accès radio et l'optimisation de l'architecture des systèmes de troisième génération existants UMTS, la norme LTE se donne pour objectif principale d'assurer à l'utilisateur une mobilité maximale. Une fois connecté, en utilisant le réseau disponible, celui-ci pourra passer d'un réseau à un autre sans interruption de la communication et avec une même qualité de service à tout moment. Les principaux objectifs de ce Standard sont :

- Réduire les délais et le trafic de signalisation
- Fournir une meilleure qualité de service
- Optimiser l'utilisation des ressources
- Garantir la continuité de la session en cours
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets
- Fournir une bonne qualité de service aux usagers
- Minimiser le coût de signalisation

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées ce qui permet d'élever nettement le niveau des performances (haut débit et latence) par rapport aux réseaux précédents. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi

ou le WiMAX) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée.

I.2.6.3. Caractéristiques de la norme LTE

Par rapport à la norme UMTS actuelle, l'une des principales nouveautés du LTE réside dans l'introduction du procédé de codage par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples sous-porteuses OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour les liaisons descendantes et SC-FDMA (Single Carrier -Frequency Division Multiple Access), une méthode voisine de l'OFDM, pour les liaisons ascendantes. Ces procédés permettent l'exploitation

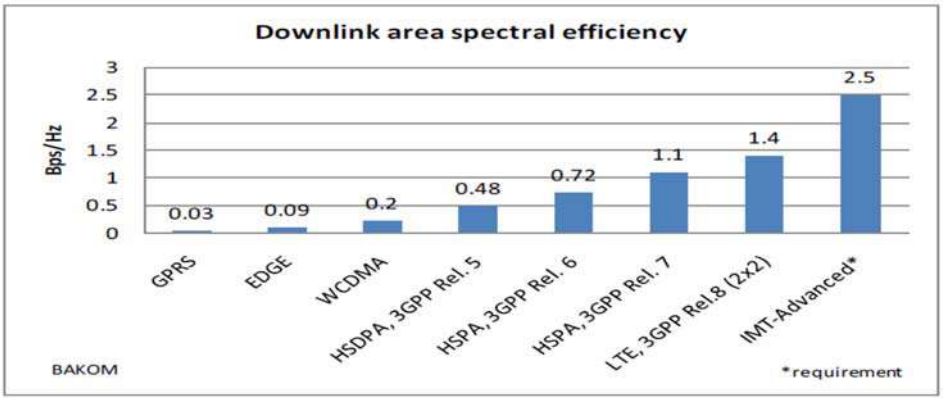


Figure I.5: *Evolution de l'efficacité spectrale*

Grâce à des largeurs de bande flexibles et une division très fine des porteuses, le LTE atteint des vitesses nettement plus élevées que ses prédécesseurs. Il permet d'adapter rapidement les paramètres radio aux canaux radio en recourant au nouveau procédé de codage OFDMA. Avec ce procédé, le LTE constitue aussi une plateforme remarquable pour la transmission de services de radiodiffusion (Multicast, Broadcast) dans les réseaux de radiocommunication mobile. Comme nous l'avons cité plus haut dans ce standard il est possible de franchir la barre des 100 Mbit/s en liaison descendante (326 Mbit/s en liaison descendante et 86 Mbit/s en liaison ascendante en théorie).

Cette augmentation est possible surtout grâce à l'utilisation d'un nombre d'antennes pouvant aller jusqu'à 8 dans la station de base et le terminal (MIMO) [13].

du système avec des largeurs de bande du canal allant de 1,4 MHz à 20 MHz (largeurs de bandes de 1,4 MHz, 3 MHz, 5MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz) et l'utilisation de systèmes de radiocommunication mobile dans diverses largeurs de bande, sans qu'ils soient

liés à l'écart habituel entre les canaux de 5 MHz. L'illustration ci-dessous montre l'évolution de l'efficacité du spectre en liaison descendante avec différentes technologies de radiocommunication mobile.

I.2.6.4. Architecture du Standard LTE

Le réseau est composé du Cœur réseau (Core Network CN) et du réseau d'accès. Tandis que le Cœur réseau se compose de beaucoup de noeuds logiques, le réseau d'accès se compose essentiellement juste un noeud, le Node évolué (eNodeB) qui est l'équivalent de la BTS en GSM et qui se relie à l'UEs. Chacun de ces éléments de réseau est relié à l'ensemble au moyen d'interfaces qui sont normalisées afin de permettre l'interopérabilité à plusieurs fournisseurs. Ceci donne à des opérateurs de réseau la possibilité de faire des choix dans leurs réalisations physiques de dédoubler ou fusionner ces éléments de réseau logiques selon des considérations commerciales.

En réalité, l'ensemble de ce réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System)

I.2.6.4.1. EPS

Comme nous venons de le voir l'EPS (Evolved Packet System) représente l'ensemble du réseau à savoir LTE et SAE. Il a les caractéristiques suivantes :

- Il possède une architecture plate et simplifiée comparée à celle hiérarchique 2G/3G puisque la fonction de contrôleur d'antenne disparaît. La seule entité présente dans l'accès est l'eNœude qui peut être assimilé à un eNœude+RNC.
- Il s'agit d'une architecture uniquement paquet comparée à l'architecture 2G/3G circuit et paquet.
- Il permet une connectivité permanente tout-IP comparée à des contextes PDP temporaires ou permanents en 2G/3G dans le domaine paquet
- Son interface radio est totalement partagée entre tous les usagers en mode ACTIF comparée à des ressources dédiées et partagées dans l'architecture 2G/3G.
- Il permet des handover vers les réseaux 2G/3G et CDMA/CDMA2000 afin d'assurer des communications sans couture en environnement hétérogène.

I.2.6.5. Réseau d'accès 4G/LTE :

Le réseau d'accès LTE est constitué d'un nœud unique l'Evolved Nœud B ou eNœud B,. Il regroupe en une entité unique les fonctionnalités des nœuds Nœud B et RNC de

l'UMTS. La principale fonction de l'eNœud B est d'acheminer les flux de données de l'UE vers l'EPC (Evolved Packet Core Network) au moyen des fonctions comme le RRM (Radio Ressource Management) et le CAC (Call Admission Control). Cette opération est réalisée en utilisant l'interface S1 qui relie l'E-UTRAN aux composantes de l'EPC. L'EUTRAN dispose d'une nouvelle interface X2 unique au réseau LTE. Cette interface a pour principal rôle de réaliser des échanges de données et de signaux de connexion entre différents eUTRAN. Présent´e ainsi, la planification des réseaux d'accès devient tr`es simple avec un nombre réduit de nœuds et d'interfaces. Cette simplicité entraîne une réduction des pertes de paquets qui peuvent subvenir en cas de relève, celle des coûts d'opération et une diminution du temps de latence dans le système.

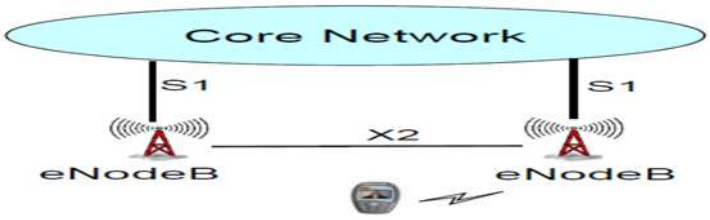


Figure I.6: *Architecture de l'E-UTRAN*

L'eNœude B

L'eNœude B est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G (UMTS) où sont présentes les entités Nœud B et RNC, l'architecture E-UTRAN ne présente que des eNœude. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNœude B et les entités du réseau cœur MME/Serving GW. L'eNœude B dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNœude B et le MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNœude B et le Serving GW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNœude B adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'usager en mode ACTIF (handover).[16]

Lorsque l'usager se déplace en mode ACTIF d'un eNœude B à un autre eNœude B, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNœude B pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNœude B tant que le nouvel eNœude B n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNœudeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNœude B qui les remet à l'UE.

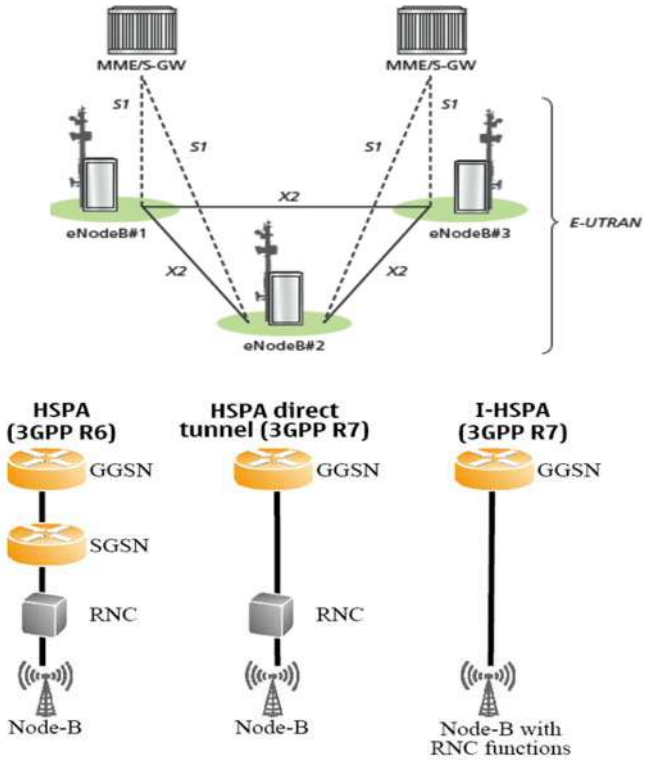


Figure I.7: *Simplification de l'architecture LTE*

I.2.6.6. Réseau cœur 4G/LTE:

Connu aussi sous le nom de SAE (System Architecture Evolution), l'EPC représente le réseau cœur de LTE. Il se compose d'´equipements devant supporter la connectivité tout IP entre les domaines multi-technologiques dans l'architecture 4G. Il assure la gestion des utilisateurs, la gestion de la mobilité, la gestion de la qualité de service et la gestion de la sécurité, au moyen des équipements tels que le MME, le SGW, PDN-GW (Packet Data Network Gateway) et le PCRF (Policy and Charging Rules Function).

Dans le SAE on distingue le MME, le SGW, le PDW

I.2.6.7. Entité MME (Mobility Management Entity)

Les fonctions de l'entité MME incluent:

- **La signalisation EMM et ESM avec l'UE**. Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement /libération de session de données) respectivement. Ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME.

- **L'authentification**. Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.

I.2.6.8. Entité Serving GW (Serving Gateway)

Les fonctions de l'entité Serving GW incluent :

- **Le point d'ancrage pour le handover inter-eNoeudeB**. Lors d'un handover inter-eNode, le trafic de l'usager qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le Serving GW doit désormais être relayé du nouvel eNodeB au Serving GW.
- **La Point d'ancrage pour le handover LTE et les réseaux 2G/3G**. Il relaie les paquets entre les systèmes 2G/3G et le PDN-GW**.** Lors d'une mobilité entre LTE et Les réseaux 2G/3G paquet, le SGSN du réseau 2G/3G s'interface avec le Serving GW pour la continuité du service de données.
- **Le routage des paquets et relai des paquets**. Le Serving GW route les paquets sortant au

PDN GW appropriés et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.

- **La comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs**. Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter opérateurs pour les reversements.

- **Le routage des paquets et relai des paquets**. Le Serving GW route les paquets sortant au

PDN GW appropriés et relaie les paquets entrants à l'eNoeudeB servant l'UE.

- **La comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs**. Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements.

I.2.6.9. Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway)

- **L'Interface vers les réseaux externes** (Internet et intranet). Le PDN GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6.

- **L'allocation de l'adresse IP de l'UE**. Le PDN GW assigne à l'UE son adresse IP dès l'attachement de l'UE lorsque le réseau établit un défaut bearer permanent à l'UE. Le PDNGW peut allouer une adresse IPv4 ou IPv6.

I.2.6.10. HSS :

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé Home Subscriber Server (HSS). Le HSS est un donc HLR évolué. C'est une base de données contenant l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS.

I.2.6.11. PCRF (Policy &ChargingRulesFunction):

Il se charge de fournit les règles de la taxation. Il fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un default bearer ou un dedicated bearer est activé ou modifié pour l'usager. Ces règles de taxation permettent au PDNGW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'usager fait transiter sur son default bearer des flux WAP et des flux de streaming, il sera possible au PDN GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP sur la base du volume alors que le flux de streaming sera taxé sur la base de la durée**.**

I.2.7. 5G :

Le réseau 5G constitue le futur de la téléphonie mobile, puisqu'il permettra aux abonnés de profiter de l'ultra haut débit, tout en limitant la consommation d'énergie des Smartphones. Son débit maximal devrait être de 1 Gbit/s pour les téléchargements, et 500 Mbit/s pour uploader des fichiers. Aujourd'hui, le réseau 5G est encore en test, même s'il est utilisé lors d'opérations militaires. Pour l'instant, cette technologie reste très onéreuse, et l'on estime qu'elle ne sera proposée au grand public qu'en 2020. Pour en bénéficier, vous devrez alors investir dans un Smartphone compatible. À l'heure actuelle, Samsung et Microsoft réalisent des tests, sur des prototypes de téléphones supportant cette nouvelle technologie. Le réseau 5G pourrait être déployé sur la bande L38, correspondant à une très haute fréquence, entre 1452 et 1492 MHz.

Génération	Standard	Bandes de Fréquences en MHz	Largeur de canal	Débit max	Techniques d'accès	modulation

2	GSM	890-960 1710-1880	200kHz	9,6 Kbps	TDMA/FDMA	GMSK
2.5	GPRS	890-960 1710-1880	200khz	171Kbps	TDMA/FDMA	GMSK
2.75	EDGE	890-960 1710-1880	200khz	384Kbps	TDMA/FDMA	PSK (8PSK)
3	UMTS	1185-2025 2010-2200	5MHz	2Mbps(DL) 384 Kbps (UP)vv	W-CDMA	PSK (4PSK)
3.5	HSDPA	1185-2025 2010-2200	5MHz	14 Mbps (DL) 384Kbps (UP)	WCDMA	QAM/ QPSK
3.75	HSUPA	1185-2025 2010-2200	5MHz	14Mbps(DL) 5Mbps (UP)		QAM/QPSK
3.9	LTE	1920-1980 2110-2170	1,4-3-5- 10-15-20 (MHz)	300Mbps(DL) 86Mbps (UL)	OFDMA/SCFDMA	QPSK/QAM
4	LTE Adv		100MHZ	Objectif1Gbps	OFDMA/SCFDMA	QPSK/QAM

Tableau I.1: *Récapitulatif des caractéristiques des différents standards de la téléphonie mobile*

I.3. Conclusion

Dans ce chapitre où nous avons fait une étude comparative des différents réseaux mobiles existant, nous avons pu remarquer que le Long Term Evolution avec son architecture simplifié, son accès optimisé et l'introduction de techniques innovantes, constitue est une révolution pour la téléphonie mobile. Les débits d'ordre supérieurs et les

services offerts facilite le quotidien de l'abonné à travers un bon niveau de QoS. Malheureusement l'un des inconvénients de cette nouvelle technologie est l'installation de ses nouveaux équipements qui sont différents de ceux des normes précédentes, et le développement des terminaux adaptés.

II. Chapitre II

Introduction :

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre UE la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « downlink », alors que la "vraie 4G" offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s.

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée.

II.1. Objectifs de performance de LTE :

Les objectifs de performance pour le LTE ont été définis par l'organisation de normalisation3GPP. Les principales données techniques de la nouvelle interface radio sont les suivantes :

Augmentation sensible du débit en liaison descendante pouvant atteindre jusqu'à100Mbit/s pour une largeur de bande de 20 MHz, et augmentation de l'efficacité du spectre jusqu'à 5 Bit/s/Hz avec deux antennes au niveau du téléphone mobile (3à 4 fois l'efficacité spectrale de l'UMTS version 6 avec une antenne émettrice et deux antennes réceptrices) .[17]

- Largeurs de bandes de 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz .
- Le temps de latence (délai) de l'interface radio entre le téléphone portable et le réseau fixe doit être inférieur à 5 ms. Le délai de propagation aller-retour est inférieur à 10 ms.
- Les procédures en mode duplex FDD et TDD sont supportées .

- Débits de données supérieurs dans les bords de la cellule. Mobilité jusqu'à 500 km/h (optimisée pour 0 à 15 km/h).

II.2. Structure d'une trame LTE :

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1 ms, chaque Sous trame est divisée en deux slots de 0,5ms. Un slot dure donc 0,5 ms, durée pendant laquelle est transmis 7 symboles par bande OFDM. Or, nous avons vu qu'il y avait 12bandes.

Par conséquent, 7 symboles *12 bandes = 84 symboles sont transmis en 0,5 ms.

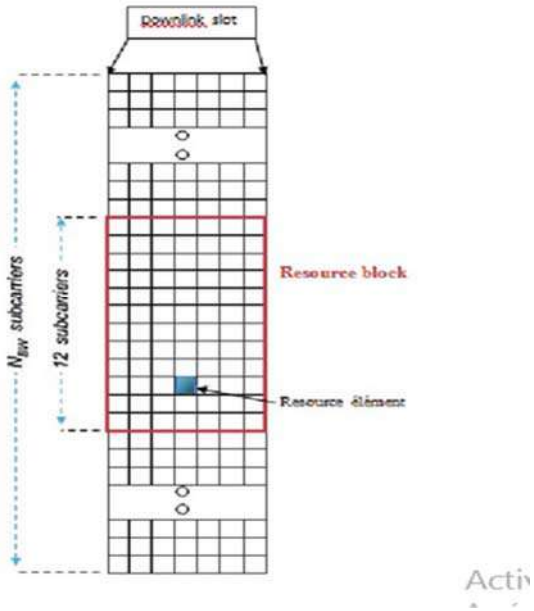


Figure II.1: *Le fonctionnement d.une trame radio*

1 symbole peut transmette 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM).Par exemple :

1 symbole représente un carton, et dans un carton nous pouvons avoir une boite ou 6 boites. Si nous souhaitons transporter le plus de boite, nous avons intérêt à mettre 6 boites par carton, ce qui fragilise encore plus le transport, nous favoriserons dons le 128 QAM (6 bits à transmettre) si le mobile et la station de base sont proches (transport peu éloigné entre le point A et le point B).

Les transmissions downlink et uplink sont organisés en deux types de structures qui sont :

- Structure de type 1 : duplex de fréquence division FDD.

- Structure de type 2 : duplex par séparation temporelle TDD.

II.2.1. Trame type 1 (FDD) :

La trame générique du LTE a une longueur totale de 10 ms, celle-ci est ensuite subdivisée en un total de 20 slots individuels. la sous-trame LTE se compose de deux slots, en d'autre terme, il y a dix sous-trames LTE au sein de la trame LTE. [22]

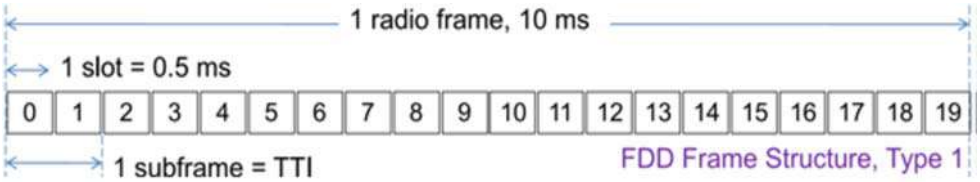


Figure II.2: *Trame radio type 1(FDD)*

II.2.1.1. Caractéristiques de la trame FDD :

- Nécessité d'un duplexeur (cout élevé du matériel).
- Utilisation de deux canaux différents dans les deux directions.
- Bande de garde:
- Isolation entre UL et DL.
- Une large bande de garde n'affecte pas la capacité.
- Nécessité d'une transmission en continue.
- Pas d'interférence inter-slots [24

II.2.2. Trame type 2 (TDD) :

La structure de la trame de type 2 utilisé dans LTE TDD est peu différente, les 10ms de la trame se composent de deux demi-trames, chacune de 5ms. Les demi-trames LTE sont de plus, divisées en cinq sous-trames, chacune de 1ms de durée [22].



Figure II.3: *trame radio type2(TDD)*

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

- DwPTS(Downlink Pilot Time Slot) : elle est utilisée pour la transmission descendante.
- GP (Guard Pilot) : assure la transmission d'UE sans avoir des interférences entre UL et DL.
- UpPTS (Uplink Pilot Time Slot) : utilisé par eNB pour déterminer le niveau de puissance reçu et la durée de la puissance de l'UE [23]

II.2.2.1. Caractéristiques de la trame TDD :

- Moindre coût.
- Utilisation du même canal de transmission dans les deux liaisons.
- Bande de garde :

➢ Isolation entre UL et DL.

➢ Une grande période de garde limite la capacité .

- Nécessité d'une transmission en discontinue :

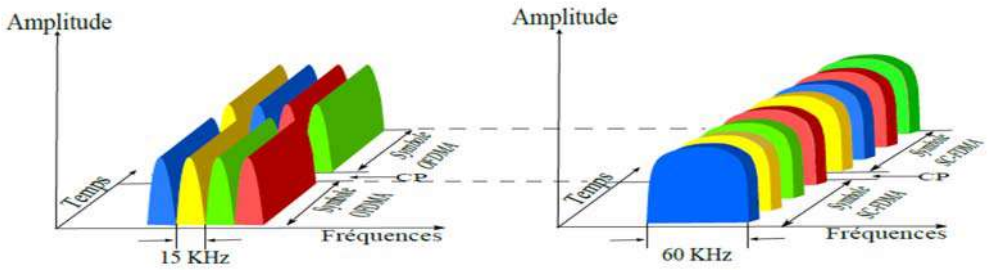
➢ Permission à la fois la transmission en liaison montante et en liaison descendante.

➢ Pouvoir dégrader les performances de l'amplificateur RF de puissance de l'émetteur.

- Pouvoir la production des interférences inter-slots [24].

II.3. Les types de transmission utilisée dans la 4 G :

Un des Eléments clés de la LTE est l'utilisation de ces deux techniques OFDMA et SC-FDMA, qu'ion présentera par la suite, en tant que porteur du signal et des régimes.



OFDMA SC-FDMA

Figure II.4: *Transmission parallèle et séquentielle des systèmes OFDMA et SC-FDMA*

II.3.1. Technique OFDM

Les accès multiples sont des techniques efficaces de partage de ressources de communication en temps et en bande passante, de manière optimale afin d'augmenter la capacité d'un réseau de communication en nombre d'utilisateurs. Cette technique doit être mise en œuvre sans créer d'interférences nuisibles aux performances des systèmes. La condition nécessaire pour éviter les interférences d'accès multiples (IAM) est l'orthogonalité entre les signaux des différents utilisateurs.

Elle procède donc à un recouvrement mutuel des différentes sous-porteuses, d'une manière orthogonale**.** Cette orthogonalité permet une utilisation optimale des ressources spectrales et facilite l'implémentation numérique. L'un des problèmes majeurs en télécommunication est l'adaptation de l'information à transmettre au canal de propagation. Etant donné, la présence de canaux sélectifs en fréquences, on a recours à l'utilisation de modulations multi-porteuses dans laquelle un bloc d'information est modulé par une transformée de Fourier. Ainsi cette technique a connu un vif succès ces dernières années et est en phase de normalisation dans différents standards sans fils (IEEE802.11a, WiMAX, LTE, DVB). La technique OFDM à la grande particularité de transformer un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajet très simples à égaliser. De plus, l'utilisation ingénieuse de redondance cyclique à l'émission permet de réduire la complexité des terminaux grâce à l'utilisation d'algorithmes à base de FFT rapides.

Quelques avantages de la technique OFDM

- Attribution dynamique de spectre : L'utilisateur décide des sous-bandes qui doivent être occupées pour chaque impulsion sortante.
- Une architecture numérique simple : la technologie moderne permet une implémentation à faible coût.
- La largeur de bande est déterminée seulement par la fréquence d'échantillonnage (DAC/ADC).

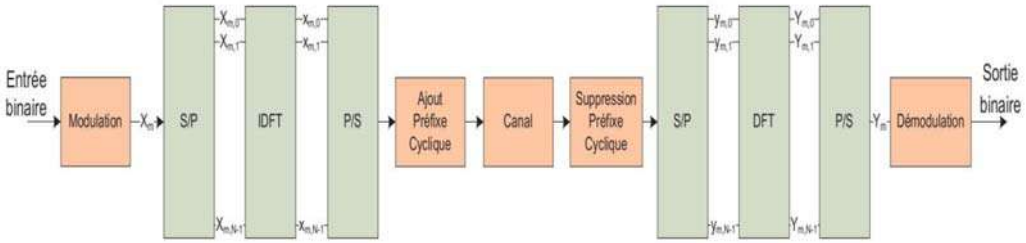


Figure II.5: *Schéma d'un système OFDM*

II.3.1.1. Principe de la modulation OFDM:

La modulation multi6porteuse OFDM consiste à répartir les symboles sur un grand nombre de porteuses à bas débit. A l'opposé des systèmes conventionnels qui transmettent les symboles en série, chaque symbole occupe toute la bande passante disponible. Alors on reparti de manière aléatoire des symboles de durée Tu (temps symbole utile) sur des différentes porteuses (ou sous-porteuses) modulées en QPSK ou QAM (selon le compromis robustesse/ débit).Dans le système OFDM le canal est divisé en cellule suivant les axes de temps et de fréquence. Le canal est désormais constitué de suite de segments de fréquence et de suite de segments temporels.

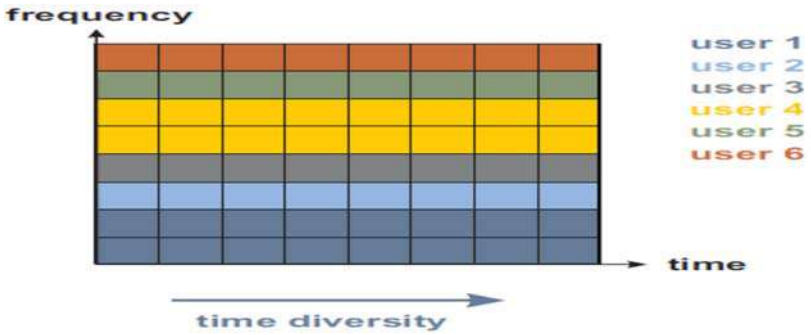


Figure II.6: *Principe de l'OFDMA*

Un symbole OFDM comprend alors l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant t.

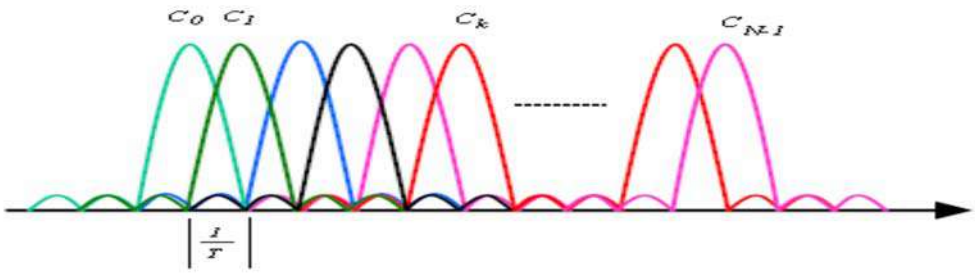


Figure II.7 : *Spectre du signal OFDM avec N porteuse*

Dans le principe de l'OFDMA, au niveau de l'émetteur le spectre est divisé en plusieurs nombres de sous-porteuses orthogonales [18].

Dans la norme LTE l'espacement entre ces sous-porteuses est 15KHz avec 66.67 µs de durée pour un symbole OFDMA. Les symboles qui ont un flux assez élevé passent via un modulateur. Par contre les symboles BPSK, QPSK, 16-QAM et 64-QAM sont modulés directement aux sous-porteuses qui seront convertis en sous-porteuses parallèle par le bloc « série - parallèle ».

A l'étage du bloc IFFT les symboles sont convertis en domaine temporel ainsi on obtient des symboles OFDMA.

Un intervalle de Garde (IG) est utilisé entre les symboles OFDMA. Il sert à annuler l'interférence inter-symbole(ISI) au récepteur.

Pour absorber l'interférence entre les symboles, la technique utilisée consiste à insérer l'Intervalle de Garde (IG) ou « Cyclic Prefix (CP) »sur chaque paquet transmis dans le canal. Il s'agit uniquement de copier la fin de chaque paquet que l'on rajoute au début de celui-ci.

Ainsi lorsque le retard maximal du canal est inférieur à la longueur de l'intervalle de garde, tout se passe bien c'est à dire que toutes les interférences seront absorbées. Par contre lorsque le retard maximal du canal est supérieur à la longueur de l'intervalle de garde, les interférences ne seront pas toutes absorbées et l'estimation risque d'être médiocre.

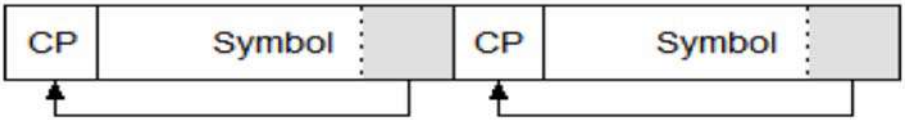


Figure II.8 : *Cyclic Préfix (l'intervalle de garde)*

Deux types d'intervalles de garde existent pour ce système :

- L'intervalle de garde normal ou (Normal-CP) dont la durée TCP_{norm} correspond à 5,2 µs pour le premier symbole et 4,7 µs pour les autres.
- l'intervalle de garde étendu (ou Extended-CP) dont la durée TCP_{ext} correspond à 16,7 µs .L'intervalle de garde normal est utilisé pour les hautes fréquences dans le milieu urbain et l'intervalle de garde étendu pour les basses fréquences en milieu rurale.

Au récepteur, le CP est enlevé, les sous-porteuses sont converties en série par le bloc «parallèle-série» et à l'étage FFT les symboles OFDMA sont convertir en Domaine fréquentiel suive par démodulation [18] comme le montre la figure ci dessous.

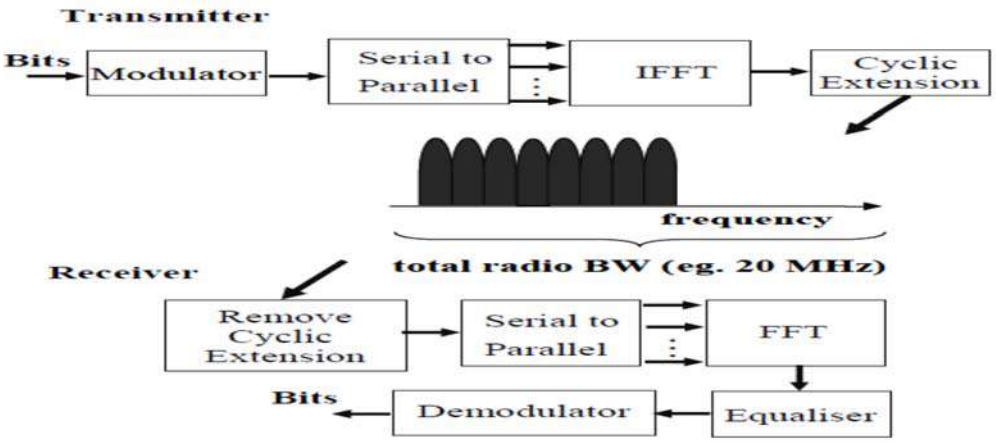


Figure II.9 : *Emetteur et récepteur OFDMA*

II.3.2. Single Carrier FDE : SC-FDMA

Dans les études d'optimisation de la transmission Uplink de la norme LTE, plusieurs techniques de multiplexage ont été étudiées par exemple TDMA, CDMA, OFDMA, SC-FDMA etc...[23] Si l'OFDMA a été choisi pour son caractère optimal en transmission Downlink, en revanche ses propriétés sont moins favorables pour les transmissions Uplink. Ainsi l'utilisation de l'OFDMA en Uplink pourrait entrainer des mauvaises couvertures. La technique de transmission Uplink pour les structures FDD (Fréquence Division Duplex) et TDD (time Division Duplex) est basée sur le multiplexage SC-FDM (Single Carrier – Frequency Multiplexing) avec un cyclic préfix. Le principe est le même que celui de l'OFDM et partage quelques-uns de ses avantages. Les signaux SC-FDMA ont les meilleures propriétés du point de vue énergétique, comparé aux signaux OFDMA. C'est la raison principale du choix du SC-FDMA pour les transmissions Uplink avec le Long Term Evolution.

Les caractéristiques PARP sont très importantes pour les économies d'énergie (faible consommation de puissance) des amplificateurs dans les UE. En plus du fait de la similarité du traitement des signaux SC-FDMA avec ceux de l'OFDMA les paramètres Downlink et Uplink peuvent être facilement synchronisé [24], [25].

II.3.2.1. La Paramétrisation de la SC-FDMA

La structure LTE Uplink étant similaire à la structure downlink et aux applications FDD, La longueur du PRB (Physical Ressource Blocks) et l'espacement des sous-porteuses sont aussi similaires à la transmission downlink. Les structures utilisant les modes FDD et TDD vu précédemment dans la transmission downlink sont encore utilisés en transmission uplink. D'autre part, dans le domaine temporel, comme nous l'avons déjà vu précédemment, une ressource block RB qui n'est rien d'autre qu'un slot, est constituée dans ce cas de 6 ou 7 symboles SC-FDMA selon la configuration de l'intervalle de garde CP « Normal cyclicprefix » ou« Extended cyclicprefix ».

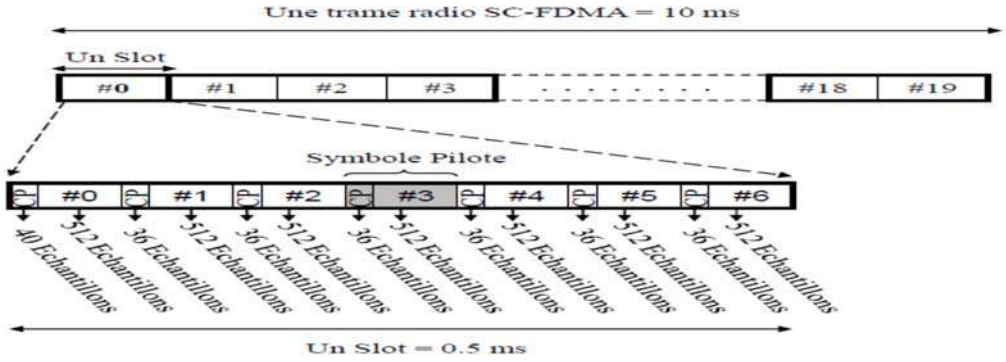


Figure II.10 : *Représentation temporelle du slot d'un système SC-FDMA à 5 Mhz de largeur de bande*

II.3.2.2. Principe de la modulation SC-FDMA :

Modulation SC-FDMA est une technique de transmission mono-porteuse mais très proche de la modulation OFDM. Cette technique consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses, non pas directement les symboles source comme en OFDM, mais leur représentation fréquentielle après les avoir réparties sur la bande du système selon un certain mode que nous présenterons. Elle est constituée de trois parties principales.

On a d'abord un modulateur DFT dont l'entrée $D_Q^k = \{d_q^k\}_{0 \le q \le Q-1}$ constitue le bloc de symboles source de la modulation MAQ de l'utilisateur k prenant ses valeurs dans un alphabet fini.

Ce modulateur transforme le bloc D_k en Q symboles fréquentiels qui viennent ensuite moduler un ensemble de Q sous-porteuses choisies parmi N tel que (N > Q). Cette répartition des symboles fréquentiels a pour objectif l'étalement spectral du signal et le multiplexage fréquentiel des signaux des différents utilisateurs. Nous décrirons plus en détails par la suite les différents modes de multiplexages de ce système. La sortie du multiplexeur est enfin

ramenée dans le domaine temporel par un modulateur IDFT (« Inverse DFT ») pour donner les symboles de sortie$U_Q^k = \{u_q^k\}_{0 \le q \le Q-1}$

On peut remarquer que cette dernière partie de la chaine n'est rien d'autre que le modulateur classique OFDM. Dès lors, on peut considérer le système SC-FDMA comme un système ? OFDM avec un pré-codage DFT et une allocation de ressources particulière.

L'étalement spectral du signal a pour but d'augmenter la largeur de bande du système afin de réaliser un multiplexage en fréquentiel. Si le facteur d'étalement spectral est **L** alors le nombre total de sous-canaux du système serait N = L:Q, Q étant la portion de sous-canaux allouée à chaque utilisateur. Ainsi, le système peut supporter au maximum L signaux (ou L utilisateurs) orthogonaux chacun occupant Q sous porteuses distinctes.

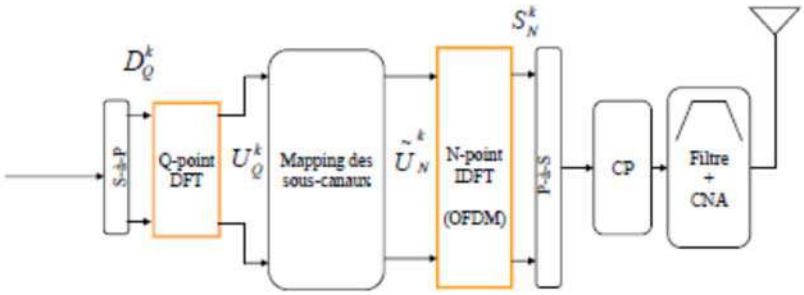
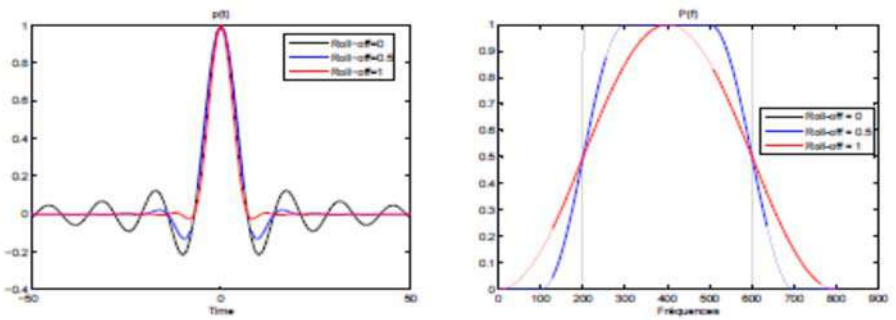


Figure II.11 : *Emetteur SC-FDMA*

Les deux autres parties de la chaine de transmissions sont toutes aussi importantes. Il s'agit d'une part de l'insertion de l'intervalle de garde (CP). Elle consiste à insérer à l'entête de chaque bloc à émettre, la copie de la fin du bloc. Le but est d'abord de réduire l'interférence entre les blocs émis introduite par les multi-trajets du canal, mais également de rendre circulaire la convolution du canal afin d'utiliser des techniques d'égalisation fréquentielle simples à mettre en œuvre.



(a) Temps (b) Fréquence

Figure II.12 : *Filtre de mise en forme en Cosinus surélevé*

De plus, pour prévenir l'interférence entre symboles introduit par le canal, on prend le soin d'appliquer des filtres linéaires de mise en forme particulier afin de réduire l'énergie du signal en dehors de la bande passante autorisée.

II.3.2.3. Principe de la démodulation SC-FDMA :

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

$$y^k(t) = \sum_{n \in \Omega_Q^k} u_n^k \int_{T_s} [\, h_n^k(t-\tau) p(\tau - nT_s) e^{2j\pi f n \tau}] d\tau$$

Où $h_n^k(t)$ représente la fonction de transfert du canal de l'utilisateur k autour de la porteuse f_n à l'instant t. Le principe de la démodulation du système SC-FDMA consiste à démoduler le signal sur chacune des sous-porteuse f_n du système. En effet, le signal reçu y^k (t) est d'abord ramené en bande de base, avant d'être échantillonné pour le traitement numérique du signal. Après suppression de l'intervalle de garde, un démodulateur DFT permet d'obtenir les symboles modulant chaque porteuse f_n. Un égaliseur est ensuite mis en œuvre, comme dans la technique SC/FDE, dans le but de supprimer la contribution du canal sur chaque sous-porteuse du signal, et de récupérer ainsi les symboles fréquentiels .Un démodulateur IDFT permet ensuite de récupérer les symboles sources du système.

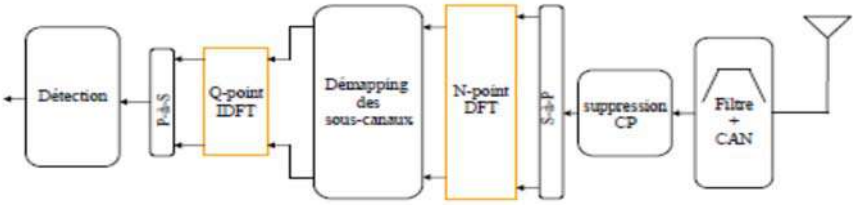


Figure II.13 : *Récepteur SC-FDMA*

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles ,réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis quel a SC-FDMA est une technique mono-porteuse [7].

II.3.3. Etude Comparative de l'OFDMA et de la SC-FDMA

Comme on le sait l'OFDMA est une technique d'accès multiple basée sur la technique OFDM, et adoptée dans la norme 3GPP LTE pour les communications dans le sens descendant. Comme nous avons pu le constater précédemment, le système SC-FDMA a des ressemblances à bien des égards avec le système OFDMA. Sur la Figure ci-dessous, on peut observer que le SC-FDMA n'est rien d'autre que de l'OFDMA avec un pré-codage DFT suivi d'un multiplexage particulier dans le domaine fréquentiel [5].

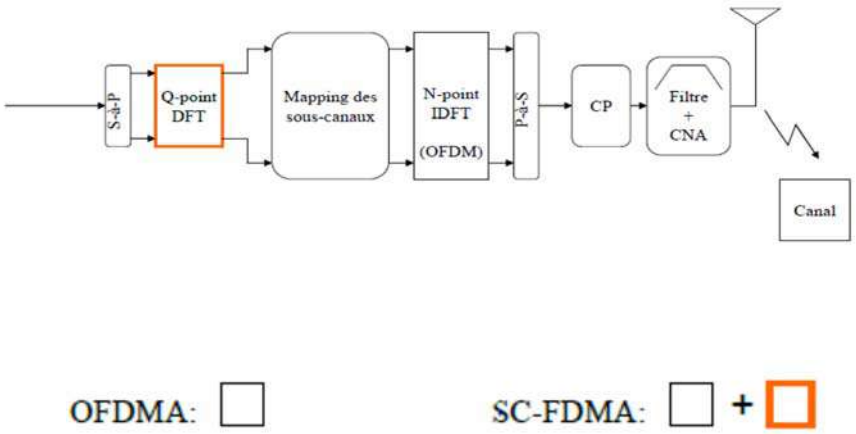


Figure II.14 : *Similitude entre une chaine OFDMA et SC-FDMA* [5]

Cette figure permet de relever les points communs entre ces deux techniques qui sont les suivants :

- Une transmission des données en blocs
- Un multiplexage des données en fréquentiel au sens où ils sont réparties sur plusieurs sous-porteuses orthogonales
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel
- Un intervalle de garde pour prévenir des interférences entre les blocs

II.4. Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA

Dans la modulation SC-FDMA, le multiplexage des utilisateurs du système est effectué dans le domaine fréquentiel. Pour supporter un grand nombre d'utilisateurs simultanés, le système utilise la technique de l'étalement spectral permettant d'augmenter la ressource spectrale à partager. Ainsi chaque utilisateur se voit allouée une portion de la largeur de bande totale du système, de manière à éviter toute interférence avec un autre

utilisateur. Deux modes d'allocations de ressources existent pour cette modulation : Il s'agit du mode distribué et du mode localisé.

II.4.1. Allocation de ressource en mode distribué :

Dans le mode distribué les Q symboles fréquentiels U = {u k 0,⋯ ,u k Q−1 }, correspondant à la sortie du modulateur DFT de l'émetteur, viennent moduler un multiplex de Q sous-porteuses régulièrement réparties sur toute la largeur de la bande passante du système, **Figure 2.15.**

Les **N*Q** sous-porteuses non modulées sont affectées à des signaux nuls. La modulation SCFDMA qui utilise ce mode d'allocation est appelée I-FDMA ou (« Interleaved-FDMA »). [12][13]

L'I-FDMA comporte plusieurs avantages. Il permet d'une part de garantir l'orthogonalité entre les différents utilisateurs du système, mais possède également une grande diversité fréquentielle du fait de la répartition des porteuses modulées sur toute la bande passante. Cette technique est aussi très intéressante du point de vu implémentation. En effet comme nous allons le voir dans la section 3, ce signal peut être généré dans le domaine temporel sans utilisation des modulateurs DFT et IDFT grâce à une simple compression et répétition du signal source à transmettre avec un déphasage propre à chaque utilisateur. Par contre le système I-FDMA est très sensible aux offsets de fréquence qui sont souvent introduit par une mauvaise synchronisation ou une forte mobilité causant ainsi une perte de l'orthogonalité entre les utilisateurs.

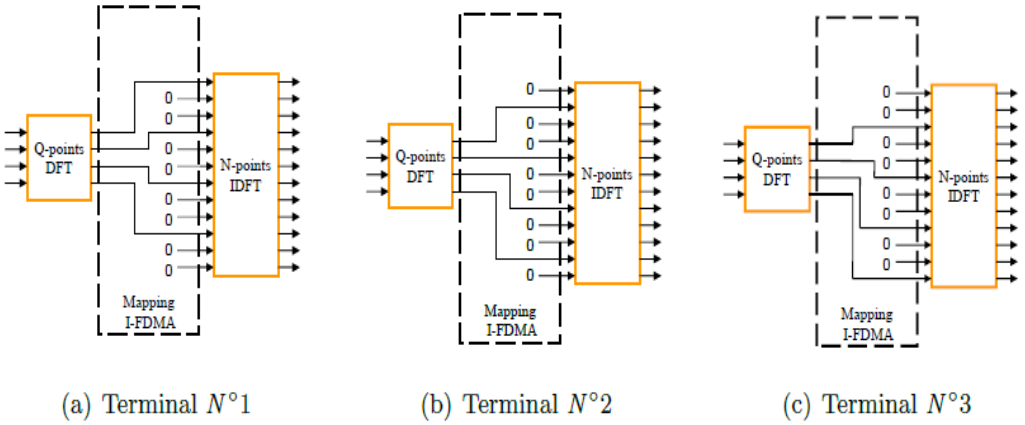


Figure II.15 : *Mapping I-FDMA*

II.4.2. Allocation de ressource en mode localisé

L'autre mode d'allocation de ressources utilisé dans la modulation SC-FDMA est beaucoup plus robuste et a été adopté pour la voix montante de la norme LTE. Il s'agit du mode localisé qui donne son nom au système L-FDMA ou («Localized FDMA»)

Cette fois-ci les Q symboles fréquentiels correspondant àla sortie du modulateur DFT, viennent moduler un multiplexe de Q sous-porteuses contigües; les N − Q autres sous-porteuses non modulées étant affectées à des signaux nuls, **Figure. 2.16.** Les sous porteuses n'étant plus réparties sur toute la bande du système, on perd en diversité fréquentielle. Par contre le système est plus robuste à l'offset de fréquence en garantissant dans ce cas l'orthogonalité des signaux des différents utilisateurs.

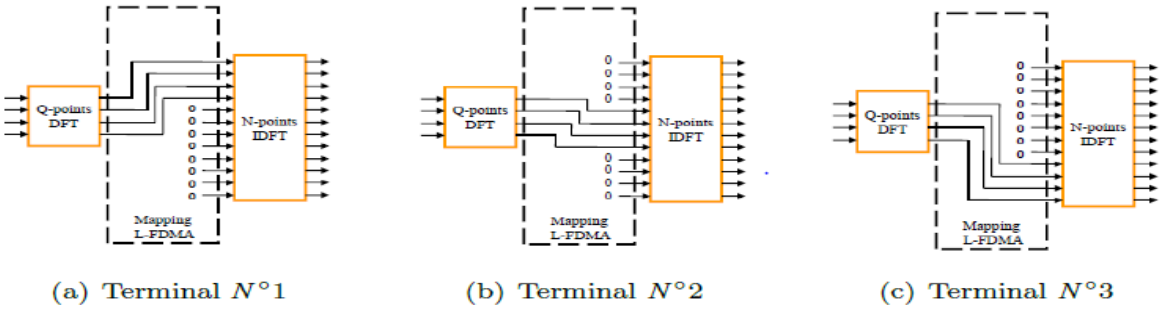


Figure II.16 : Mapping L-FDMA

Pour l'une ou l'autre des deux techniques d'allocation, le choix du multiplex de fréquences allouées à chaque utilisateur peut se faire de deux manières : Soit de façon statique c'est à dire sur toute la durée de la communication, soit par un algorithme d'ordonnancement de canaux CDS ou « Channel Dependent Scheduling »). [14] [15]

Qui octroie à chaque utilisateur, le multiplex de sous-porteuses en fonction de la qualité de son canal de transmission. Un utilisateur peut donc se voir octroyer différents multiplex de sous-porteuses durant la même communication ou même être supprimé du système lorsque son canal de transmission est très médiocre. De plus, le CDS permet d'accroître considérablement les diversités multiutilisateurs ainsi que le débit total du système dans le cas du mapping L-FDMA comparé à celui de l'I-FDMA [14].

Cela se justifie par le fait que le mapping I-FDMA, pour laquelle les sous-porteuses sont réparties sur toute la totalité de la bande disponible, aura un débit meilleur que dans la sous-bande déterminée par le CDS.

Au niveau récepteur, lorsque le système fonctionne dans sa capacité maximale en terme de nombre d'utilisateurs. On peut constater l'orthogonalité entre les différentes sous-porteuses allouées à chaque utilisateur, et également l'orthogonalité entre les utilisateurs dans le domaine fréquentiel.

En présence d'offset de fréquences, il est clair que le mode localisé est plus robuste que le mode distribué.

II.5. Canal de transmission :

Le canal de transmission est un support physique de l'information, qui peut être filaire(câble coaxial, fibre optique …) ou un espace libre utilisant la propagation d'une onde électromagnétique dans l'atmosphère. Les canaux les plus utilisés pour le milieu de propagation, sont le canal AWGN(Additif White Gaussien Noise) et le canal à évanouissement. Ces deux canaux seront modélisés pour évaluer les performances du système communicant. En présence de bruit pour le premier canal, et en présence de multi-trajets et effet doppler pour le deuxième canal.

II.5.1. Canal à bruit blanc additif gaussien (AWGN)

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmissions numériques, qui est aussi un des plus faciles à générer et à analyser, est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG, AWGN en anglais ' Additive White Gaussien Noise). Ce bruit modélise à la fois les bruits d'origine interne (bruit thermique dû aux imperfections des équipements...) et le bruit d'origine externe (bruit d'antenne...). Ce modèle est toutefois plutôt associé à une transmission filaire, puisqu'il représente une transmission quasi-parfaite de l'émetteur au récepteur.[27]

Le signal reçu s'écrit alors sous la forme :

y(t) = x(t) + b(t)

Où b représente le BBAG, caractérisé par un processus aléatoire gaussien de moyenne nulle, de variance :

σb 2 = N0/2,

Et de densité spectrale de puissance de bruit N0. La densité de probabilité :

$$P\,y/x\left(\frac{y}{x}\right) = \sqrt{\frac{1}{2\pi\sigma_b^2}}\,e^{\frac{(y-x)^2}{2\pi\sigma_b^2}}$$

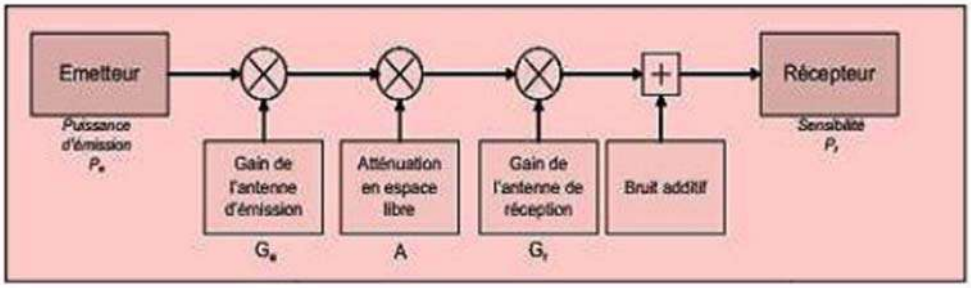


Figure II.17 : *Système de communication avec un canal à bruit additif*

II.5.2. Distribution de Rayleigh :

La distribution de Rayleigh correspond à un cas idéal. Dans ce cas, le signal complexe reçu est constitué d'un grand nombre de trajets indirects (NLOS) ayant des amplitudes et phases aléatoires, indépendants et uniformément distribués. L'enveloppe de ce signal suit une loi de Rayleigh définie par l'équation suivante :

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2}\exp\left(-\frac{r}{2\sigma^2}\right), r \geq 0.$$

- r est l'enveloppe du signal complexe reçu, r = x+iy
- σ est l'écart type de la partie réelle (x) ou la partie imaginaire (iy).

D'autres propriétés utiles de cette distribution sont données par :

La valeur moyenne :

$$E(r) = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

La valeur quadratique moyenne :

$$E(r^2) = 2\sigma^2$$

La variance :

$$E(r^2) - E(r^2) = \sigma^2\left(\frac{4-\pi}{2}\right)$$

II.5.3. Distribution de Rice :

Dans d'autres situations, un canal de propagation est caractérisé par plusieurs trajets indirects et un trajet direct (LOS). De ce fait, la densité de probabilité de l'enveloppe du signal complexe reçu obéit à la distribution de Rice définie telle que:

$$P(r) = \frac{r}{\sigma^2}\exp\left(-\frac{r^2 + r_d^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rrd}{\sigma^2}\right), r\ etr_d^2 \geq 0$$

Où rd est l'amplitude du trajet direct et I0 représente la fonction de Bessel modifié de première espèce et d'ordre zéro.

Cette loi possède les caractéristiques suivantes :

Valeur moyenne :

$$\boldsymbol{E\{r\} = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}}\, exp\left(-\frac{r^2}{4\sigma^2}\right)\left[\left(1 + \frac{r^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) + \frac{r^2}{4\sigma^2} I_1\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right)\right]}$$

Valeur quadratique moyenne :

$$\boldsymbol{E\{r^2\} = 2\sigma^2 + r^2}$$

Variance :

$$\boldsymbol{E\{x^2\} - E\{x\}^2}$$

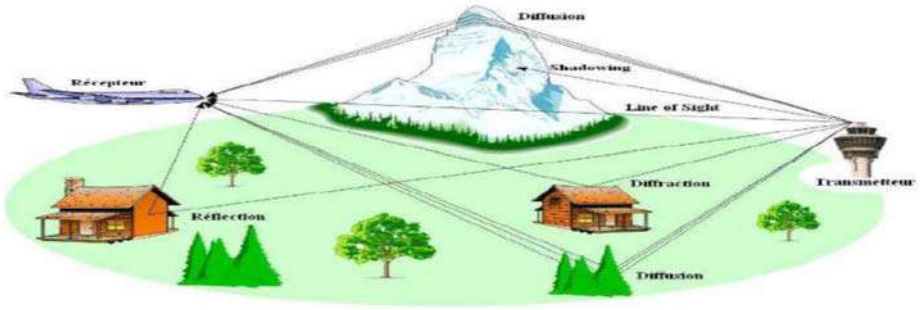


Figure II.18 : *Propagation multi-trajet dans l'espace*

II.6. Codage de canal:

La probabilité d'erreur d'une transmission numérique est fonction du rapport signal à bruit Eb/N0. Pour améliorer la qualité de transmission, il est donc possible d'améliorer ce rapport en augmentant la puissance d'émission ou diminuant le bruit du récepteur. Cependant, cela n'est pas toujours une solution convenable puisque la puissance émise est généralement limitée par l'équipement, par les standards, ou simplement par le prix matériel des composants. Une autre solution pour lutter contre les erreurs de transmission consiste à répéter la transmission, dite transmission redondante, pour obtenir une meilleure qualité. Bien que cette solution conduise à un accroissement de la complexité des équipements de transmission, elle constitue une approche possible. Dans la chaîne de communication, le codeur de canal est situé avant le modulateur et le décodeur de canal est situé après le démodulateur. Le codeur de canal procède comme suit: il met en correspondance un vecteur de n bits _a un vecteur de k bits a son entrée, où k < n. Alors, le vecteur en sortie du codeur (appelée le mot de code) contient une certaine redondance par rapport au vecteur _a l'entrée (appelée le mot d'information).

Définition Le rendement de code R est le rapport :

$$R=\frac{k}{n}$$

L'objectif du codage de canal est de fiabiliser la transmission, c'est-a-dire minimiser la probabilité d'erreur. Le rendement maximal qu'on peut avoir est donné par le résultat suivant:

Pour un canal discret sans mémoire de capacité C et pour € > 0 (petit), il existe un code de longueur N (N grand) de rendement R < C et un algorithme de décodage tel que la probabilité d'erreur après le décodage est€. Si R > C, la transmission fiable n'est pas possible. Le gain de codage pour une probabilité d'erreur Pb fixe est la différence des SNR de la transmission non-codée et de la transmission codée utilisant le code sous considération,

G5 (dB)(Pe) = SNR sans codage ;dB(Pb) - SNR codé ;dB(Pb)

Notons que le SNR pour la transmission codée est calculée en prenant en compte la transmission des bits redondants, c'est-a-dire la puissance utilisée pour transmettre 1 bit d'information utile est égale _ 1=k-^{éme} de la puissance totale de transmission du mot de code. Donc, si le gain de codage, calculé de cette manière, est positif, alors le schéma codé rapporte

un gain par rapport au schéma sans codage. Le gain de codage peut être négatif si ceci n'est pas le cas.

Un exemple d'un gain de codage trouvé pour Pb = Pe = 10 :

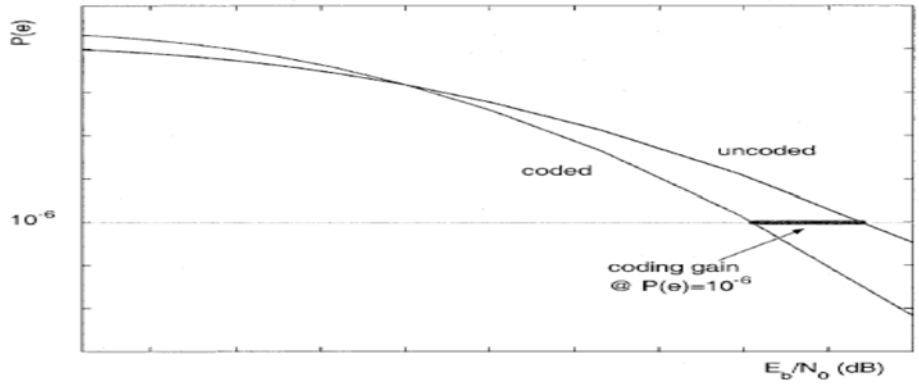


Figure II.19 : *Gain de codage: exemple]*

II.6.1. Théorie de codage classique :

Dans la théorie de codage classique, ou algébrique, on étudie quelles constructions algébriques des codes ont les meilleures capabilité de correction. Ensuite, on cherche des algorithmes de décodage efficaces pour les codes proposés.

Dans la très grande plupart des cas, nous demandons au code d'être linéaire, c'est-a-dire représenter une transformation linéaire des mots d'information vers les mots de code. Ceci nous donne une description compacte du code, ainsi que un algorithme de décodage de moindre complexité.

En utilisant les codes convolutifs, il est devenu possible d'avoir 6 dB du gain de codage (et donc se retrouver de 6 dB de la limite théorique). Avec le but d'améliorer ce résultat, des longues codes convolutifs avec des structures compliqués ont été proposées. ceci a permis d'obtenir jusqu'a 7 dB du gain de codage...mais pas plus.

II.6.1.1. Codes convolutifs :

Les codes convolutifs, introduits en 1955 par Elias [Elias 55], forment une classe efficace de codes correcteurs d'erreurs. Ce sont les codes les plus utilisés dans le système de télécommunications fixes et mobiles. Théoriquement, ils ont les mêmes caractéristiques que les codes en blocs sauf pour la valeur de leur dimension et leur longueur. Les codes convolutifs s'appliquent sur une séquence infinie de symboles d'information et génèrent une séquence infinie de symboles codés.

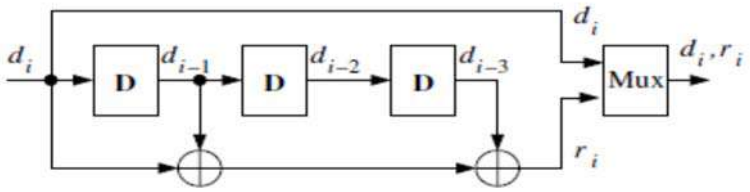


Figure II.20 : *Exemple de codeur convolutif.*

Le codeur présenté en figure est conçu autour d'un registre à décalage de trois éléments mémoire.

Le bit de redondance à l'instant *i*, noté *ri* est construit à l'aide d'une somme modulo 2 de la donnée à l'instant *i*, *di* et des données présentes aux instants : *i*−1 et *i*−3 (*di*−1 et *di*−3). Un multiplexeur joue le rôle d'un convertisseur parallèle-série et fournit le résultat du codage à un débit double de celui de l'entrée. Le rendement de ce codeur est de : 1/2 car, à chaque instant :*i*, il reçoit une donnée *di* et délivre deux éléments en sortie : di (partie systématique) et ri (partie redondante).

II.6.2. Théorie de codage moderne :

Dans la théorie de codage moderne, on fixe d'abord l'algorithme de décodage de complexité fiable, qui s'appele le décodage de propagation des croyances ou décodage itératif, et ensuite on cherche des codes avec la bonne capabilité de correction, qui peuvent être décodés par cet algorithme.

Le décodage itératif a ne très faible complexité de décodage. Il a été inventé par Claude Berrou en 1992 et par Robert Gallagher en 1963. Les codes, qui peuvent être décodés par cet algorithme, comportent des familles qui peuvent atteindre la limite théorique pour les grandes longueurs. Les codes utilisées dans les communications sans fils opèrent a 1 dB au plus de la limite sur le canal gaussien. Les premières familles qui ont été proposées sont les turbo codes et les codes a densité faible (codes LDPC).

II.6.2.1. Turbo code :

Est le nom générique d'un code correcteur imaginé dans les années 1990, qui permet de s'approcher aussi près qu'on le souhaite de la limite de Shannon. Les turbo codes représentent une percée majeure dans le domaine des communications numériques. Ils sont utilisés dans de nombreux standards de téléphonie mobile (UMTS,LTE), de communications par satellites (Inmarsat, DVB-RCS) ou de courants porteurs en ligne.

Le principe du turbo code, comme tout code correcteur d'erreur, est d'introduire une redondance dans le message afin de le rendre moins sensible aux bruits et perturbations subies lors de la transmission. Le codage consiste à utiliser deux codeurs simples, dont les entrées ont été entrelacées; ainsi, chaque codeur voit une série d'informations différentes à son entrée. Le codage de canal pour PDSCH adopte Turbo codage, qui est une sorte de codage de canal robuste. Lors de l'utilisation d'un canal AWGN, la performance de Turbo code peut être proche des limites théoriques de la capacité de Shannon. Le schéma du turbo codeur utilisé est un code convolutionel parallèle concaténé avec deux codeurs convolutionel récursif et un entrelaceur QPP (quadratique permutation polynomial).

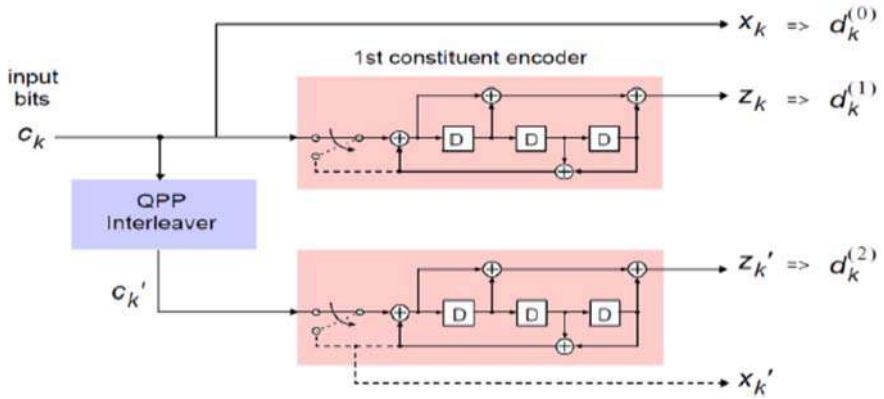


Figure II.21 : *Structure du turbo codeur*

La sortie du Turbo codeur se compose de trois flux de bits d'information avec la même longueur :

$X_k = d_k^{(0)}$. $Z_k = d_k^{(1)}$ et $Z_k' = d_k^{(2)}$

L'entrée du premier codeur est l'injection du flux de bits au bloc de turbo codage. L'entrée du deuxième codeur est la sortie de l'entrelaceur QPP (Quadratique Permutation Polynomial), une version permutée de la séquence d'entrée. [28]

La fonction de transfère pour chaque codeur est donnée par :

$$G(D) = \left[1 . \frac{g1(D)}{g0(D)}\right]$$

Le chiffre 1 représente la fonction de transfert de la sortie systématique et $\frac{g1(D)}{g0(D)}$ est la fonction de transfert dela sortie convolution récursive. [28]

$(g_0(D) = 1 + D^2 + D^3)(g_1(D) = 1 + D^2 + D^3)$.

Le rôle de l'entrelaceur est de séparer les bits d'information .la sortie de l'entrelaceur est une version permuté des donnes d'entrées. [23]

II.7. Modulation d'amplitude sur deux porteuses en quadrature :

Pour cette modulation appelée aussi Quadrature Amplitude Modulation M-QAM en anglais, ce sont deux porteuses en quadrature

$\cos(2\pi f_0 t + \phi 0)$ et $-\sin(2\pi f_0 t + \phi 0)$

qui sont modulées en amplitude. Le modulateur délivre des signaux de la forme :

$S(t) = A(t)\cos(2\pi f_0 t + \phi_0) - A(t)\sin(2\pi f_0 t + \phi_0)$

Où f_0 est la fréquence de la porteuse, ϕ 0 sa phase et h(t) une porte d'amplitude unité et de durée T.

Deux situations peuvent se présenter selon que la longueur m des groupes de données à l'entrée du modulateur est paire ou non. Si m est pair, alors $M = 2^m$ est un carré parfait (4, 16, 64, 256, ...); dans le cas contraire, M est simplement une puissance de deux (8, 32, 128, ...).

Lorsque m est pair, le groupe de données peut être séparé en deux sous-groupes de longueur m/2, chacun étant associé respectivement aux amplitudes qui prennent leurs valeurs dans l'ensemble $(2j-1-\sqrt{M})A$

j =1, 2, $\cdots \sqrt{M}$. Sur la figure sont représentées les constellations des modulations MAQ-16 et MAQ-64.Ces constellations sont dites carrées.

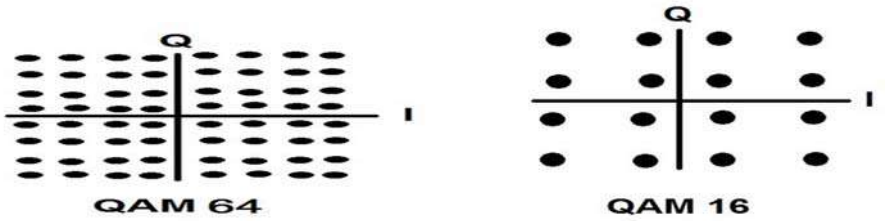


Figure II.22 : 8*Constellations de deux modulations de type MAQ*

Lorsque m est impair, le signal modulé MAQ-M ne peut plus être obtenu comme une combinaison de deux porteuses en quadrature modulées en amplitude. Toutefois, on peut construire le signal MAQ-M à partir d'un signal MAQ-N modulé classiquement sur deux

porteuses en quadrature, où N est un carré immédiatement supérieur à M en interdisant(N−M) états. Par exemple, la modulation MAQ-32 peut être obtenue à partir d'une modulation MAQ-36où A prennent les valeurs (±A, ±3A, ±5A) en interdisant les quatre états d'amplitude (±5A, ±5A) pour les couples (Ac et As).

La constellation de la modulation MAQ-32 est représentée dans la figure.

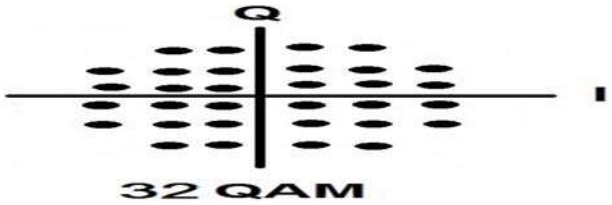


Figure II.23 : *Constellation de la modulation MAQ-32.*

Le signal MAQ-M peut encore s'écrire sous la forme :

$s_j(t) = V_j h(t)\cos(2\pi f_0 t + \phi_0 + \varphi_j)$

Sous cette forme, la modulation MAQ-M peut être considérée comme une modulation combinée de phase et d'amplitude. En supposant que la phase prenne $M_1 = 2^{m_1}$ états et l'amplitude $M_2 = 2^{m_2}$ états, le signal modulé transmet $\log_2(M_1 M_2) = m_1 + m_2$ données toutes les T secondes La figure représente la constellation d'une modulation combinée de phase et d'amplitude pour M = 16 ($M_1 = 4$, $M_2 = 4$).

II.8. Principe de la technologie MIMO

La diversité est utilisée dans les systèmes de communication sans fil avec l'objectif de combattre l'évanouissement causé par les multi trajet .le concept de base de la diversité repose sur la disponibilité au récepteur de plusieurs copies du même signal étant affectées par des canaux différents. En utilisant plusieurs antennes à l'émission et à la réception on obtient une diversité spaciale.ces antennes doivent être espacées assez pour que l'évanouissement sur chaque antenne soit indépendant.

Les systèmes MIMO représente une partie essentielle de la technologie LTE/LTE Advanced afin d'assurer les conditions ambitieuse du spectre de fréquence utilisé.

Pour le LTE/LTE Advanced la transmission avec MIMO support une configuration jusqu'à huit antennes d'émissions et huit antennes de réceptions dans le but d'augmenter le

débit et la portée de réseaux, Lorsqu'un tel système comprend, seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé **SIMO** même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, nommé **MISO**. Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit **SISO**.

La mise en place d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des débits importants. De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité et a pour conséquence l'amélioration du rapport signal à bruit (SNR) et donc du taux d'erreurs binaires.

Le MIMO améliore aussi la robustesse de la transmission et les débits, notamment grâce à la transmission de plusieurs flux indépendants d'information sur les mêmes ressources temps-fréquence. Cette intégration originelle couplée à l'absence d'interférence intracellulaire dans les systèmes OFDM conduit à une grande efficacité du MIMO dans le système LTE.[45]

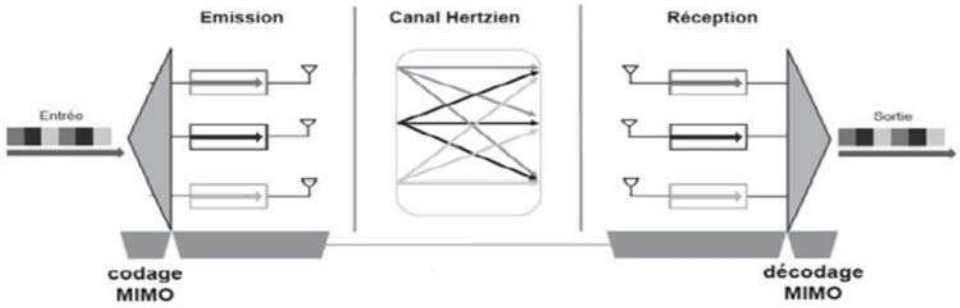


Figure II.24 : *Un exemple d'un système MIMO*

II.8.1. Canal de propagation MIMO :

La figure montre un système MIMO avec T antennes d'émission et R antennes de réception. L'expression générale peut être exprimée comme suit :

$y(t) = H(t) * s(t) + b(t)$

Où :

y(t) : représente le signal reçu. * :l'opération de convolution

s(t) :le signal émis . b(t) : le bruit

H(t) : représente la matrice du canal de taille TxR.

Définissons dans un premier temps un système MIMO constitué de N_T antennes à l'émission et de N_R antennes en réception. L'émetteur transmet simultanément le multiplex de signaux $\{s_i\}$ (i=1…N_T), où la composante alimente l'antenne i. L'ensemble des antennes de réception récolte les signaux $\{y_j\}$ (j=1…N_R) résultant de la superposition des signaux transmis filtrés par le canal. Le signal reçu sur l'antenne j s'écrit :

$$y_j=\sum_{i=1}^{NT} h_{ji}s_i+b_j \quad (1)$$

Où: b_j le bruit additif gaussien associé à l'antenne de réception j

L'équation (1) peut être formulée sous forme matricielle :

Y=HS + B

Avec :

$$H=\begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1NT} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{NR1} & \cdots & h_{NRNT} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Et :

$$S= [s_1,\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..,s_{NT}] \quad (4)$$

$$Y= [y_{1,}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..,y_{NT}] \quad (5)$$

$$B= [b_{1,}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..,b_{NT}] \quad (6)$$

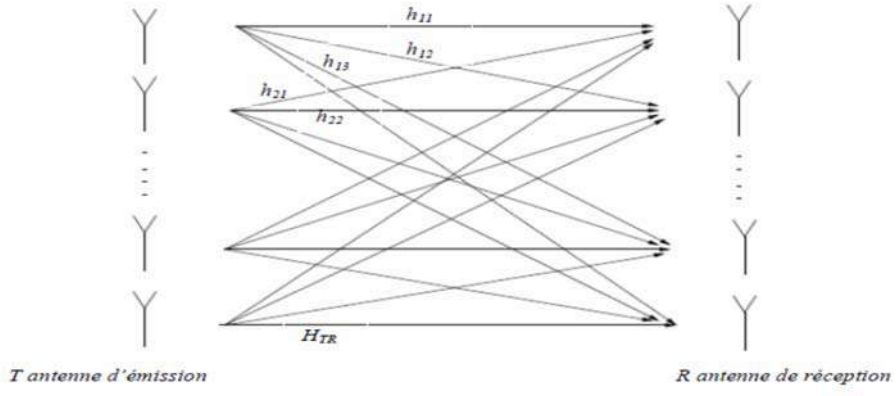


Figure II.25 : *Modèle Système MIMO*

Dans plusieurs cas, les éléments de la matrice du canal MIMO sont supposés indépendants lorsqu'on veut étudier la capacité de canal MIMO. Autrement dit les signaux reçus sont décorrélés. Sous cette hypothèse, la capacité s'augmente linéairement en fonction

du nombre minimum d'antennes d'émission et de réception pour un grand nombre d'antennes.

Cette hypothèse n'est pas valable en pratique lorsque l'espacement entre les antennes est insuffisant ce qui diminue la capacité en comparant à la capacité idéale [20]

II.8.2. Multiplexage spatial :

Le multiplexage spatial (MS) est l'une des premiers techniques MIMO mise en œuvre qui a fait découvrir les systèmes MIMO avec les publication des Bell Labs [21][25]

Le principe d'un système à multiplexage spatial est de fournir un vecteur de symboles différents sur les antennes d'émission. L'objectif du multiplexage spatial est de transmettre **un symbole** par antenne dans un intervalle de temps, ce qu'est équivalent d'une transmission de **T symbole** dans un intervalle de temps pour un système de T antennes émettrices [29].

Le multiplexage spatial consiste à séparer le flux de données en autant de sous flux qu'il y a d'antennes d'émission. Le flux de données en entrée du multiplexeur est traité selon la figure ci-dessous dans le cas de deux antennes d'émission. Le premier bit est transmis sur la première antenne, le deuxième sur la seconde et ainsi de suite, mais en utilisant la même modulation et la même fréquence porteuse. La bande passante utilisée reste identique à celle d'un système classique, mais comme plusieurs symboles sont émis, l'efficacité spectrale augmente.

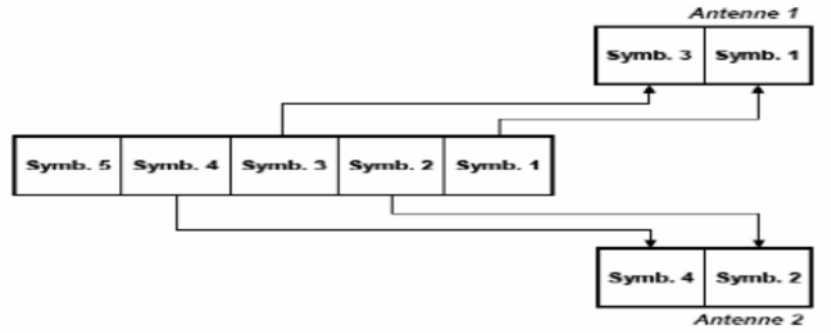


Figure II.26 : *Multiplexage spatial sur deux antennes*

L'avenir des communications numériques réside sans doute dans la capacité à envoyer simultanément des informations spécifiques pour différents types d'applications. Les chaînes de symboles envoyées à différents sous-canaux dédiés avec un codage approprié, imposent aux systèmes de transmission une certaine souplesse [19].

L'inconvénient de multiplexage spatial est que la plupart des algorithmes de décodage ne fonctionnent que lorsque le nombre d'antennes de réception égale au celui d'antenne d'émission [26].

II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (quatrième génération) afin de présenter par la suite la terminologie des termes utilisés dans cette technologie. Dans le chapitre suivant, nous décrivons les performances de la qualité de service de la technologie LTE. Ainsi, nous présenterons les différentes interactions entre elles.

III. ChapitreIII

Introduction

Au cours de ce chapitre, nous allons faire la simulation d'un chaine de transmission 4GLTE, et cela en utilisant un simulateur pour faciliter la détections d'erreurs.

Nous avons choisi de réaliser cette chaine grâce au simulateur du logiciel MATLAB «SIMULINK» ,un outil simple et pratique qui nous offre une très grand possibilité de simulation.

Grace a ce simulateur nous allons réaliser notre chaine en suivant la norme et notre partie théorique ,ce qui nous permettra d'étudier les performances de notre système en relevant les taux d'erreurs binaires (TEB ou BER) et cela pour déférents cas de simulation.

III.1. Taux d'erreur binaire (BER) :

Le taux d'erreur binaire constitue le paramètre primaire décrivant la qualité de la transmission numérique. II se définit comme le rapport entre les bits erronés et le nombre total de bits reçus.

Ce taux détermine le nombre d'erreurs apparues avant la modulation et juste après la démodulation, il augmente a cause des perturbations : équipement ou réseau défectueux, pointage incorrect d'une antenne, longueur de canal, etc.

III.2. Rapport signal sur bruit (SNR)

Ce terme fait référence au signal démodulé perçu après le processus de démodulation.

Le bruit total est celui extrait du réseau de transmission plus le bruit intégré au signal de modulation sous la forme de bruit d'amplitude, de bruit phase et d'interférence inter symboles ainsi que d'autres dégradations de la modulation.

On le calcule à l'aide de l'une ou l'autre des formules représentées ci-dessous :

$(SN)\ (db) = 10 \log \frac{\mathrm{Ps}}{\mathrm{PN}}$

$$\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{N}} = \frac{\mathrm{Ps}}{\mathrm{PN}}$$

PS : Puissance du signal en W.

PN : Puissance de bruit en W.

III.3. La chaine de transmission

L'implémentation de simulateur de notre chaine de transmission LTE sur simulink de MATLAB est montrée par **la figure III.1**

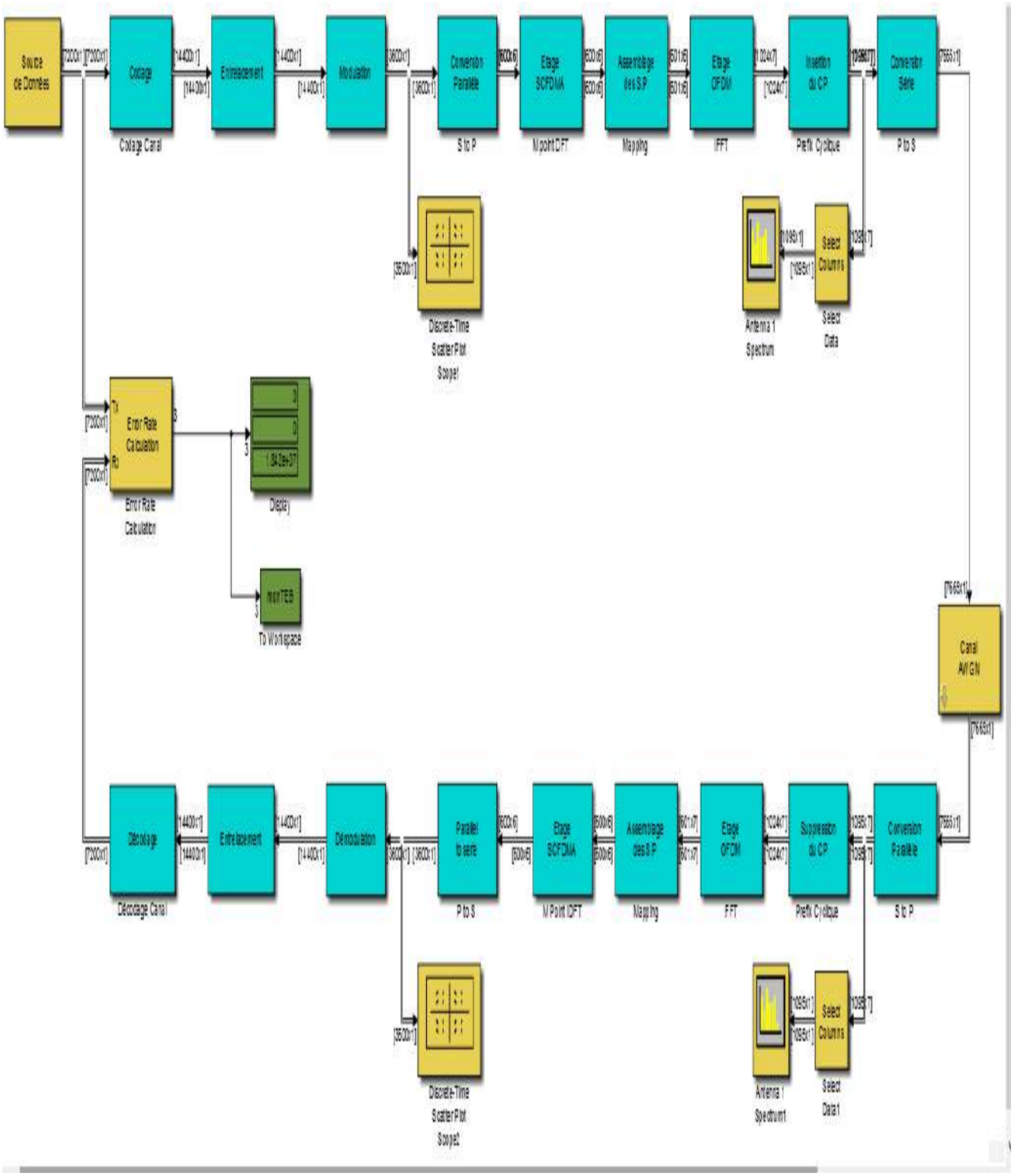


Figure III.1 : *chaine de transmission 4G LTE*

Paramètres	valeur
Bande de fréquence	10 Mhz
Sous porteuse OFDM	1024
Sous porteuse occupées	600
Modulation numérique	4, 16, 64, 256 QAM
Codage canal	Convolutif : 1/2, 2/3 ,5/6 Turbo : 1/3
CP	4.61 us
Canal de propagation	AWGN/Rice
Configuration d'antenne	SISO 1*1 MIMO 2*2
Estimation de canal	ZF

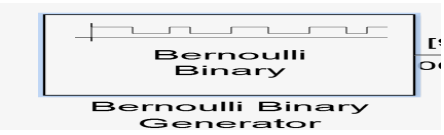
Tableau III.1 : *Paramètres de la chaine de transmission*

III.3.1. Conception de la chaine :

III.3.1.1. Partie émetteur :

III.3.1.1.1. Bernouilli Binary Generator :

Le bloc "Bernouilli Binary Generator " : génère des 0 et des 1, d'une façon aléatoire. On peut régler la probabilité d'apparition des 0 et des 1 : elle est réglée à 0.5, comme en sortie d'un codage source et le débit binaire est fixé à 1s.



III.3.1.1.2. Codage convolutif: insérer de la redondance Le rôle du code convolutif est de lier les bits entre eux pour retrouver la valeur de chacun cas de transmission erronée.

III.3.1.1.3. Turbo code : Coder des données binaires en utilisant un schéma de codage concaténé parallèle qui utilise le codeur convolutif comme codeur constitutif. Les deux codeurs constitutifs utilisent la même structure de treillis.

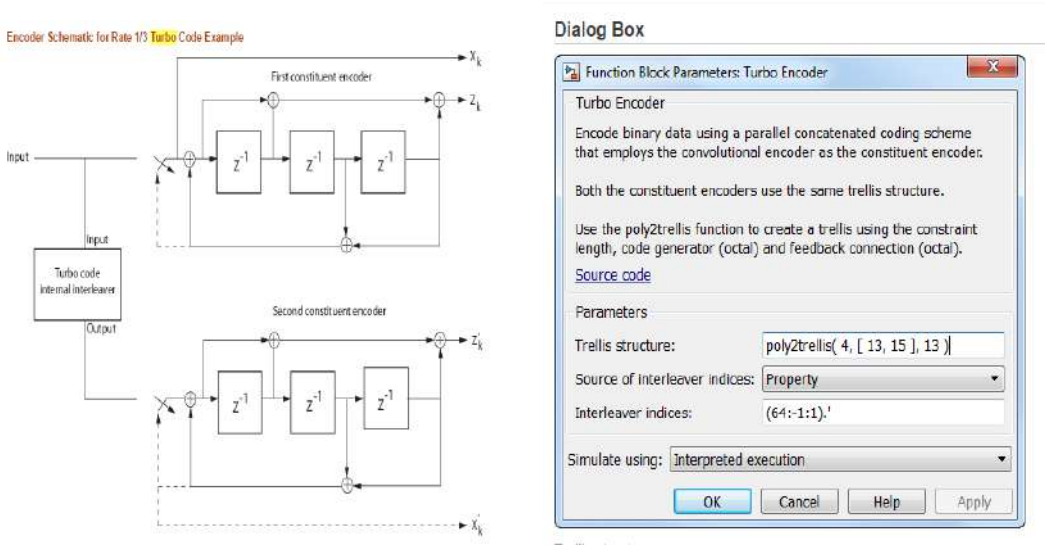


Figure III.2 : *paramètres de turbo code*

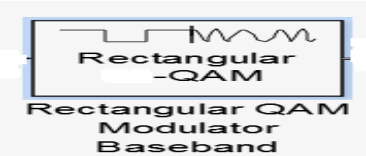
III.3.1.1.4. Entrelaceur : l'entrelaceur est une table qui fait correspondre à chaque bit une position sur une porteuse donnée. S'il y a suffisamment de porteuses fréquentielles indépendantes, il est alors possible de récupérer et reconstituer l'information à partir des échantillons n'ayant pas subi d'atténuation.



III.3.1.1.5. Modulation QAM :

Bloc modulation en utilisant une modulation d'amplitude en quadrature M-ary avec une constellation sur un réseau rectangulaire. La sortie est une représentation en bande de base du signal modulé.

Ce bloc accepte un signal d'entrée de vecteur scalaire ou colonne. Bloc offre la possibilité de visualiser une constellation de signaux à partir du masque de bloc.



III.3.1.1.6. Conversion parallèle s/p

Le bloc « conversion parallèle s/p » nous permet d'effectuer la conversion Série en Parallèle.



III.3.1.1.7. SC-FDMA : fft(u) :

DFT est la différence entre OFDM et SC-FDMA et pour la calculer il faut réaliser une fonction à l'aide de logiciel MATLAB puis on le bloc. Cette fonction ne peut pas être avec Simulink car ce dernier calcule avec 2^N par contre la taille de la DFT est 600.

III.3.1.1.8. Assemblage : se bloc est employé pour les sous canalisation et l'insertion des pilotes et zéro

III.3.1.1.9. Modulateur OFDM :ce bloc exécute le processus d'IFFT.

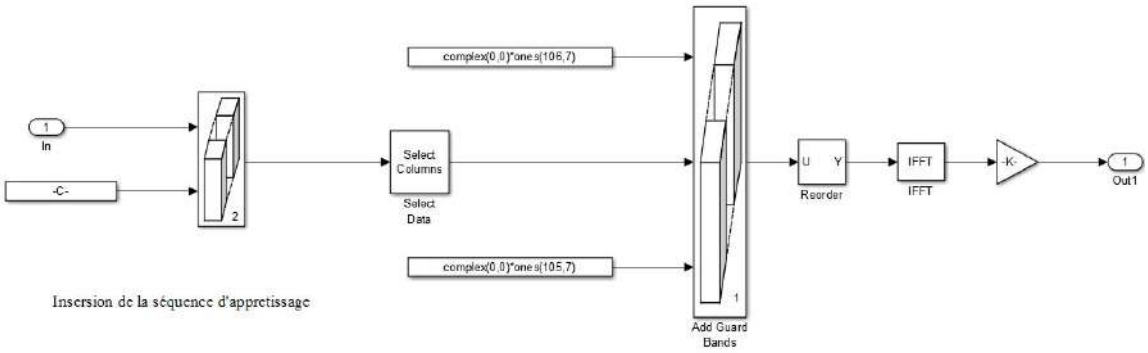


Figure III.3 : *Modulateur OFDM*

1-Select colons : pour sélectionner un ou plusieurs symboles de la trame.

2-Add Gard bands : ajouter la bande de garde, 212 zéros pour la bande de garde supérieur et 211 zéros pour la bande de garde inférieure.

3-Reorder : arranger les données.

4-IFFT :

IFFT est des méthodes qui transforment les données de domaine fréquentiel Au domaine temporel, et fournit un moyen simple pour moduler des données sur N sous-porteuses orthogonales. La sortie IFFT est essentiellement le résumé de tous les sinusoïdes orthogonales N entrée à elle, Ainsi IFFT est le bloc le plus important dans la chaine de modulation OFDM.

III.3.1.1.10. Insertion de CP :

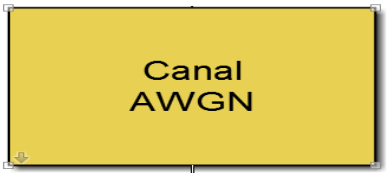
Chaque symbole OFDM modulé doit contenir un préfixe cyclique.

Dans notre chaine le bloc insertion de CP assure cette opération on copiant la dernière partie du symbole et le collant au début pour lutter contre le phénomène d'IES.



III.3.1.2. Canal de gaussien (AWGN Channel):

Le bloc Channel AWGN ajoute bruit blanc gaussien à un signal d'entrée réel ou complexe.



III.3.1.3. Partie récepteur

III.3.1.3.1. Remove Cyclic Prefix :

Ce bloc est ajouté pour enlever le préfixe qui a été introduit dans l'émission OFDM.

Comme on peut le voir à partir de la boîte de dialogue ci-dessus, les échantillons de préfixe cyclique sont retirés de 62 à 317. Tous les paramètres de la boîte de dialogue sont similaires à celles de la boîte 'Ajouter préfixe cyclique'.



III.3.1.3.2. OFDM :

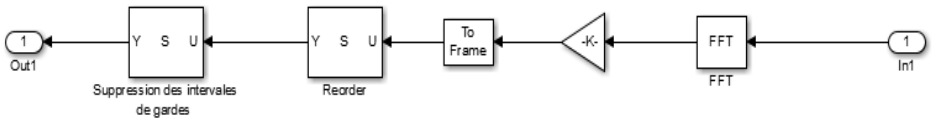


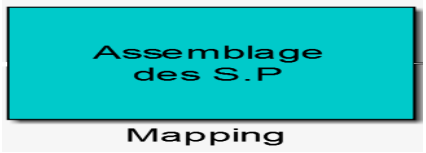
Figure III.4 : *étage OFDM*

1-FFT :

A la sortie du préfixe cyclique la taille du vecteur est 256, qui seront directement traiter par le bloc FFT. Au niveau du récepteur, un bloc FFT est utilisé pour traiter le signal reçu et l'amener dans le domaine fréquentiel. Idéalement, la sortie de la FFT sera symboles d'origine qui ont été envoyés à l'IFFT à l'émetteur..

2-Remove garde : supprimer la bande de garde et réordonner le symbole OFDM.

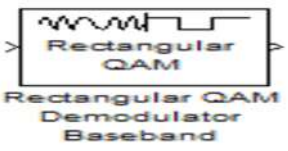
III.3.1.3.3. Assemblage :ce bloc sépare les données et les pilotes de séquence d'apprentissage



III.3.1.3.4. SC-FDMA : ifft(u)

III.3.1.3.5. DémodulationQAM:

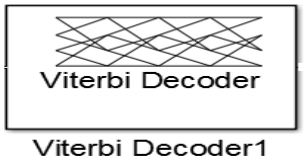
Bloc démoduler un signal qui a déjà été modulé en utilisant une modulation d'amplitude en quadrature à une constellation sur un réseau rectangulaire. La constellation de signaux comporte des points M, où M est le paramètre de numéro M-ary.



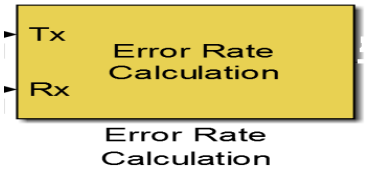
III.3.1.3.6. Desentrelacement : le signal reçu, après démodulation FFT, est désentrelacé selon la table de correspondance de l'émetteur. Des métriques tenant compte de la constellation des symboles émis et de l'évanouissement sur chaque porteuse sont alors. calculés



III.3.1.3.7. Viterbi Decoder :décode les données et corrige les erreurs détectés par le convolutional encoder //corriger les erreurs : les bits n'ayant pas subi d'atténuation ou amplifiés auront plus de poids dans le décodage que les bits issu de porteuses à faible gain



III.3.1.3.8. Error Rate Calculation :. Le bloc de calcul du taux d'erreur compare des données d'entrée de l'émetteur avec les données d'entrée d'un récepteur



III.3.2. Les performances du système :

Pour ce travail de recherche, nous représentons une chaine de transmission 4G mise en œuvre à l'aide de logiciel spécialise de simulation SIMULINK du MATLAB qui permet de tracer l'évolution du TEB en fonction de le rapport SNR.

LA figure 3.3représente une comparaison des performances des différentes modulation (4QAM ,16QAM ,64QAM ,256QAM) sans codage ,et cela en faisant varier le SNR de '-5' a '30' avec une pas de '1 dB'.

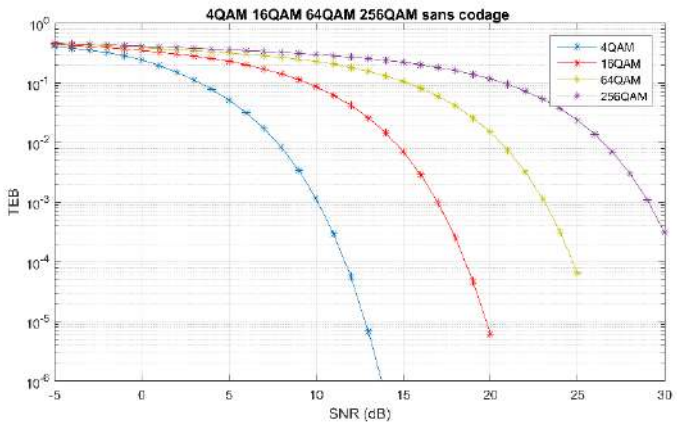


Figure III.5 : *TEB en fonction de SNR des différant modulation sans codage.*

Pour les différentes modulations comme décrit dans cette **figure 3.3**, on remarque la convergence de toutes les modulations vers un TEB nul, et cela pour toutes les modulations avec une diminution de TEB plus ou moins importante en fonction du rapport SNR et de la modulation utilisée.

La modulation 4QAM est la modulation la plus robuste de notre système. Elle permet une diminution importante de TEB et cela avec un petit rapport SNR . Elle est donc la plus intéressant pour garantir la qualité de la transmission, mais avec un débit faible. Et inversement pour la dernière modulation 256 QAM.

Modulation	4QAM	16QAM	64QAM	256QAM
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR (dB)	11	18	25	32

Tableau III.2 : *Modulation 4, 16,64et 256QAM cas sans codage*

Nous allons maintenant étudier le cas d'une chaine de transmission 4G avec codage . on fixe le codeur a 1/2 et on change la modulation QAM, On a obtient les courbes suivant :

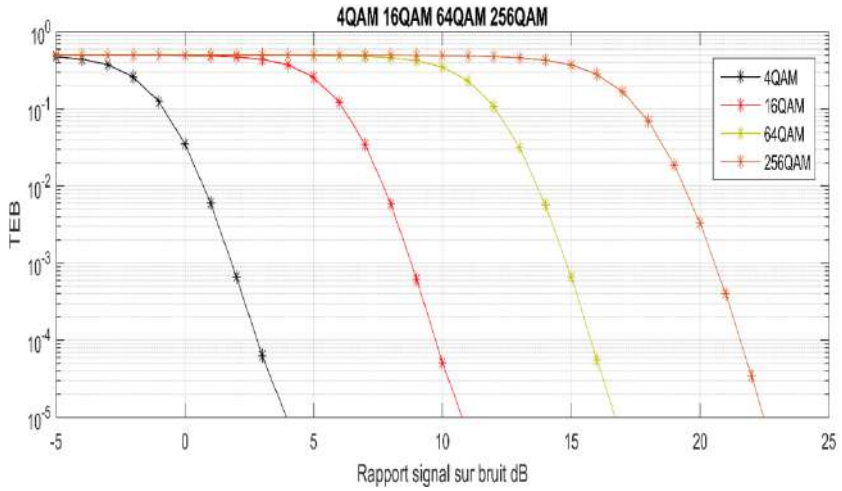


Figure III.6 : *déférent cas modulation en cas de codage avec un codeur de 1/2*

	Taux Codeur ½			
Modulation	4QAM	16QAM	64QAM	256QAM
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR (dB)	3	10	16	22

Tableau III.3 : *déférent cas modulation avec codeur de ½.*

Nous pouvons appliquer à cette figure la même remarque que pour **la figure III.5**

La figure III.6, présentent la performance du système en utilisant différentes modulations : 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM et 256-QAM dans un canal gaussien avec un codage de canal. Nous remarquons bien que les résultats obtenus par la modulation 256-QAM sont mieux que ceux obtenus par les modulations 4_QAM,16-QAM et 64-QAM. On peut déduire que la performance du système augmente lorsque le nombre de constellations augmente alors que son débit s'accroit

maintenant en a étudier le cas de la modulation16 QAM et 64QAM avec un codage de 1/2, 2/3 , 3/4 et 5/6 qui représentant dans l**e figure III.7 et le figure III.8** suivant :

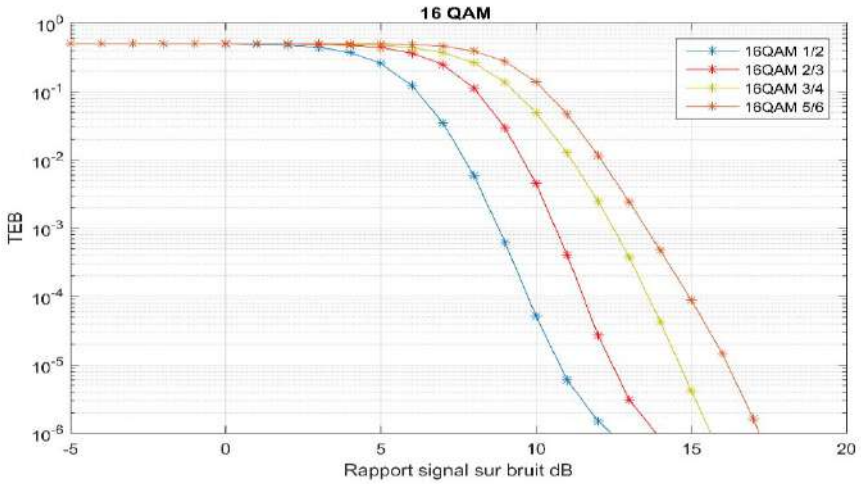


Figure III.7 : *modulation 16 QAM avec un codage de 1/2, 2/3 , 3/4 et 5/6*

Taux de codage	1/2	2/3	3/4	5/6
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR (dB)	9	12	14	15

Tableau 2*modulation 16 QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6.*

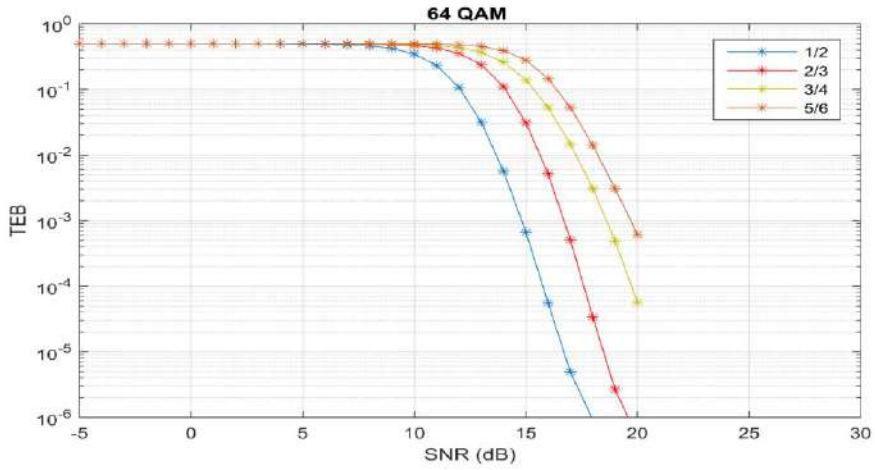


Figure III.8 : *modulation 64QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6*

Taux de Codeur	1/2	2/3	3/4	5/6
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR (dB)	16	18	20	22

Tableau III.5 : *modulation 64 QAM avec un codage de 1/2 , 2/3 , 3/4 et 5/6*

la figure III.7 et la figure III.8 Montre le SNR pour un seule Modulation(16QAMet 64QAM successivement) et déférent valeurs de codage(1/2,2/3 ,3/4,5/6) et avec une seule valeur du TEB suivent les paramètres de les figures si dessus en remarquent que pour chaque déférent valeur de codage et à chaque fois que les valeurs du SNR augmentent à partir de nous résultats nous comptons que le valeur de codage est d'influence sur le SNR .

Nous allons maintenant utilisons le codeur turbo encoder place le codeur randominterleaver.

En obtient **la figure 3.7** qui représente les différentes modulations 4QAM ,16 QAM ,64QAM et 256QAM :

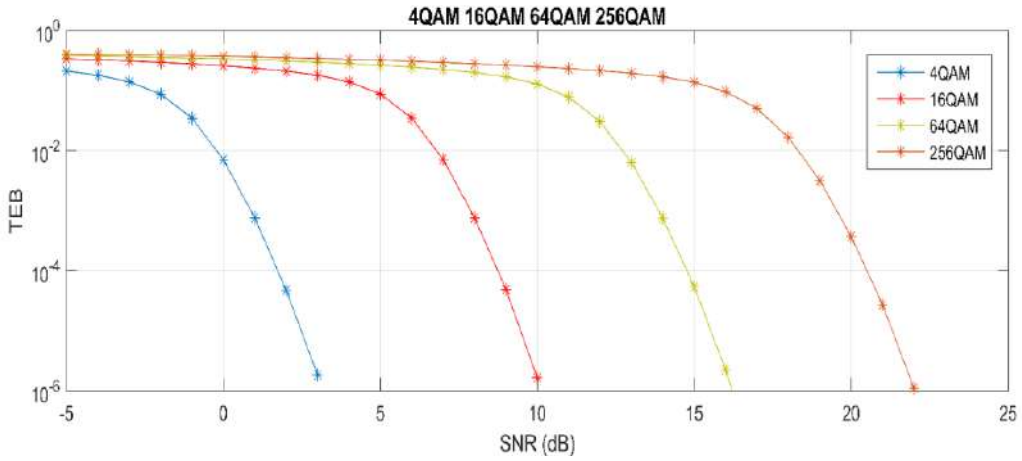


Figure III.9 : *modulation 4, 16, 64, 256 QAM turbo code*

Modulation	4QAM	16QAM	64QAM	256QAM
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR (dB)	2	9	15	21

Tableau III.6 : *modulation 4,16,64,256 QAM, turbo code*

La figures présente les performances du système en utilisant différentes modulations ; 4_QAM,16-QAM, 64-QAM et 256-QAM dans un canal gaussien avec un codage de canal de type turbo dans le où son taux de codage égale à 1/3, et dans le décodage en utilisant le bloc turbo décoder avec un nombre d'itération est égale à 6. Nous remarquons bien que ces résultats sont mieux que ceux obtenus dans **la figure III.7**

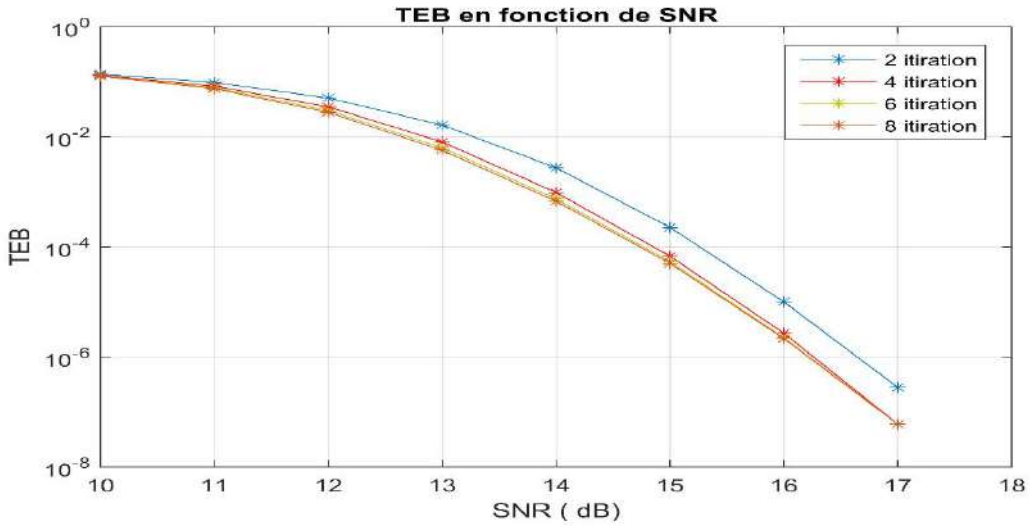


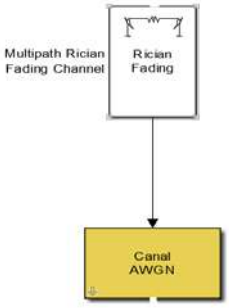
Figure III.10 : *Modulation 16QAM cas turbo avec défèrent itération*

D'après **la figure III.10** on remarque que l'augmentation de nombre d'itérations entraine une augmentation de la performance du système, après la 6ème itération nous remarque que il n Ya pas un grand changement de la performance. On peut conclure que le nombre d'itérations pour cette méthode est beau à 6.

III.3.2.1. Canal réel (multi trajet) :

Dans cette chaine de transmission 4G avec un canal de multi trajet en ajout le bloc de multi trajet avant le block AWGN et on ajoute un bloc d'estimation et d égalisations de canal.

III.3.2.1.1. Multi trajet et AWGN :



III.3.2.1.2. Bloc d'estimation et d égalisations de canal :

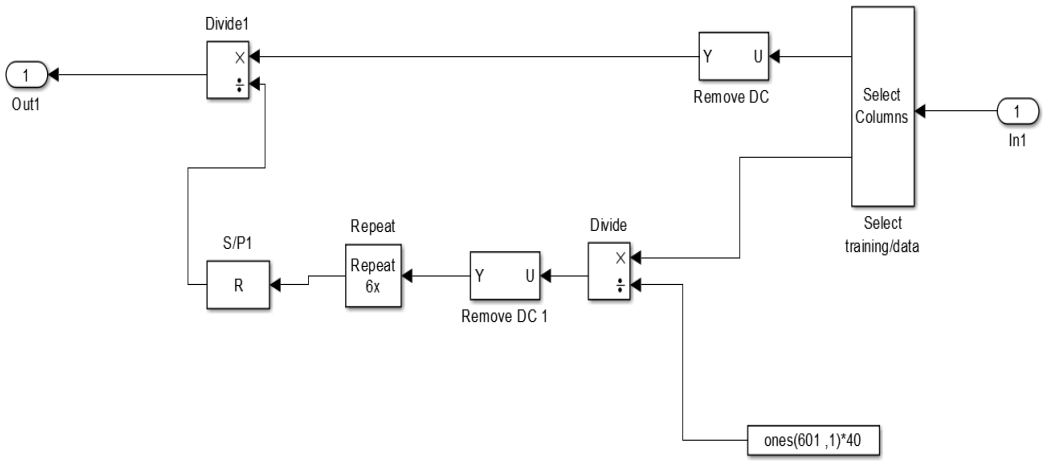


Figure III.11 : *Bloc d'estimation et d égalisations de canal.*

III.3.2.1.3. Critère de forçage de zéro :

Dans le cas où la somme de tous les signaux émis est considérée de façon globale, un traitement de type Zéro Forcing est simple à implémenter puisqu'il s'agit que d'une inversion De matrice [27].

Supposant que H est inversible, le vecteur de symboles estimés de taille *NT* x 1 est alors donné par la relation :

$$\hat{s} = H^{-1}y = s + H^{-1}b$$

Le récepteur ZF sépare ainsi parfaitement les symboles *si* (*i=1....NT*) transmis dans le même canal. Lorsque H est mal conditionné, le récepteur ZF donne des résultats corrects pour des RSB élevés, mais pour de faibles RSB le bruit perturbe fortement les performances.

En pratique, si H n'est pas carrée ($NT \neq NR$) le récepteur multiplie y à gauche par le pseudo inverse de H de la matrice de canal pour récupérer tous les symboles. Dans ce cas, le vecteur

Estimé s'écrit :

$\hat{s} = (H^*H)^{-1}H^* y$

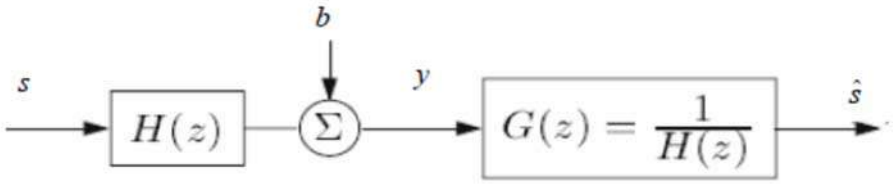


Figure III.12 : *Egalisation Zéro Forcing*

On obtient la **figure III.13** suivant qui représente la modulation 4QAM , 16QAM et 64QAM dans le cas de codeur Radom interleaver :

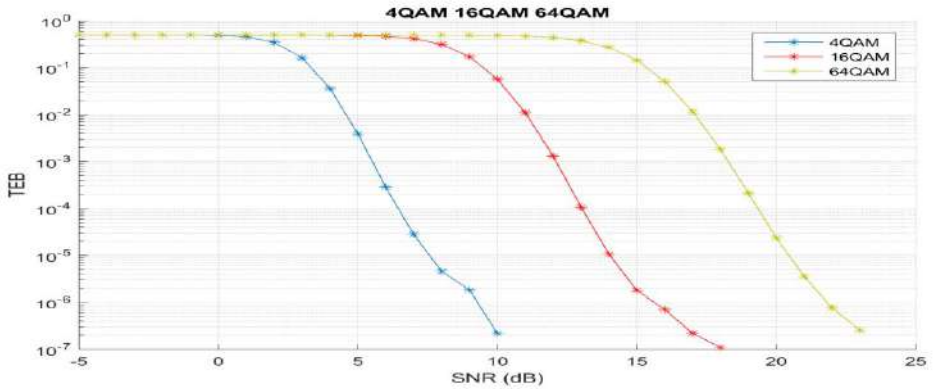


Figure III.13 : *modulation4,16 et 64 QAM multi trajet cas codage avec codeur ½*

	taux de codeur ½		
Modulation	4QAM	16QAM	64QAM
TEB	10^e-4	10^e-4	10^e-4
SNR (dB)	7	13	19

Tableau III.7 : *modulation 4,16 et 64 QAM multi trajet en cas codage de canal à un codeur de ½*

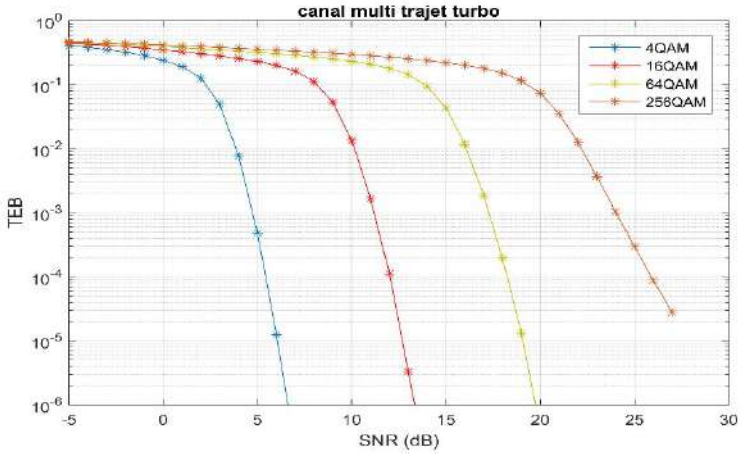


Figure III.14 : *déférentes modulations multi trajet ,turbo*

Modulation	4QAM	16QAM	64QAM	256QAM
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR (dB)	5.5	11.5	17.5	26

Tableau III.8 : déférentes modulations cas multi trajet,turbo

III.3.3. Partie MIMO :

Dans cette partie de la chine en mode MIMO il faut ajoute des blocs comme sur **la figure** ci-dessous :

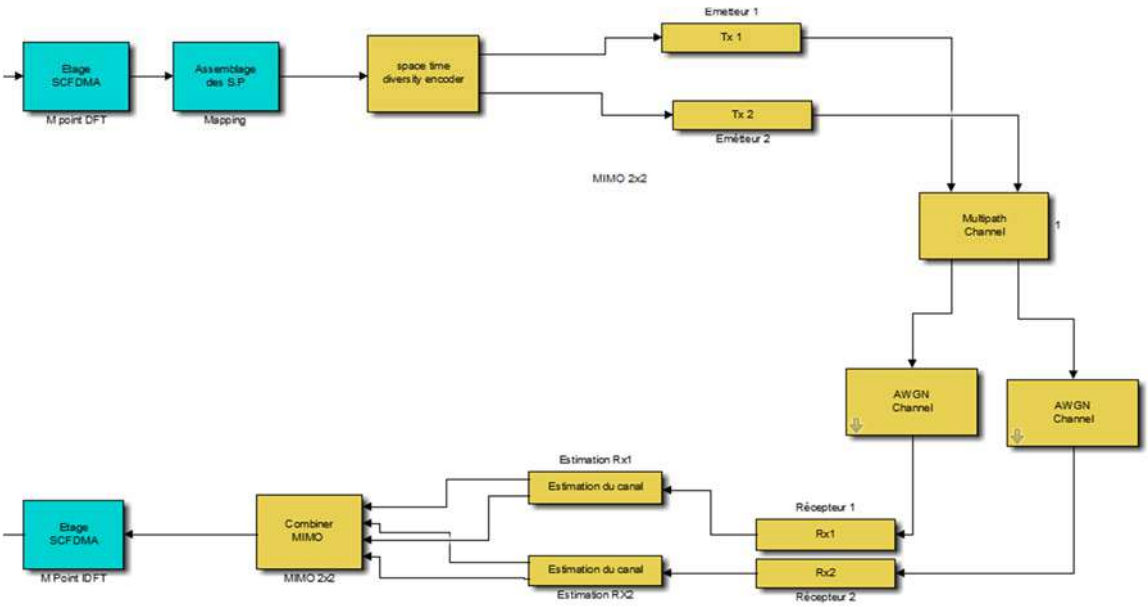


Figure III.15 : partie *MIMO.*

III.3.3.1. La partie Emetteur :

En ajout le bloc **space time diversity encoder**qui contient les blocs suivant :

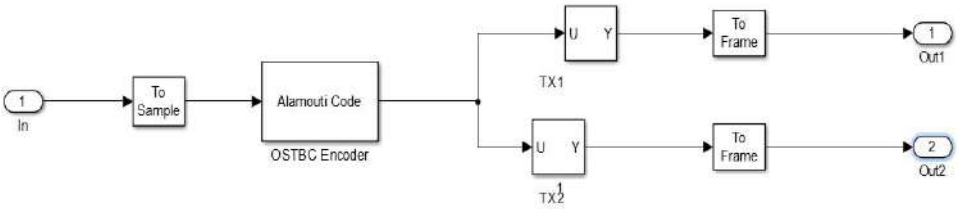


Figure III.16 : *bloc space time diversity encoder.*

III.3.3.1.1. STBC Coder: le codeur STBC prend en entrée, un vecteur X de longueur 6 x 600. Il le divise en deux sous vecteursTX1 et TX2 chacun de longueur 600*6*2 Ensuite, ces vecteurs sont codés par le schéma STBC. Donc, à la sortie du Codeur STBC, nous avons deux branches séparées :

1/Branche 1:nous avons les vecteurs TX_1 et $-TX_2^*$

2/ Branche2 : nous avons les vecteurs TX_2 et TX_1^*

III.3.3.1.2. BLOC TX1 et TX2 :

En trouve dans ce bloc les blocs suivants

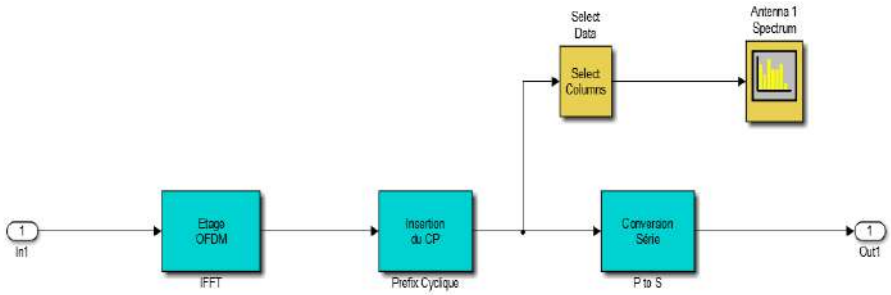


Figure 917 : *Bloc TX1 et TX2*

III.3.3.2. Canal multi trajet :

III.3.3.2.1.1. Bloc multipath chanel :

On trouve 4 blocs canal Rician fading

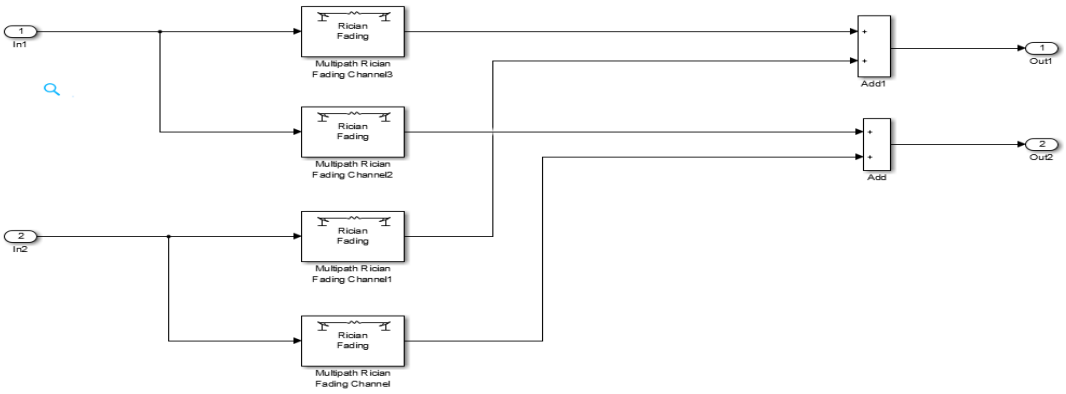


Figure III.18 : *Bloc multipathchanel* .

A la sortie de ce bloc il faut utiliser 2 blocs de canal AWGN comme suite :

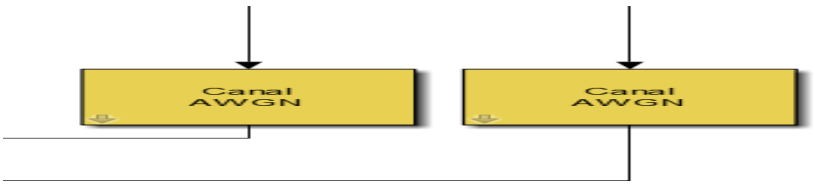


Figure III.19 : *deux blocs de canal AWGN*

III.3.3.3. Partie récepteur :

III.3.3.3.1. Bloc RX1 et RX2 :

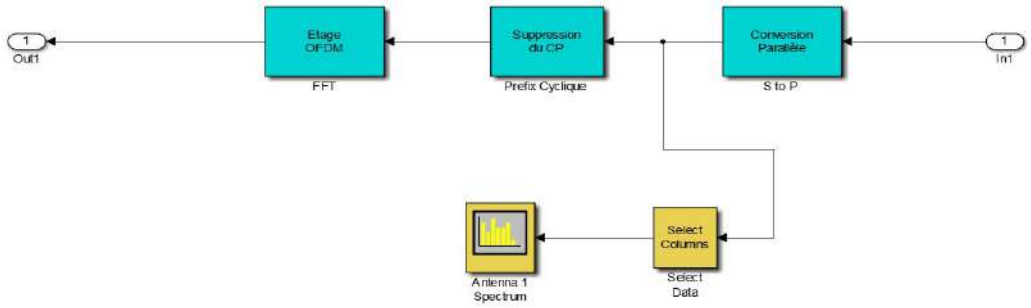


Figure III.20 *Bloc RX1 et RX2*

III.3.3.3.2. Bloc Estimation :

En utilise 2 bloc en parallèle comme le bloc 1er d estimations utilise dans la partie précèdent :

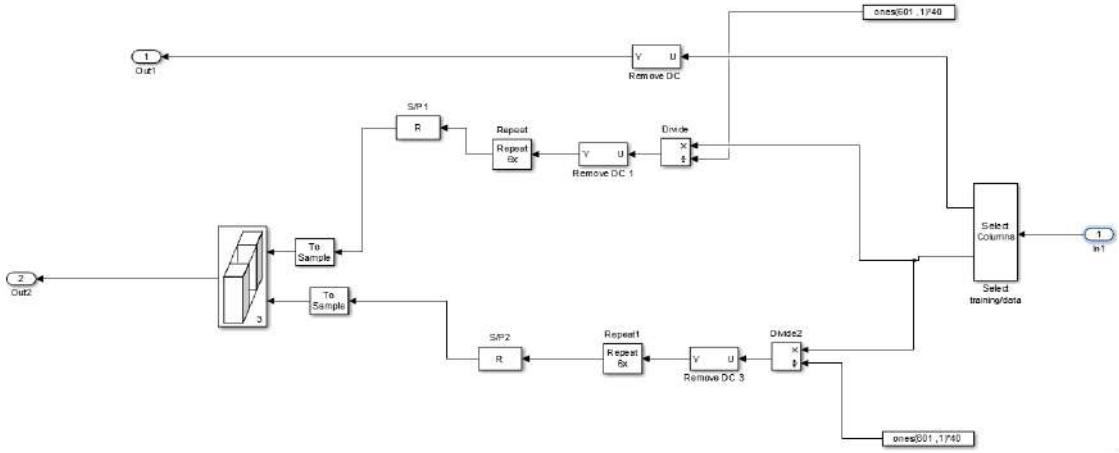


Figure III.21 : *Bloc Estimation.*

III.3.3.3.3. Bloc combineur MIMO :

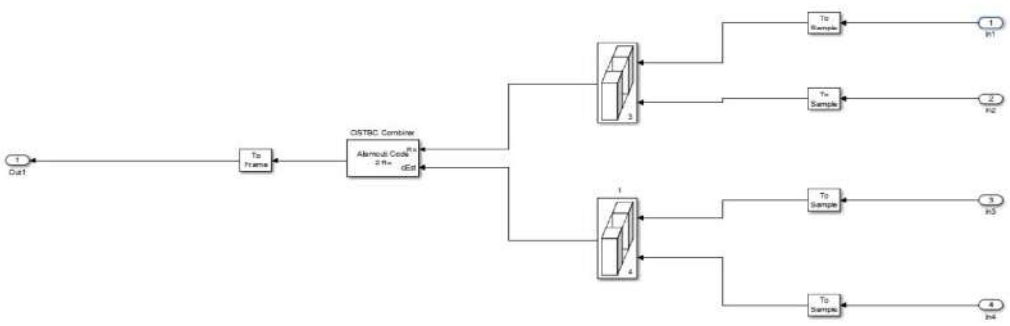


Figure III.22 : *Bloc combineur MIMO*

Les autres blocs ne changent pas.

III.3.4. Les performances de system :

On va faire la simulation de la nouvelle chaine et en trace les figures suivant :

Dans le cas d'un codage avec un taux de codage de ½ on a **la figure III.23**

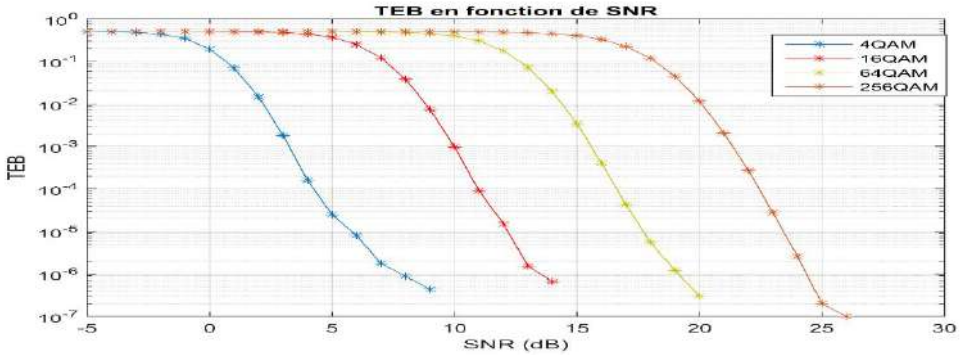


Figure III.23 : *chaine MIMO cas codage avec taux de codage ½*

Modulation	**4QAM**	**16QAM**	**64QAM**	**256QAM**
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR	4	9	16	22

Tableau III.3 : *chaine MIMO avec taux de codage ½*

Dans le cas d'un turbo avec un taux de codage de 1/3 on a **la figure III.24 :**



Figure III.24 : *chaine MIMO cas turbo avec taux de codage 1/3*

Modulation	**4QAM**	**16QAM**	**64QAM**	**256QAM**
TEB	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4	10^{e}-4
SNR	3	10	16	21

Tableau III.4 : *chaine MIMO cas turbo avec taux de codage 1/3*

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle de la chaine de transmission LTE implémente sous SIMULI NK, tout en réalisant une étude de notre chaine et de ses performances. Ceci nous a fait remarquer l'importance de l'utilisation des systèmes de codage pour une diminution du BER pour un court rapport SNR.

Ainsi que l'utilisation de multiplexage spatiale (MIMO) pour augmenter les performances de notre chaine .

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce projet était l'occasion pour nous, pour découvrir un nouveau monde de recherche et de développement qui se base sur des nouvelles technologies de communication et qui est applicable dans divers secteurs. Cette étude s'installe dans le cadre de l'arrivée de la prochaine norme de téléphonie mobile (LTE advanced) sous la dénomination 4G « 4ème génération ».

Ce nouveau système, le LTE, est une amélioration du cœur même de réseaux (U-TRAN) des systèmes existant. Dans notre travail, nous nous sommes limités à l'étude et l'évaluation des techniques d'accès dans ce nouveau système

Ainsi dans la première partie nous avons procédé à une étude des réseaux cellulaires des différentes normes de téléphonie mobile précédentes. Cette étude préliminaire nous a permis de comprendre que le but recherché dans l'amélioration des systèmes radio mobiles était entre autre : Une bonne couverture des cellules, une facilité d'accès, une allocation et une gestion des ressources optimisés, des services multimédia facilitant le quotidien de l'utilisateur.

Mais avec le Long Term Evolution ces objectifs ont été complétés par des points comme le transport de la voix uniquement par IP, l'accès haut débit, etc.

D'autre part, ce projet nous a permis d'améliorer nos connaissances sur la manipulation des signaux LTE par MATLB, avec sa grande bibliothèque ToolBox, et aussi de voir de près l'utilité des concepts de traitement de signal, la modulation et ainsi les différents phénomènes affectant les liaisons radios et influençant la communication.