

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique
Université A. MIRA-Bejaia
Faculté de technologie
Département ATE



Mémoire de fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme
MASTER

Présenté par
GHEDDOU Rachida

Filière : Electronique
Spécialité : Télécommunication

Thème

*Etude d'un standard de
communication LTE*

Devant le jury composé de :

Mr A.MEKHMOUKH
Mr A.ALLICHE
Mlle L. ACHOUR

Président
Encadreur
Examinatrice

Année universitaire : 2016-2017.



REMERCIEMENT

*Je tiens particulièrement remercier **LE DIEU** le tout puissant, de m'avoir accordé santé, volonté, courage et patience ce mémoire n'aurait jamais été réalisé sans sa bénédiction.*

*Je m'adresse mes remerciements à mon encadreur Monsieur **Abdenour ALLICHE**, pour son aide consistant, ses conseils judicieux, et pour ses remarques objectives.*

*Je remercie les membres du jury, **Mr. MEKHMOUKH** et **Mlle. ACHOUR** pour avoir accepté d'examiner ce travail*

*Mes remerciements vont également à l'ingénieur **Mr. GHEDDOU Hicham** pour sa disponibilité et sa grande contribution.*

Enfin, je tiens remercier toute personne qui m'a aidé de près ou de loin durant mon travail





Dédicace

Je dédie ce travail à :

*Mes chers **parents** qui m'ont beaucoup aidés et qui se sont sacrifiés pour mon bien et qui m'ont encouragé et soutenu le long de ma vie et durant mon cursus;*

*A mes deux chers frères, **Toufik** et **Mokrane**;*

A toute ma famille ;

A tous mes amis sans exception ;

*A toute la communauté universitaire, surtout le club scientifique **GEER** ;*

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Rachida.



Table de matières

Table des matières :

Liste des abréviations
 Liste de figures
 Liste des tableaux
 Introduction générale.....1

Chapitre 1: Etat de l’art des différents standards

1. Introduction.....2
 2. Notions de base.....2
 2.1. FDMA2
 2.2. TDMA2
 2.3. CDMA.....3
 2.4. WCDMA3
 2.5. OFDMA4
 2.6. Codage et modulation adaptatifs.....5
 3. Les systèmes de communications mobiles étudiés.....7
 3.1.La première génération des téléphones mobiles (1G).....7
 3.2.La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....7
 3.2.1. Le réseau GSM.....8
 3.2.2. Le réseau GPRS (2.5G).....10
 3.3.La troisième génération UMTS (3G)12
 3.3.1. Classe de service et QoS définies par UMTS.....12
 3.3.2. Architecture du réseau UMTS.....13
 4. Présentation de IEEE 802.16 e (WiMAX).....14
 5. Conclusion.....15

Chapitre 2: Description de la LTE

1. Introduction.....16
 2. Généralités sur la norme LTE.....16
 3. Définition des réseaux LTE17
 4. Architecture du réseau LTE18
 5. Amélioration de la LTE19
 5.1. La capacité de la 4G20
 5.2. Débit sur l’interface radio20
 5.3. Mobilité.....20
 5.4. Flexibilité de l’usage de la bande20
 5.5. Délai pour la transmission de données.....20
 6. La couche physique.....21
 6.1. OFDM
 6.1.1. Généralité conceptuelle d’un signal OFDM.....21
 6.1.2. Généralité pratique d’un signal OFDM23

6.1.3. La condition d'irtoogonalité.....	23
6.2. OFDMA.....	24
6.2.1. Principe de l'OFDMA	24
6.2.2. Avantage de fonctionnement.....	24
6.2.3. Inconvénients de l'utilisation.....	24
6.2.4. Les PRB	24
6.3.SC-FDMA.....	25
7. LTE et l'antenne MIMO.....	26
7.1.Définition d'une antenne	26
7.2.Principe de la technique MIMO.....	26
7.3.Les différents types de codage MIMO.....	27
7.3.1. L'OFDM.....	27
7.3.2. Le multiplexage par division spatiale (SDM).....	27
7.3.3. Le codage spatio-temporel par bloc (SDM).....	28
8. Conclusion.....	28

Chapitre 3 : Etude d'une chaine de communication LTE

1. Introduction.....	29
2. Chaine de transmission	29
2.1 les phénomènes physiques de la propagation radio électrique.....	30
2.2 l'évanouissement.....	31
3. Etude d'une chaine de communication LTE.....	32
3.1 Les canaux phisiques.....	32
3.2 Calcul de la couverture pour les Uplink.....	34
3.2.1 Débit requis.....	34
3.2.2 SNR requis.....	34
3.2.3 Sensibilité de l'eNode B récepteur.....	34
3.2.4 Equation de bilan de liaison Uplink.....	35
3.3 Calcul de la couverture pour les Downlink.....	36
3.3.1 Puissance par le bloc de ressource.....	36
3.3.2 Augmentation du bruit a la bordure de la cellule.....	36
3.3.3 SINR.....	36
3.3.4 Equation bilan de liaison Downlink.....	37
4. Le niveau d système LTE.....	37
5. Conclusion	39

Chapitre 4 : modélisation et simulation

1. Introduction.....	40
2. Modélisation et simulation dans MATLAB	40
2.1 Simulation au niveau de système LTE.....	40
2.1.1 fonctionnement de la simulation	40
2.1.2 résultat de la simulation.....	41
2.1.2.1 le rayonnement des trois secteurs de chaque eNodeB.....	41
2.1.2.2 modèle de rayonnement de l'antenne TS 36.942.....	42
2.1.2.3 Les modèles pathloss et les modèles de gain d'antenne.....	43
2.1.2.4 Le taux d'erreur de blocage (BLER).....	44
2.1.2.5 Option de canal.....	45
2.1.2.6 L'évanouissement et l'effet de masquage.....	47
3. Conclusion.....	49

Chapitre 5 : Application et étude comparative

1. Introduction.....	50
2. Evolution des normes IMT-advanced.....	50
3. Comparaison de l'efficacité spectrale.....	51
3.1. Mise en œuvre OFDMA.....	52
3.2. Mise en œuvre MIMO.....	52
3.3. Flexibilité de spectre.....	53
4. Comparaison de l'adoption de relais.....	53
5. Comparaison des architectures de réseau.....	54
5.1. ANS/AN (E-UTRAN) et le MME et le S-GW	55
5.2. CSN/PDN-GW CSN.....	56
6. Simulation et discussion des résultats.....	56
7. Conclusion.....	65

Liste des abréviations :

1G	1 ^{ère} Génération.
2G	2 ^{ème} Génération
3G	3 ^{ème} Génération.
3GPP	3 rd Generation Partnership Project.
4G	4 ^{ème} Génération.

A

AAA	Authentication, Authorization and Accountability
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AuC	Authentication Center.
AWGN	Additive White Gaussian Noise

B

BER	Bit Error Ratio
BG	Border Gateway
BLER	Block error ratio
BPSK	Binary phase shift keying
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station

C

CDF	Charging data function
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CoMP	Coordinated Multipoint Transmission
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	contrôle redondance cyclique
CSI	Channel State Information
CSN	Connectivity Service Network

Liste des abréviations

<i>D</i>	DFT	Discrete Fourier Transformation
	DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
	DL	DownLink
	DS-CDMA	Direct Sequence-CDMA
<i>E</i>	EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution
	EPC	Evolved Packet Core
	EPS	Evolved Packet System
	EUTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
	EVDO	Evolution-Data Optimized
<i>F</i>	FDMA	Frequency Division Multiple Access
	FDD	Frequency Division Demultiplexed
	FTP	protocole de transfert de fichiers
<i>G</i>	GGSN	Gateway GPRS Support Node
	GPRS	General Packet Radio Service
	GSM	Global System for Mobile communications
<i>H</i>	HA	Home Agent
	HARQ	Hybrid/Automatic Repeat Request
	HLR	Home Location Register.
	HSDPA	High-Speed Downlink Pocket Access
	HSPA	High Speed Packet Access
	HSS	Home Subscriber Service
<i>I</i>	ICI	Inter Carrier Interférences
	IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
	IFFT	Inverse Fast Fourier transform
	IMT	International Mobile Telecommunications
	IP	Internet Protocol
	IT	Interval de Temps
<i>L</i>	LPS	Physical-Layer Simulator
	LTE	Long Term Evolution

Liste des abréviations

<i>M</i>	MAC	Medium Access Control layer
	MAN	Metropolitan Area Network
	ME	Mobile Equipment
	MIMO	Multiple In Multiple Out
	MME	Management Mobility Entity
	MSC	Mobile Switching Center
<i>N</i>	NLOS	Non Line Of Sight
	NSS	Network and Switching Subsystem
<i>O</i>	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
	OMC-G	Operations And Maintenance Centre GPRS
<i>P</i>	PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
	PCRF	Policy and Charging Rules Function
	PDC	Packet Data Compression Protocol.
	PDN-GW	Packet Data Network Gateway
	PHY	Physical Layer
	PLMN	Public Land Mobile Network
	PRB	physical ressource block
	<i>Q</i>	QAM
QoS		Quality of Service
QPSK		Quadratic Phase Shift Keying
<i>R</i>	RF	Radio-Fréquences
	RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
	ROI	Region Of Interest
	RRH	Remote Radio Head
	RS	Relay Station
	RTC	Réseau Téléphonique Commuté
	RTCP	Réseau Téléphonique Commuté Publique

Liste des abréviations

S	SC-FDMA	Single Frequency Division Multiple Access
	SDM	multiplexage par division spatiale
	SF	Spreading Factor
	SGSN	Serving GPRS Support Node
	SGW	Serving Gateway
	SISO	Single in single out
	SINR	Signal to Interference Noise Ratio
	SLS	Simulator Level System
	SMS	Short Message Service
	SNR	Signal to Noise Ratio
T	STBC	codage spatio-temporel par bloc
	TDMA	Time Division Multiple Access
	TDD	Time Division Demultiplexed
	TTI	Transmission Time Interval
U	UE	User Equipment
	UIT	Union Internationale des Télécommunications
	UMTS	Universal Mobile Telecommunication System.
	UL	UpLink
	USIM	Universal Subscriber Identity Module
V	VLR	Visitor Location Register.
W	W-CDMA	Wideband-Code Division Multiple Access
	WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
Z	ZF	Zero Forcing

Liste des figures :

Figure 1.1 : *Méthodes d'accès multiples*

Figure 1.2 : *Etalement à séquence directe DS-CDMA.*

Figure 1.3 : *Points de quantisation pour QPSK, 16-QAM et 64-QAM.*

Figure 1.4 : *Evolution des réseaux sans fil.*

Figure 1.5 : *Architecture du réseau GSM*

Figure 1.6 : *Architecture du réseau GPRS*

Figure 1.7: *Architecture du réseau UMTS*

Figure 2.1: *Evolution de réseau LTE*

Figure 2.2 : *Architecture générale du réseau LTE.*

Figure 2.3 : *amélioration de la LTE*

Figure 2.4: *Structure générique de trame LTE*

Figure 2.5 : *Schéma de principe d'un modulateur*

Figure 2.6 : *Schéma de modulation OFDM*

Figure 2.7 : *Comparaison entre L'OFDM et L'OFDMA.*

Figure 2.8: *PRB*

Figure 2.9 : *chaîne de transmission SC-FDMA*

Figure 2.10 : *Principe du MIMO*

Figure 3.1 : *Une chaîne de transmission sans fil*

Figure 3.2 *Mécanismes intervenant lors de la propagation d'une onde*

Figure 3.3: *Fluctuations à petite et à grande échelle de la réponse du canal*

Figure 3.4 : *traitement LTE PDCCH.*

Figure 3.5 : *modèle bilan de Uplink*

Figure 3.6 : *Modèle bilan de Downlink*

Figure 3.7 : *Structure interne de niveau de système LTE*

Figure 3.8: *Structure réseau dans le SLS: postes de cellule et d'utilisateur.*

Figure 3.9: *Vue détaillée d'un seul site*

Figure 4.1 : *rayonnement des 3sector/eNodeB.*

- Figure 4.2:** *les variations du gain d'une antenne TS 36.942*
- Figure 4.3:** *le pathloss en fonction de la distance de propagation.*
- Figure 4.4 :** *effet de masage ou shadow fading sur les eNodeBs*
- Figure 4.5:** *Le BLER en fonction du SNR [dB] pour les CQIs.*
- Figure 4.6 :** *les graphes sont obtenus à partir des points BLER de 10%.*
- Figure 4.7 :** *la répartition des UEs avec les secteurs des eNodeB*
- Figure 4.8 :** *positions des UE et eNodeB dans les différents TTI*
- Figure 4.9 :** *variation de CDF en fonction de SINR*
- Figure 4.10 :** *le rayonnement de chaque secteur/eNodeB*
- Figure 4.11 :** *Le rayonnement des secteurs/eNodeB*
- Figure 5.1 :** *Evolution de LTE et WiMAX.*
- Figure 5.2 :** *Deux antennes relais associées au LTE et WiMAX.*
- Figure 5.3 :** *Architecture générale de WiMAX*
- Figure 5.5:** *CSI et le canal estimé avec les variations de BER en fonction de E_b/N_0 dans UL.*
- Figure 5.6 :** *Les variations de BER en fonction du E_b/N_0 dans DL.*
- Figure 5.7 :** *Les variations de BER en fonction de E_b/N_0 pour 16QAM.*
- Figure 5.8 :** *Les variations du BER en fonction de E_b/N_0 pour 16QAM.*
- Figure 5.9 :** *Les variations de BER en fonction de E_b/N_0 pour 64QAM*
- Figure 5.10:** *Les variations de BER en fonction de E_b/N_0 pour 64QAM.*
- Figure 5.11 :** *BER en fonction du SNR pour les différentes modulations*

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : *Modulations et taux de codages adaptatifs sur le IEEE 802.16 e*

Tableau 1.2: *Evolution du GSM au GPRS.*

Tableau 1.3 : *Historique du standard IEEE802.16*

Tableau 2.1 : *Différents Paramètres du LTE-Advanced.*

Tableau 5.1 : *Comparaison de l'efficacité spectrale de LTE et WiMAX.*

Tableau 5.2 : *Débit de données pour LTE-Advanced et IEEE 802.16m.*

Tableau 5.3 : *Paramètres de la simulation*

Introduction

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 phare 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 HSDPA, monde des réseaux sans fil avec le WiMAX. 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.

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 connue et très répandue dans le monde la 2G (GSM), c'est la norme la plus utilisée dans le monde de nos jours et est toujours utilisée, ensuite on passera à la 2.5G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM, ce réseau est une extension du réseau GSM, après on présentera les réseaux 3G (UMTS).

Ensuite, on se concentre sur l'évolution de la quatrième génération, ces techniques d'accès, sa mobilité, et son principal avantage de permettre des grands débits de transmission dans le deuxième chapitre et les différents équipements qui forment globalement cette chaîne de communication et qui nous permettent par la suite de comprendre la modélisation et la simulation qui sont effectuées dans le quatrième chapitre.

Enfin, on va réaliser une petite comparaison générale entre le réseau LTE et le WiMAX par une simulation démontante avec MATLAB.

Chapitre 1: état de l'art des différents standards

Chapitre 1

Etat de l'art des différents standards

1. Introduction :

Nous allons présenter dans ce chapitre quelques notions de base, des systèmes de communication mobiles, quelques types de techniques d'accès multiples, le codage et la modulation adaptative, ensuite en va voir l'évolution des différentes générations mobiles

2. Notions de base :

Dans cette section, nous allons présenter quelques méthodes d'accès radio de base [1].

2.1 FDMA :

La technique d'accès multiple à division fréquentielle, FDMA, représente la technique la plus utilisée dans les réseaux mobiles de première génération. Avec cette méthode, le spectre est divisé en plusieurs canaux radio (aussi appelées voies ou bandes incidentes, sous-bandes de fréquences) avec une largeur de bande fixée, voir la figure 1.1 (a). Quand un utilisateur désire effectuer un appel, un des canaux est alors exclusivement alloué à cet utilisateur pendant toute la durée de la communication. Un canal de garde se situe entre chacun de ces canaux pour éviter l'intermodulation. Cette technique s'applique principalement aux signaux analogiques.

2.2 TDMA :

La technique d'accès multiple à division de temps, TDMA, est surtout utilisée dans les systèmes de deuxième génération, tels que le GSM. Par cette technique, une même bande de fréquences est partagée par un certain nombre d'utilisateurs qui se voient attribués un intervalle (appelé *slot* ou *IT*) de temps unique, voir la figure 1.1 (b). L'ensemble des IT mis ensemble forment une trame. Dans le cas de la norme européenne GSM, chaque canal de 200 kHz est divisé en huit tranches de temps, tandis que selon la norme américaine IS-136, chaque canal de 30 kHz est divisé en trois tranches de temps. Ces systèmes permettent d'avoir, dans des conditions réelles d'utilisation, une capacité en termes de nombre d'utilisateurs 3 à 6 fois supérieure à celle des systèmes qui se basent sur le FDMA.

2.3 CDMA:

La technique CDMA constitue une méthode d'accès où tous les utilisateurs partagent la même bande de fréquences simultanément et tout le temps, comme le montre la figure 1.1 (c). La technique d'étalement de spectre est utilisée pour affecter à chaque utilisateur un code, ou séquence, unique qui détermine les fréquences et la puissance utilisées.

Le signal contenant l'information de l'émetteur est modulé avec la séquence qui lui est attribuée, ensuite le récepteur recherche la séquence en question. En isolant toutes les séquences provenant des autres utilisateurs (qui apparaissent comme du bruit), le signal original de l'utilisateur peut alors être extrait.

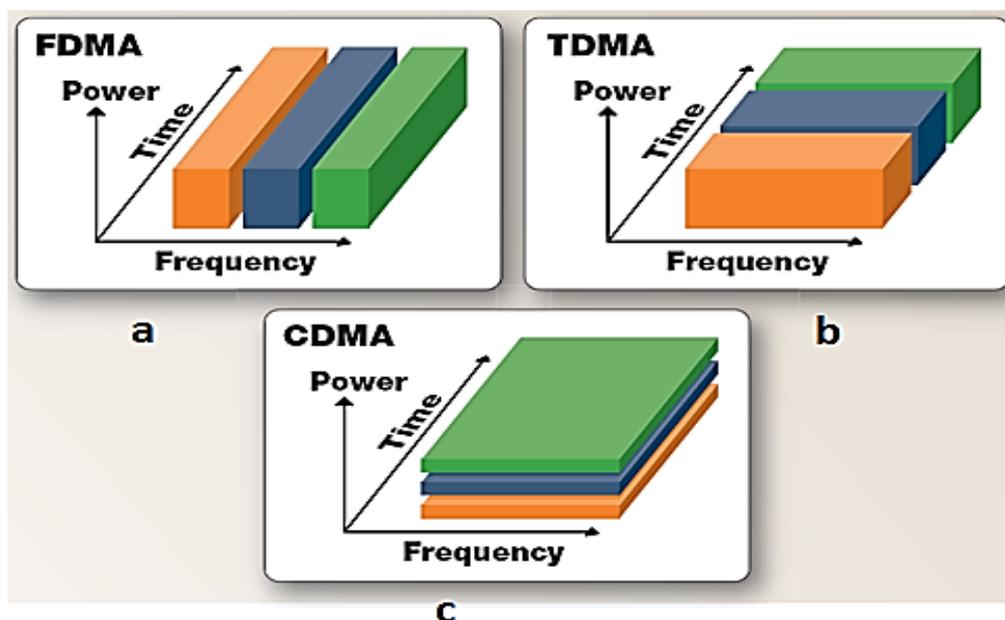


Figure 1.1 : Méthodes d'accès multiples [2].

2.4 W-CDMA:

Il s'agit de la même technique que CDMA, en utilisant des canaux large de 5 Mhz en UMTS. Le protocole WCDMA se base principalement sur le processus d'étalement du spectre à séquence directe DS-SS-SSA. Dans ce type d'étalement de spectre, le signal d'information est directement modulé par une séquence ou code appelé « code d'étalement ».

La figure 1.2 montre les principaux éléments d'un émetteur DS-SS-SSA. Parmi ces éléments, on trouve principalement un générateur de codes d'étalement et un « multiplicateur ». Le code généré constitue une séquence de longueur fixe dont chaque élément constitue un « chip ».

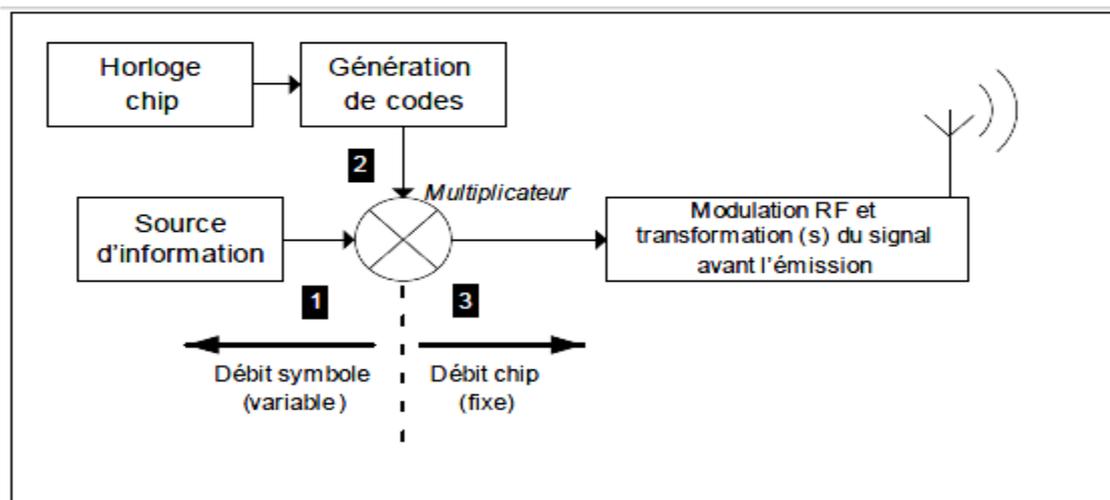


Figure 1.2 : Etalement à séquence directe DS-SS-SSS.

Finalement, le signal subit une modulation en fréquence et il est mis sur une fréquence porteuse avant d'être envoyé. Au niveau de la réception, il suffit de reprendre la chaîne dans l'ordre inverse, notamment en démodulant dans un premier temps le signal reçu, pour ensuite le multiplier par le même code d'étalement utilisé lors de l'émission. À la suite de cette multiplication, nous obtiendrons le message d'information « désétalé ».

2.5 OFDMA:

Dans la technique OFDMA, l'ensemble des sous porteuses d'un symbole OFDM [3] est divisé en sous-ensembles de fréquences, ces derniers peuvent être affectés à différents utilisateurs. L'OFDMA apporte une nouvelle dimension lors de l'allocation des ressources : il faut affecter les différentes fréquences aux utilisateurs pendant un même *time slot*.

Durant un même *slot*, plusieurs utilisateurs peuvent occuper des fréquences différentes et ces mêmes fréquences peuvent être assignées aux mêmes utilisateurs durant les prochains *slots* en fonction de leurs besoins. Ces fréquences sont espacées par les canaux de garde ce qui annule les interférences entre les utilisateurs ou intra cellule. Pour des applications fixes ou nomades où les canaux ne varient que faiblement, l'avantage indiscutable de l'OFDMA sur les autres méthodes à accès multiple est sa capacité d'exploiter la niche des terminaux utilisateurs embarqués. La technique OFDMA est la base du réseau sans fil IEEE 802.16e (WiMAX) comme défini dans le standard [4]. *{Plus de détails voir le 2^{ème} chapitre}*.

2.6 Codages et modulations adaptatifs :

Dans les réseaux mobiles, la qualité d'un signal reçu par un terminal dépend de plusieurs facteurs, comme la distance entre la station de base ou la perte de propagation due aux obstacles ou aux trajets multiples. Dans le but d'améliorer la performance d'un système, en termes de débit de données et de fiabilité de la couverture radio, le signal transmis vers et par un utilisateur particulier est modifié de façon à prendre en compte les variations de la qualité du signal à travers un processus connu sous le nom d' «adaptation au lien radio» (*link adaptation*), connu également sous le nom de «AMC».

Une des techniques majeures introduites dans le WCDMA est le contrôle de puissance. L'idée est d'augmenter la puissance de transmission quand la qualité du signal reçu est faible et de la diminuer quand la qualité du signal en réception atteint un seuil donné.

Ceci permet une communication fiable entre l'émetteur et le récepteur. Ainsi la technique de contrôle de puissance réduit les interférences intra et inter-cellules causées par une puissance de transmission trop importante, la capacité du système est ainsi augmentée. Une technique alternative au contrôle de puissance en faisant face aux effets variables du canal dans le temps est de compenser les évanouissements. Au lieu de garder une qualité de signal constante au niveau du récepteur, on peut changer la modulation et le code du signal transmis de telle façon que le plus d'informations soit transmis lorsque l'état du canal est bon et le moins possible lorsque le canal est détérioré. Cette technique est l'AMC comparé à la technique conventionnelle de contrôle de puissance, l'AMC apporte une capacité beaucoup plus élevée pour les systèmes radio à transmission de paquets comme HSPA et WiMAX.

Un autre avantage de l'AMC est que la puissance d'émission est fixe pendant toute la durée de la trame, ainsi les interférences provenant des autres utilisateurs sont significativement réduites. En plus de la modulation de base de la technique WCDMA, des nouvelles modulations sont proposées dans les *Release 5, 6 et 7* [5], la modulation 16-QAM et la modulation 64-QAM pour la technique HSPA. Telles qu'illustrés par la figure 1.3 [5].

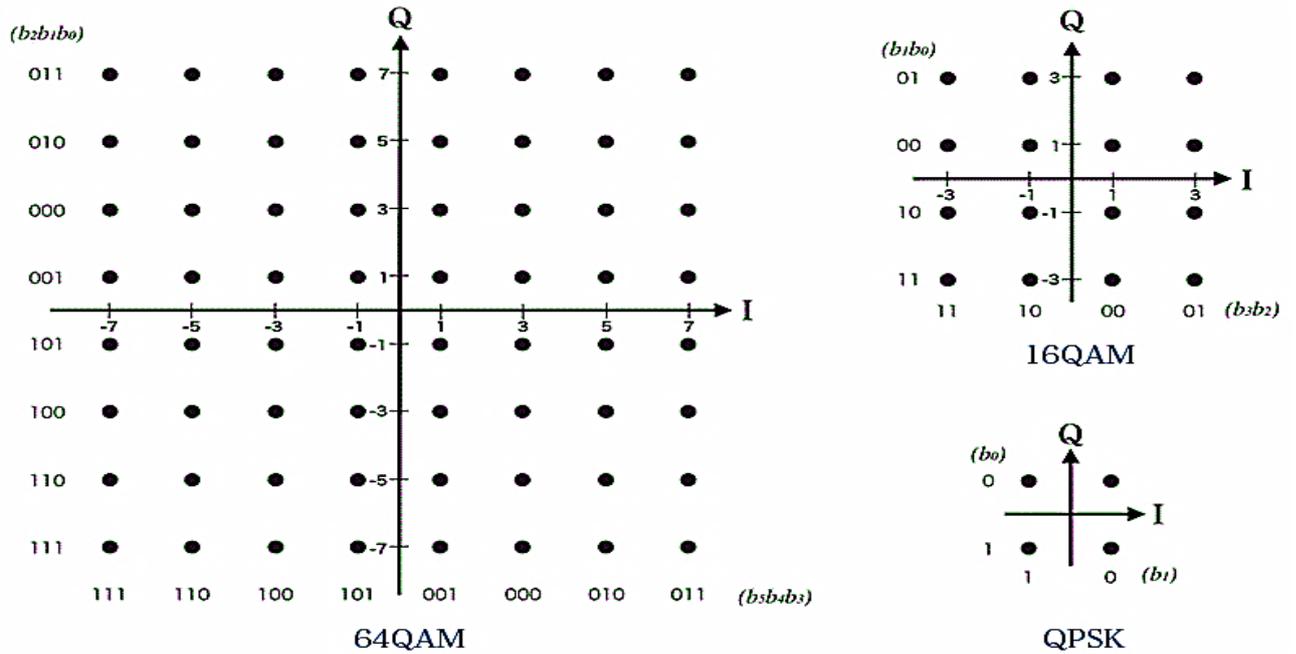


Figure 1.3 : Points de constellation pour QPSK, 16-QAM et 64-QAM utilisées par la LTE.

Selon le nombre de codes parallèles pouvant être supporté par le terminal, nous obtenons plusieurs classes de terminaux HSPA avec un total de 12 catégories. Ces catégories permettent d'avoir des débits pics allant de 0.9 à 14.4 Mbits/s. En outre, ce même principe de schéma de modulation a été adopté par le standard du réseau WiMAX (IEEE 802.16e), comme le montre le tableau 1.1.

Modulation	Taux de codage	Bit/symbole	SNR (dB)
64-QAM	3/4	4.5	24.4
64-QAM	1/2	4	22.7
16QAM	3/4	3	18.2
16QAM	1/2	2	16.4
QPSK	3/4	1.5	11.2
QPSK	1/2	1	9.4
BPSK	1/2	0.5	6.4

Tableau 1.1 : Modulations et taux de codages adaptatifs sur le IEEE 802.16 e

3. Les systèmes de communications mobiles étudiés

Évolution des standards de communication

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle [6].

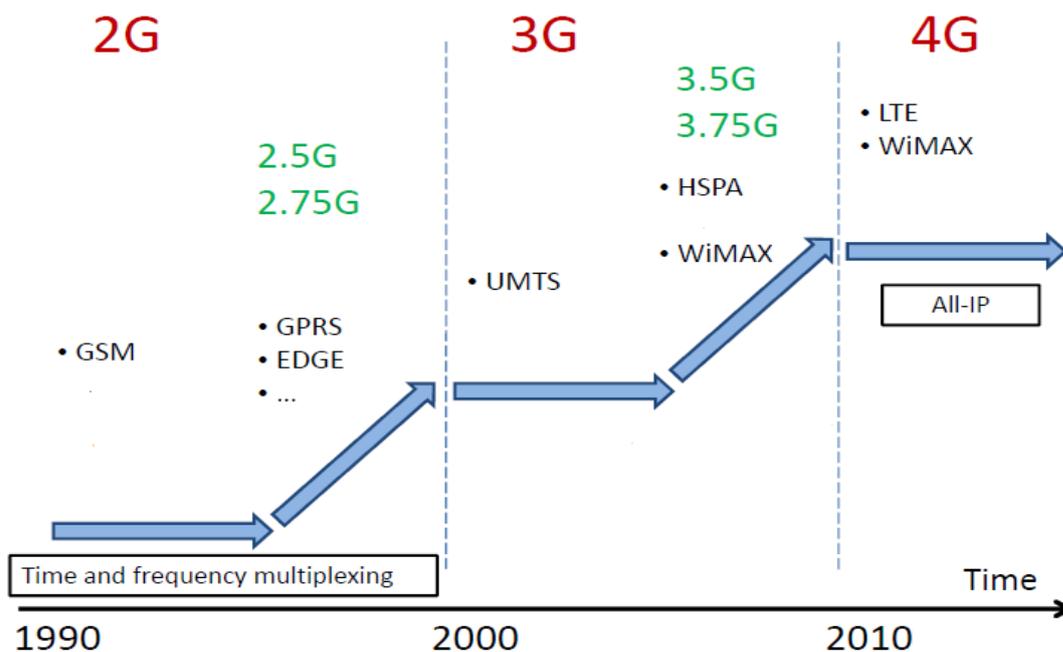


Figure 1.4 : Evolution des réseaux sans fil.

3.1 La première génération des téléphones mobiles (1G) :

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur).

3.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G) :

Le GSM est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des messages (SMS, limités à 160 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

3.2.1 Le réseau GSM :

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. La figure 1.5 présente du réseau GSM.

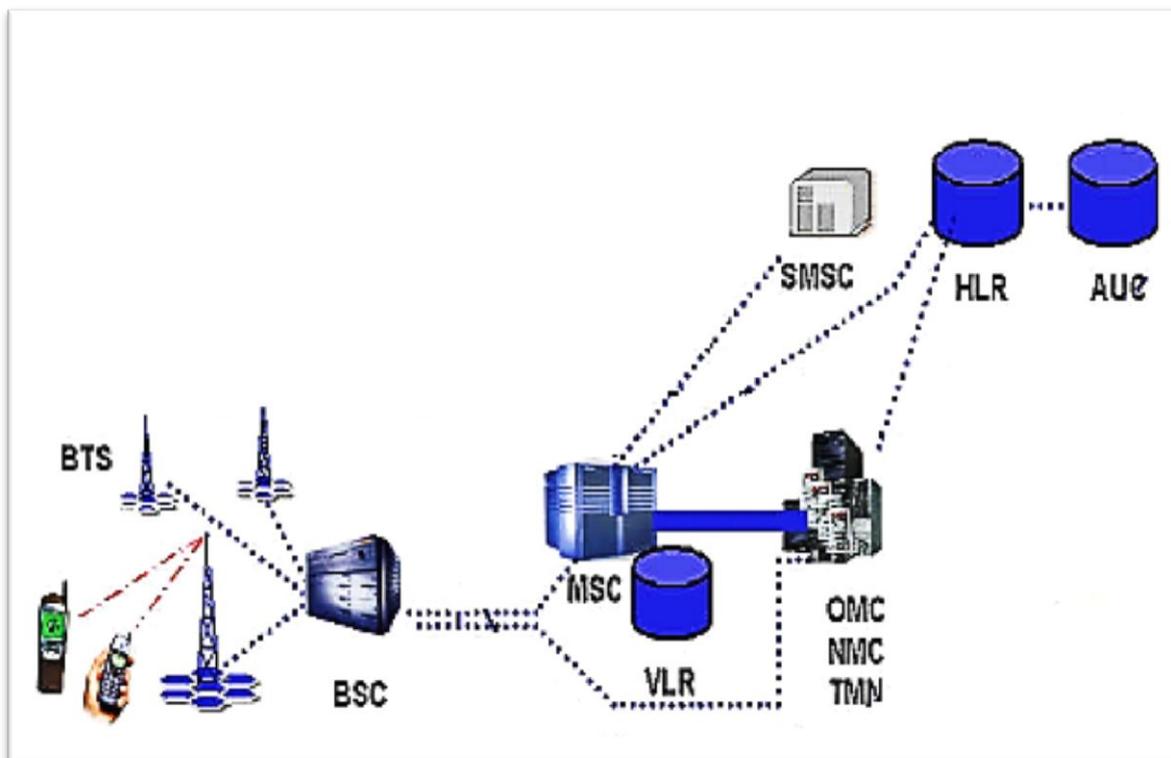


Figure 1.5 : Architecture du réseau GSM [7].

Ainsi le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

A. Le sous-système radio : BSS

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

B. 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 RTC 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 :

❖ Fonctions du HLR :

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d'exploitation. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs.

Une base de données qui conserve des données statiques sur l'abonné et qui administre des données dynamiques sur le comportement de l'abonné.

Les informations sont ensuite exploitées par l'OMC. L'AuC est une base de données associée au HLR.

❖ Fonctions du VLR :

L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC. Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné visiteur.

❖ Fonction du MSC :

Les MSC sont des commutateurs de mobiles généralement associés aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Et il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover si le MSC concerné est impliqué. (Le handover est un mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion d'une BTS vers une autre (handover inter BTS) ou, sur la même BTS d'un canal radio vers un autre (handover intra BTS). On parle de transfert automatique inter/intra cellule.

Un couple MSC/VLR gère généralement une centaine de milliers d'abonnés. Les commutateurs MSC sont souvent des commutateurs de transit des réseaux téléphoniques fixes sur lesquels ont été implantés des fonctionnalités spécifiques au réseau GSM.

❖ Fonctions de l'AuC :

Le centre d'authentification AuC mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AuC de chaque

abonné est associé au HLR. Pour autant le HLR fait partie du « sous-système fixe » alors que l'AuC est attaché au « sous-système d'exploitation et de maintenance ».

3.2.2 Le réseau GPRS (2.5G) :

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont but est de conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type "Data" à ses clients. Le GPRS est en mode paquets. La figure 1.6 présente l'architecture du réseau GPRS.

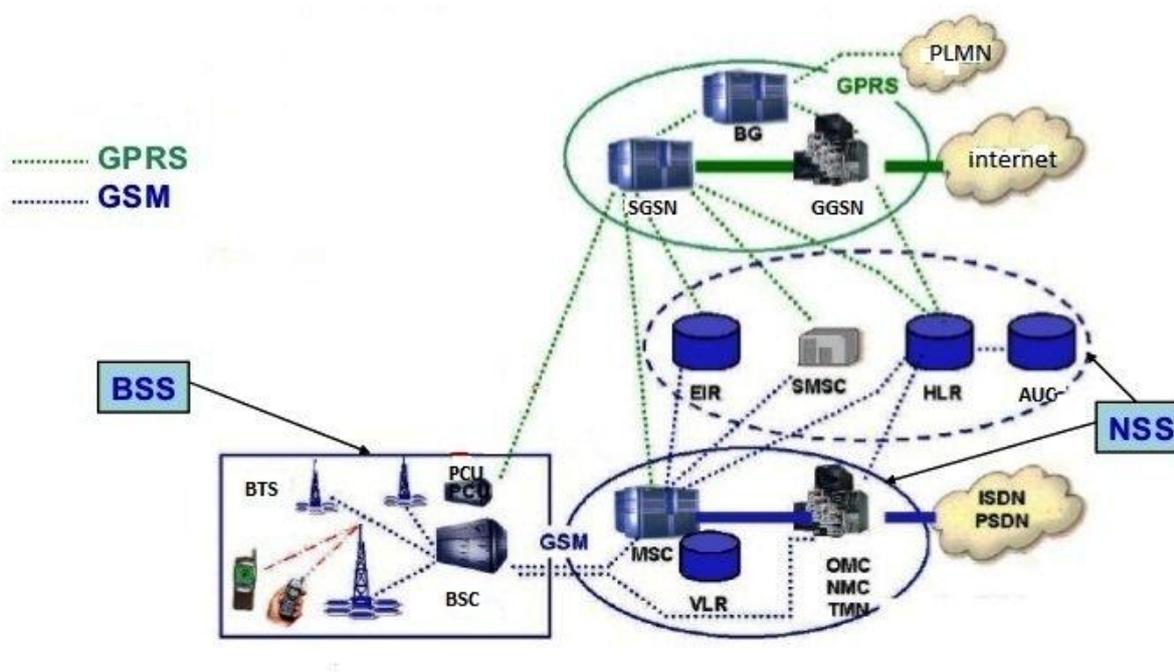


Figure 1.6 : Architecture du réseau GPRS [7].

Un réseau GPRS est un réseau IP. Qui est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

A. Le nœud de service (SGSN) :

Le nœud de service dénommé SGSN est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio: BTS, BSC, HLR ... ; Le SGSN joue un rôle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans

une zone donnée. Le SGSN est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

B. Le nœud de passerelle (GGSN) :

Le nœud de passerelle dans le GPRS dénommé GGSN est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS...). Le GGSN est un routeur qui permet de gérer les transmissions de paquets de données :

- Paquets entrants d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire.
- Paquets sortants vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau

C. Le module BG pour la sécurité :

Les recommandations introduisent le concept de BG qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux. Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (par exemple entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents).

D. Les équipements GSM utilisés :

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les éléments du réseau GSM :

- Les BTS et BSC permettent de couvrir un territoire national pour localiser les terminaux.
- Le MSC et le VLR permettent également de gérer les problématiques d'itinérance des abonnés sur les réseaux GSM et GPRS.
- Le SMSC et le GMSC permettent la communication interne au réseau par l'envoi de messages courts à destination du terminal GPRS.
- Le HLR permet de gérer les problématiques liées à la localisation des individus (en mode GPRS, fournir une carte de la ville où se trouve l'abonné).
- L'EIR permet de gérer les problématiques liées au terminal visé.

Le réseau GPRS est totalement dépendant du bon fonctionnement des infrastructures du réseau GSM.

Le réseau GSM constitue donc en effet une base pour la mise en place du réseau GPRS.

Le tableau 1.2 se compose de deux parties : la première partie présente les entités utilisées dans les deux réseaux GSM et GPRS et la deuxième partie présente les nouvelles entités ajoutées au réseau GSM ainsi de constituer le réseau GPRS.

Entités GSM/GPRS	Logiciel	Matériel
BTS	Extension requise	Aucun changement
BSC	Extension requise	Interface PCU
MSC/VLR	Extension requise	Aucun changement
HLR	Extension requise	Aucun changement
Nouvelles entités		
MS		Mobile station
SGSN		Serving GPRS Support Node
GGSN		Gateway GPRS Support Node
CGF		Charging Gateway Function
OMC-G		Operations And Maintenance Centre GPRS

Tableau 1.2: Evolution du GSM au GPRS.

L'ensemble des éléments GSM et GPRS sont associés pour fournir un service GPRS. Deux protocoles sont alors utilisés :

- Le traditionnel protocole IP qui assure une ouverture vers les terminaux fixes extérieurs au réseau.
- Le protocole SS7 (Signal Sémaphore 7) qui est un protocole interne au réseau GPRS.

3.3 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS) :

L'UMTS est un réseau mobile de troisième génération capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur en terme de services à valeur ajoutée, tels que l'accès Internet à haute vitesse, le téléchargement de fichiers (audio et vidéo) ou alors la visiophonie.

L'UMTS se base principalement sur la technique d'accès multiple large bande WCDMA. Le système universel UMTS a été choisi dans le but de faire une distinction avec les systèmes de première et de deuxième génération qui sont considérés comme des systèmes axés principalement sur le service de la voix.

3.3.1 Classes de services et QoS définies par l'UMTS :

Le 3GPP [8] a défini les classes de services que l'UMTS peut offrir et qui dépendent de la QoS désirée par l'utilisateur. La qualité de service est généralement définie par les critères suivants:

- délai : temps écoulé entre l'envoi d'un paquet par un émetteur et sa réception par le destinataire. Le délai comprend les délais de propagation, de transmission, de traitement et d'attente dans les systèmes intermédiaires ;
- gigue sur le délai : variation du délai de deux paquets consécutifs ;

- bande passante minimum : taux de transfert minimum pouvant être maintenu entre deux points terminaux ;
- fiabilité : taux moyen d'erreurs d'une liaison.

3.3.2 Architecture du réseau UMTS :

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau GPRS.

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia.

Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet. La figure 1.7 présente l'architecture du réseau UMTS.

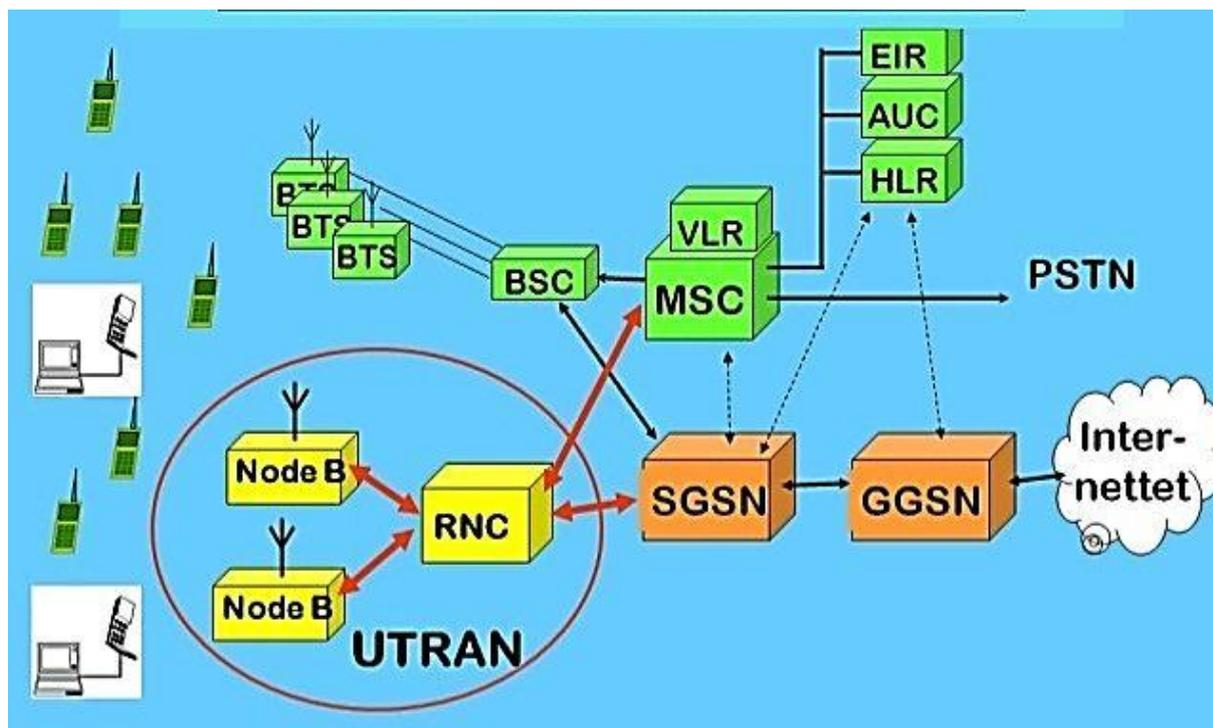


Figure 1.7: Architecture du réseau UMTS [7].

A. Les fréquences de l'UMTS :

Les fréquences allouées pour l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

L'UIT a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35MHz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz).

- Duplex fréquentiel FDD 1920 à 1980 MHz (uplink bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz).
- Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (downlink de 30 MHz). La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

B. Le débit de l'UMTS :

L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbit/s, mais fin 2004 les débits offerts par les opérateurs dépassent rarement 384 Kbit/s. Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 kbit/seconde.

Le débit est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de

L'utilisateur :

- En zone rurale : 144 kbit/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.) ;
- En zone urbaine : 384 kbit/s pour une utilisation piétonne.
- En zone bâtiment : 2000 kbit/s depuis un point fixe.

Grâce à son débit, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux.

L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo.

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande, Télévision.

4. Présentation de IEEE 802.16e (WiMAX) :

Le Wimax est une technologie principalement utilisé pour les MAN. Il permet, notamment, aux zones rurales de se doter d'une connexion internet haut débit. L'objectif du WiMAX est de fournir une connexion internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres de rayon. Les débits théoriques du WiMAX sont de 70 Mbits/s avec une portée de 50 kilomètres. En pratique dans le pire des cas, c'est-à-dire en NLOS le débit atteint 12 Mbits/s jusqu'à 4,5 kilomètres.

Le WiMAX fonctionne en mode point-multipoint, c'est-à-dire le mode infrastructure que l'on connaît pour le Wifi ou encore le même fonctionnement que les technologies 2G, 3G de téléphonie mobile. Ainsi comme en 2G une station de base nommée BTS ou BS émet vers les clients et réceptionne leurs requêtes puis les transmet vers le réseau du fournisseur d'accès [8].

Plusieurs variantes de standard ont été proposées, modifiées et ratifiées comme le résume le tableau 1.3.

Standard IEEE802.16	Bande de fréquence (BF)	Date
IEEE std 802.16	réseaux métropolitains sans fil BF supérieur à 10 GHz.	octobre 2002 Obsolète
IEEE std 802.16a	réseaux métropolitains sans fil BF comprise entre 2 et 11 GHz.	octobre 2003 Obsolète
IEEE 802.16b	réseaux métropolitains sans fil BF comprise entre 10 et 60GHz.	fusionné avec 802.16a
IEEE std 802.16c	réseaux métropolitains sans fil dans les bandes BF libres.	juillet 2003
IEEE 802.16d (IEEE std 802.16-2004)	révision intégrant les standards 802.16, 802.16a et 802.16c	octobre 2004
IEEE std 802.16e	réseaux métropolitains sans fil avec des clients mobiles.	février 2006
IEEE std 802.16f	réseaux sans fil maillés (mesh network).	

Tableau 1.3 : *Historique du standard IEEE802.16*

4.1 Classes de services et QoS définies par le standard IEEE802.16 :

Les services d'ordonnancement consistent en les mécanismes supportés par la couche MAC (*Medium Access Control layer*) pour le transport de données. Chaque connexion est associée à une unique classe de service. Ces classes de service impliquent un ensemble particulier de paramètres définissant la QoS associée à la connexion [4].

5. Conclusion :

Les réseaux de prochaine génération orientent la planification des réseaux cellulaires vers des nouvelles avenues de recherche.

En effet, les tendances portent de plus en plus vers une intégration transparente des technologies sans fil existantes, comme les systèmes GSM, LAN, en un environnement totalement hétérogène. Cette nouvelle vague de pensée distingue la 4^{ème} génération des générations précédentes, où seul primait le besoin de développement de nouvelles normes et de nouveaux standards.

Les systèmes 4G sont complètement orientés vers l'utilisateur final, en fournissant des services variés à haut débit et sans coupure à travers les réseaux.

La 4G constitue la quatrième génération des technologies de téléphonie mobile. Elle repose sur la nouvelle norme « **LTE** » ou Long Terme Evolution, et succède directement à la technologie 3G et à la 3G+, qui se fondaient quant à elles sur les normes UMTS et HSDPA.

Chapitre 2:

Description de la LTE

Chapitre 2 :

Description de la LTE

1. Introduction :

L'évolution et la progression technologiques ont connu un sommet avec la création d'Internet et sa propagation à travers les quatre coins du monde. Ce dernier joue un rôle efficace dans la distribution et le partage rapide et gratuit de l'information, toutefois, on remarque une lacune dans le mode des communications à grande échelle.

Les téléphones cellulaires sont en progression constante. Ils sont utilisés non seulement pour les communications vocales, mais également, grâce aux avancées technologiques, pour la partie vision comme dans (3G, 4G), dans le partage d'applications et même comme modems sans fil ou navigateurs web.

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

2. Généralités sur la norme LTE :

La technologie LTE s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle 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,

Le LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (un débit de 100 Mb/s et une latence de 10 ms) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA 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 [8].

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants :

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

3. Définition des réseaux LTE :

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux.

Ces fréquences sont destinées au déploiement de réseaux mobiles à très haut débit, pour apporter au consommateur une capacité et une qualité de services supérieures aux offres actuelles d'internet mobile. La technologie LTE « Long Term Evolution » offre aux utilisateurs des débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G et 3G+ actuellement déployées, ainsi que des latences plus faibles favorisant une meilleure interactivité.

Avec le 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations. Voix et données par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet.

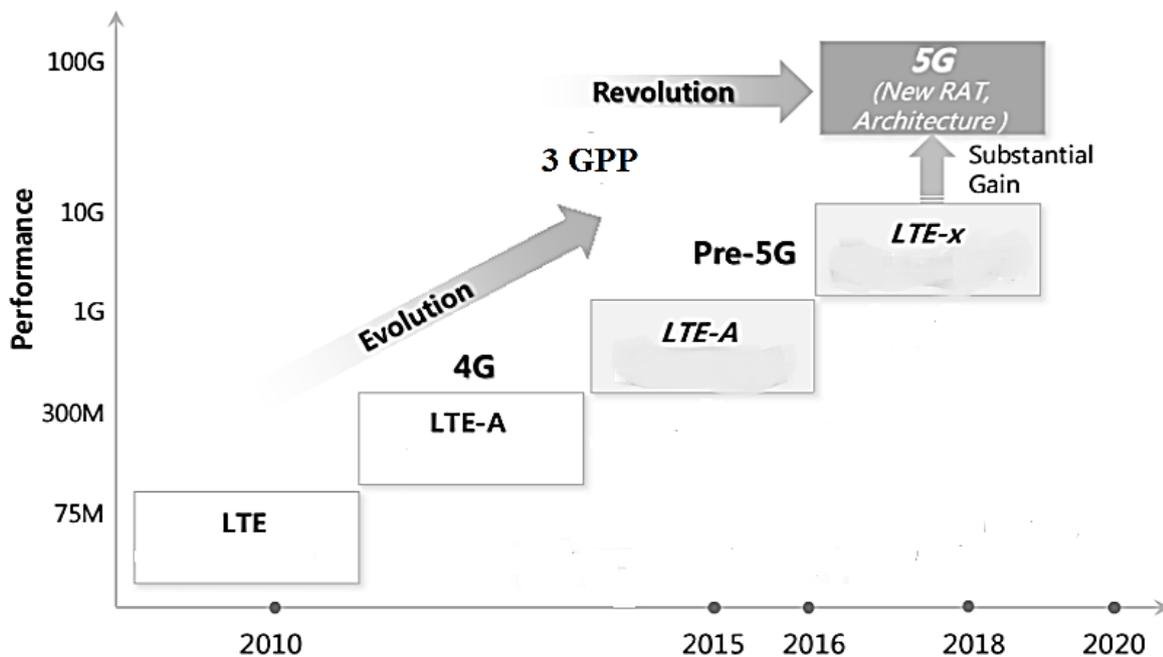


Figure 2.1 : Evolution de réseau LTE. [9]

Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias.

Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.

Selon les critères de l'UIT, qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, le vrai 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire.

De plus la norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, [10] comme le résume le tableau suivant :

	LTE		LTE-advanced
Débits crêtes maximum	DownLink	300 Mb/s	1 Gb/s
	UpLink	75 Mb/s	500 Mb/s
Bande de fréquence		1.4 à 20 MHz	100 MHz
Latence	Données	10 ms	100 ms (RTT)
	Session	100 ms	50 ms
Efficacité spectrale DL/UL	Max	5.0/2.5 b/s/Hz	30/15 b/s/Hz
	Moyen	1.8/0.8 b/s/Hz	2.6/0.2 b/s/Hz
	En limite	0.04/0.02 b/s/ Hz	0.009/0.07 b/s/Hz

Tableau 2.1 : Différents Paramètres du LTE-Advanced.

La 4G est la quatrième génération de réseau mobile. Elle est la norme succédant à la 3G ;

Pour résumer, la 4G c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme.

4. Architecture du réseau LTE

Le standard LTE s'accompagne d'une nouvelle conception de l'Access et du Core Network. Le nombre de nœuds de réseau et d'interfaces a été réduit pour simplifier l'architecture.

De plus, pour les opérateurs LTE, les stations de base qui se configurent elle-même sont très avantageuses car elles permettent une exploitation et un entretien à moindres coûts [11].

L'architecture de réseau LTE est également désignée par l'expression (EPS) :

L'EPS est répartie entre le réseau d'accès radio EUTRAN et le réseau central EPC.

Dans l'EUTRAN, les terminaux mobiles sont appelés UE. Le fonctionnement des stations de base a été défini à partir de l'architecture de réseau UMTS. C'est pourquoi elles portent la même désignation que pour l'UMTS, eNode-B. Dans l'architecture de réseau LTE, les stations de base sont reliées aux autres stations de base voisines via l'interface X2, ainsi qu'au réseau central. L'interface X2 entre les stations de base permet une communication rapide entre les cellules LTE. L'architecture générale est présentée dans la figure 2.2

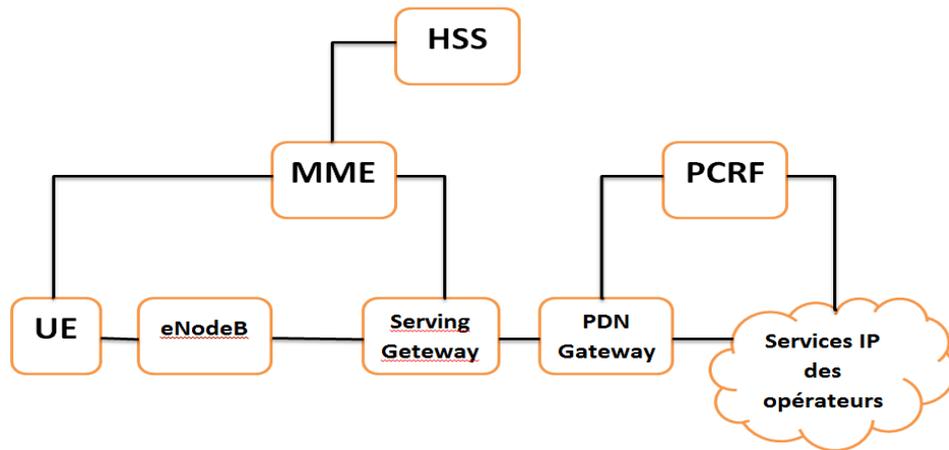


Figure 2.2 : Architecture générale du réseau LTE.

L'EPC est entièrement orienté sur un pack et utilise ainsi l'IP comme support de transport. La MME sert à la connexion des utilisateurs sur le réseau ainsi qu'à leur localisation sur le réseau LTE. Pour cela, la MME accède au HSS. Si le terminal est doté d'une carte SIM valide, le compte du participant est affecté à une SGW. De là, une connexion s'établit avec la PDN-GW, qui attribue une adresse IP au terminal et établit à son tour une connexion avec le réseau IP de l'opérateur. L'EPC comporte également la PCRF. Elle assure la facturation de l'utilisateur et lui affecte les caractéristiques et tarifs convenus contractuellement.

Une connexion à haut débit des stations de base à l'EPC est requise pour répondre au doublement annuel du trafic de données sur le réseau de communication mobile.

A cette fin, la fibre optique est principalement utilisée ou (sur les sites non raccordés ou trop éloignés) des faisceaux hertziens dédiés sont mis en place. Une station de base LTE omnidirectionnelle avec trois secteurs à 120° requiert une bande passante d'environ 240 Mbit/s, soit bien plus que ce qui avait été estimé comme suffisant pour le GSM ou l'UMTS. Cela montre que même sur le réseau mobile, la fibre optique se rapproche toujours plus des sites émetteurs et des utilisateurs

5. Amélioration de la LTE (Release 8) :

- Meilleure couverture, capacité, latence, vitesse de transmission.
- Largeur de bande jusqu'à 100 MHz.
- Antennes intelligentes.
- Nouvelles fonctionnalités avancées.

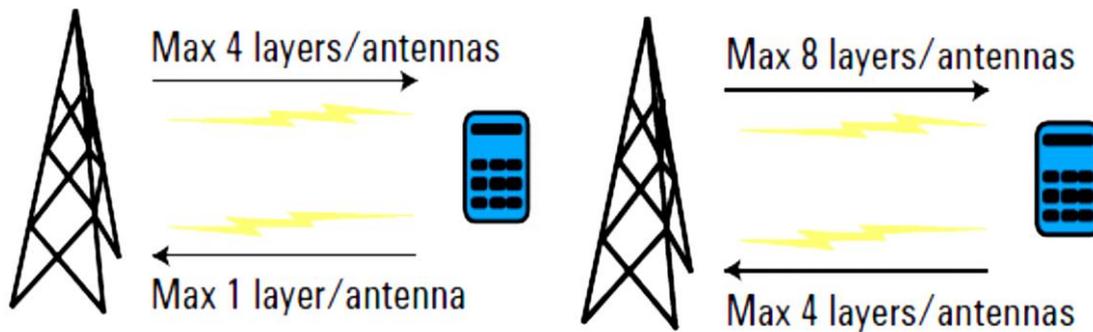


Figure 2.3 : amélioration de la LTE

5.1 La capacité de la 4G :

Le LTE a été pour la première fois discuté au 3GPP, les prévisions de trafic indiquaient déjà clairement que les besoins de capacité augmenteraient significativement. On constate a posteriori que cette anticipation s'est vérifiée. Une raison majeure ayant motivé l'introduction du LTE est par conséquent le besoin d'accroître la capacité des réseaux mobile [10].

5.2 Débit sur l'interface radio :

La technologie LTE offre un débit de 100 Mbit/s pour le flux descendant et de 50 Mbit/s pour le flux montant. Pour ce qui est de l'interface radio E-UTRAN, elle doit avoir la possibilité de supporter un débit maximum. L'allocation d'une bande passante 20 MHz supporte un débit de 100 Mbit/s pour le sens descendant et de 50 Mbit/s pour le sens montant.

5.3 Mobilité :

Avec le facteur de la mobilité, la technologie assure le bon fonctionnement à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h où le « handover ». LTE ne permet que le « hard handover » et non pas le « soft handover » dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.

5.4 Flexibilité dans l'usage de la bande :

La LTE permet l'utilisation d'une bande variée, avec les possibilités suivantes : 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20MHz, pour les sens descendant et montant. Ce choix permet à l'opérateur un déploiement flexible selon les services proposés et besoins des clients.

5.5 Délai pour la transmission de données :

On estime une valeur moyenne du délai de 25 ms en situation de charge moyenne de l'interface radio (permet de supporter les services temps réel IP : voix sur IP et streaming sur IP). Or, quand un

seul terminal est actif sur l'interface radio (situation de non-charge) moins de 5 ms suffisent pour transmettre des données entre l'UE et l'Access Gateway.

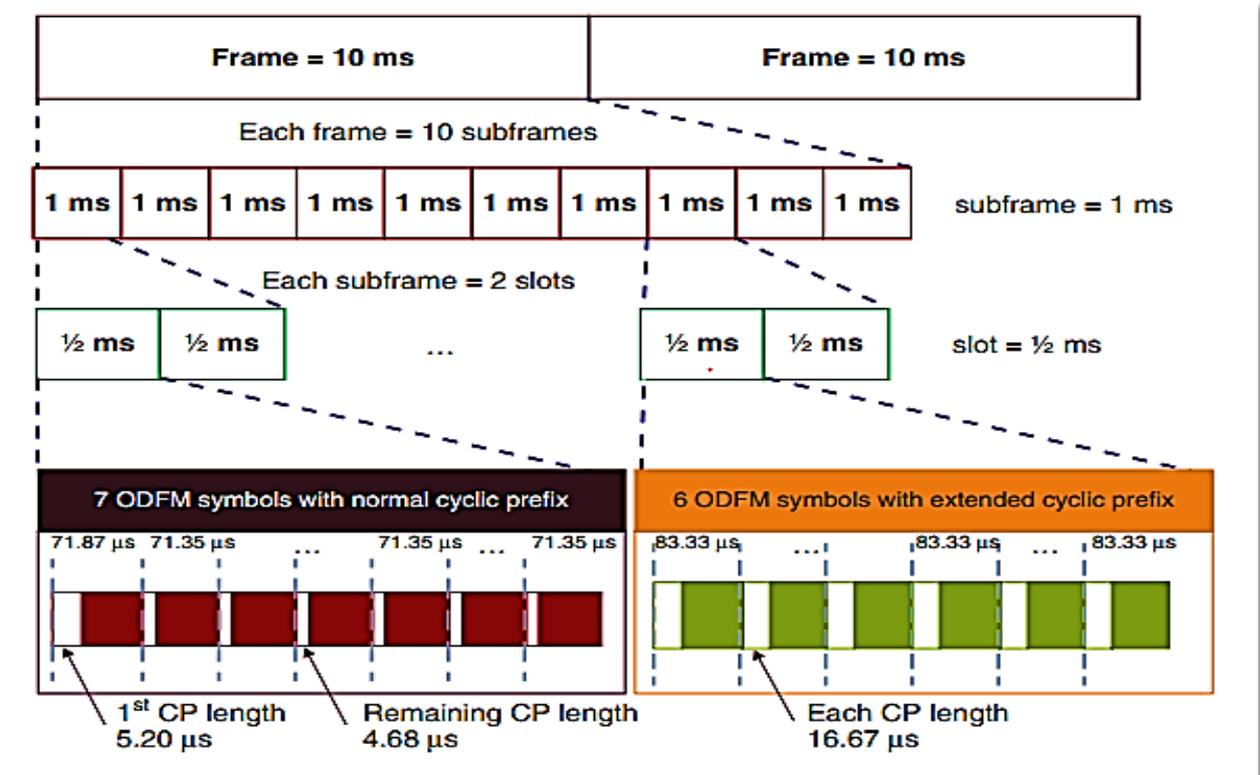


Figure 2.4: Structure générique de trame LTE [12]

6. La couche physique :

La Couche Physique est chargée de la transmission effective des signaux, elle est constituée d'équipements supportant les technologies OFDMA et SC-FDMA [12]

6.1 OFDM :

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

Le principe de l'OFDM consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (des émetteurs, par exemple) indépendants et à des fréquences différentes.

6.1.1 Génération conceptuelle d'un signal OFDM :

Le principe est de grouper des données numériques par paquets de N , qu'on appellera symbole OFDM et de moduler par chaque donnée une porteuse différente en même temps.

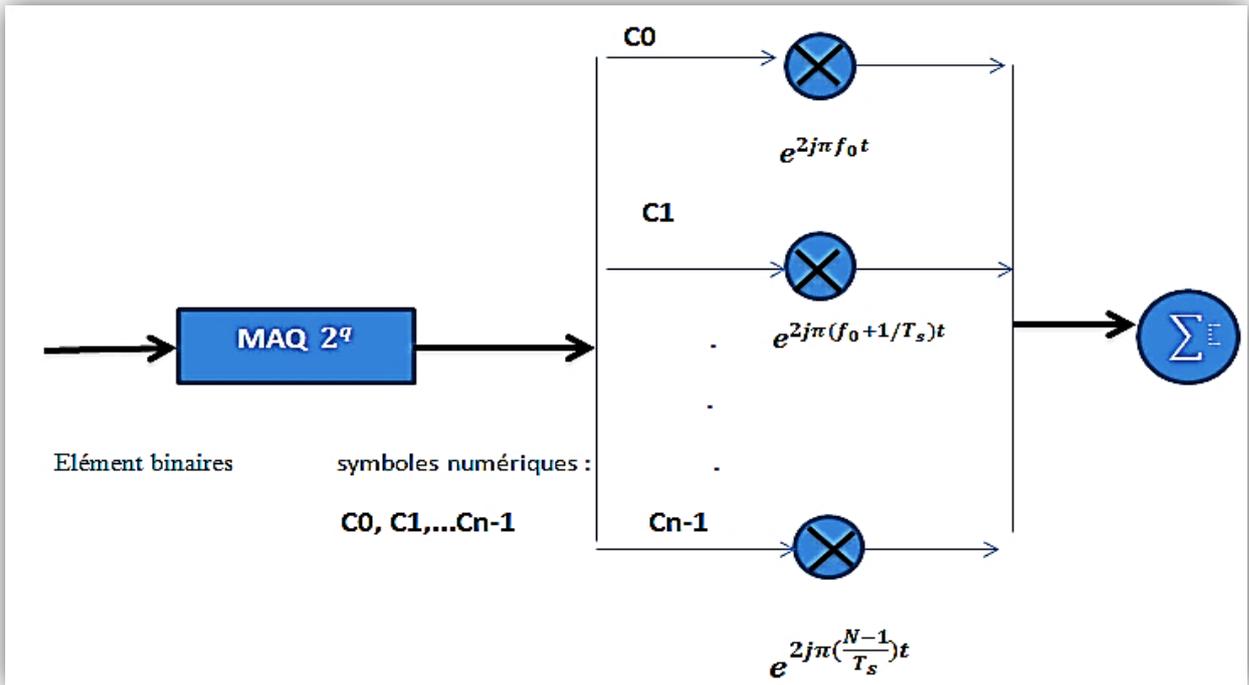


Figure 2.5 : Schéma de principe d'un modulateur OFDM.

Considérons :

- Une séquence de N données C_0, C_1, \dots, C_{N-1}
- T_s la durée symbole.
- f_k la fréquence du signal.

Le signal individuel est donc sous la forme complexe :

$$C_k e^{2j\pi f_k t} \quad (2.1)$$

Par suite le signal total émis :

$$S(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi f_k t} \quad (2.2)$$

Les données numériques C_k sont des nombres complexes définis à partir d'éléments binaires par une constellation de modulation d'amplitude en quadrature MAQ à plusieurs états (4, 16, 64). Ces données sont des symboles q-aires formés par groupement de q bits. {Voir le 1^{er} chapitre}.

6.1.2 Génération pratique d'un signal OFDM :

Un signal OFDM est généré en utilisant l'IFFT. Le signal modulé en bande de base $s(t)$ est discrétisé :

$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}} \quad (2.3)$$

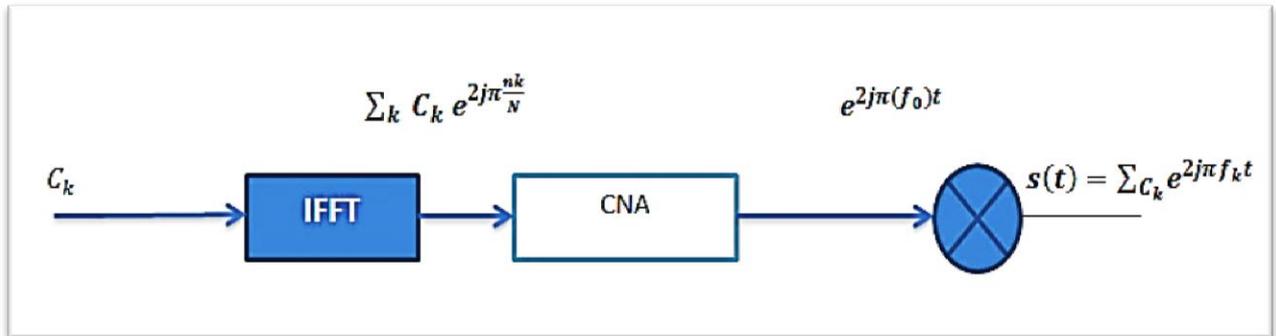


Figure 2.6 : Schéma de modulation OFDM

Si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$, donc le multiplexage est orthogonal. Dans ce cas,

Pour

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \quad (2.4)$$

On a :

$$S(t) = e^{2j\pi t f_0} \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \quad (2.5)$$

6.1.3 La condition d'orthogonalité :

❖ Première condition d'orthogonalité :

Le spectre d'une sous-porteuse, modulant une donnée pendant une fenêtre de temps T_s est la transformée de Fourier de cette fenêtre.

❖ Deuxième condition d'orthogonalité :

Le spectre du signal OFDM est la somme des spectres de chacune des sous-porteuses.

6.2 OFDMA

6.2.1 Principes de l'OFDMA

OFDMA est une technique qui dérive de l'OFDM en utilisant le même principe de division de la bande passante en plusieurs sous-porteuses.

La différence entre l'OFDM et l'OFDMA c'est que la première servira un usager dans un intervalle de temps, par contre OFDMA peut servir plusieurs usagers dans un même intervalle de temps, comme il est montré dans la figure 2.7.

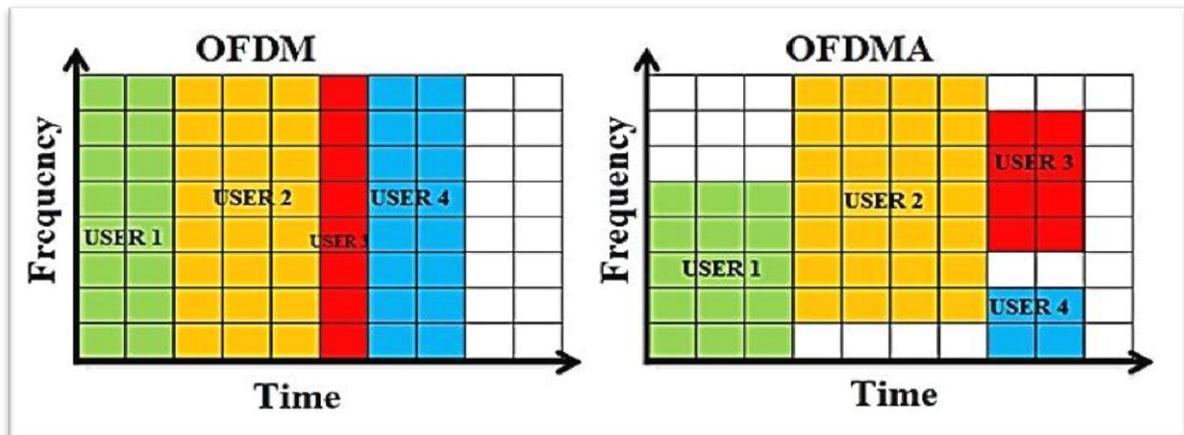


Figure 2.7 : Comparaison entre L'OFDM et L'OFDMA.

6.2.2 Avantages de fonctionnement:

- **Multipath** : Un Temps Symbole important rend le signal plus résistant au Multipath. Les intervalles de garde limitent les interférences inter-symboles dues au Multipath [12].
- **Efficacité spectrale** : Efficacité spectrale élevée due à l'orthogonalité quasi-totale des sous-porteuses, autorisant une fine séparation fréquentielle entre-elles.
- **Réception** : Grande simplicité de la réception : simple implémentation de FFT au niveau de l'UE. Aucun système d'annulation des interférences intracellulaires n'est nécessaire (pas d'égaliseur).

6.2.3 Inconvénients de l'utilisation:

- **Le PAPR** : est élevé, ce qui limite l'efficacité des Power Amplifiers des mobiles.
- **Sensibilité au décalage fréquentiel** : Le décalage fréquentiel rompt l'orthogonalité des sous-porteuses et cause des interférences inter-porteuses (ICI), ce qui dégrade fortement les performances du réseau.

6.2.4 Les PRB :

Les utilisateurs se voient attribuer un nombre précis de sous-porteuses pour un time slot prédéterminé, appelées dans les spécifications LTE les blocs de ressources physiques PRBs.

Les PRBs ont chacun une dimension temps et fréquence, et leur répartition est gérée par une fonction de planification à la station de base 3GPP (eNodeB). Chaque PRB est composé de 12 sous-porteuses avec 6 ou 7 symboles OFDM selon le préfixe cyclique utilisé.

✓ Préfixe cyclique :

Pour éviter ces interférences et absorber ce retard, le symbole OFDM est allongé avec un préfixe cyclique plus grand que le plus grand des retards apparaissant dans le canal. L'introduction d'un préfixe cyclique permet de lutter contre les Interférences Inter Symboles (ISI) [9].

Deux tailles de CP sont permises :

- Un court ou normal (5,21µs/4,69µs)
- Un long (16,67µs)

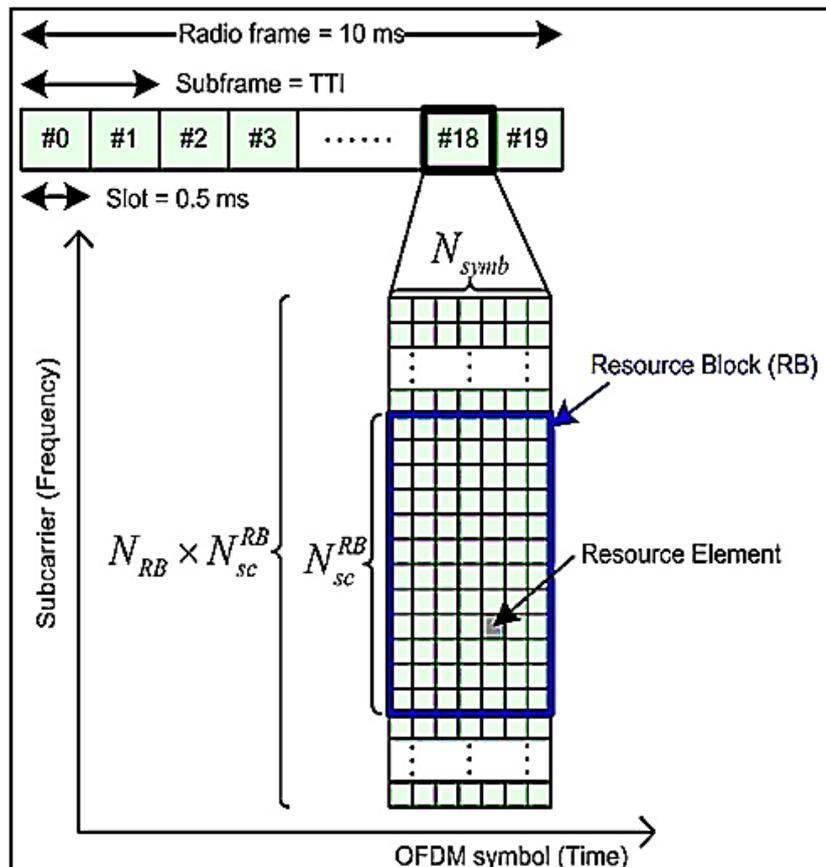


Figure 2.8: PRB

6.3 SC-FDMA :

SC-FDMA est bien adapté aux exigences de LTE en uplink (dans le sens : terminal vers station de base). Il offre des performances et une complexité globale similaire à l'OFDMA mais utilise en

revanche une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse. Elle est aussi caractérisée par son facteur de critère PAPR plus faible que celle du OFDMA.

✓ **Principe de modulation :**

La chaîne de transmission de SC-OFDMA est la suivante

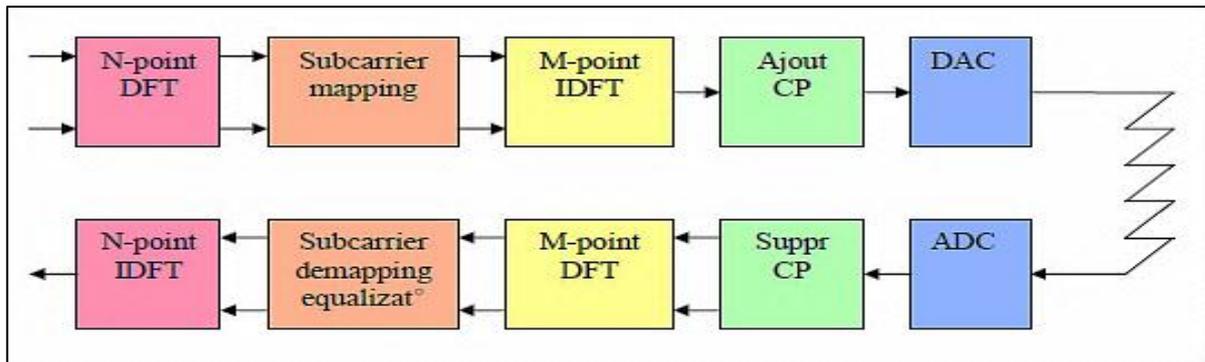


Figure 2.9 : chaîne de transmission SC-FDMA

SC-FDMA a le même principe que l'OFDMA, sauf qu'au lieu de mapper les symboles sur les sous-porteuses, on mappe leur DFT.

7. LTE et l'antenne MIMO

7.1 Définition d'une antenne :

Située à l'interface entre la chaîne des circuits de traitement et l'environnement de Propagation, l'antenne est le dispositif qui permet de coupler les ondes de part et d'autre.

Réciproquement, elle capte ou émet les signaux électromagnétiques de ou allant vers l'environnement, en privilégiant ou non certaines directions, pour les guider vers ou les extraire des circuits de traitement. Elle adapte ainsi les caractéristiques d'une onde électromagnétique entre un guide et un milieu de propagation ouvert (et réciproquement).

7.2 Principe de la technique MIMO :

Dans les systèmes de communications traditionnels [13], il n'existe qu'une antenne à l'émission et une antenne à la réception (SISO). Or les futurs services de communications mobiles sans fils demandent plus de transmissions de données (augmentation de la capacité de transmission). Ainsi pour augmenter la capacité des systèmes SISO et satisfaire ces demandes, les bandes passantes de ces systèmes et les puissances à transmettre ont été largement augmentées. Mais les récents développements ont montré que l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et à la réception permettait d'augmenter le débit de transmission des données et cela sans augmenter ni la bande

passante de l'antenne réceptrice du système SISO, ni la puissance du signal à l'émission. Cette technique de transmission s'appelle MIMO.

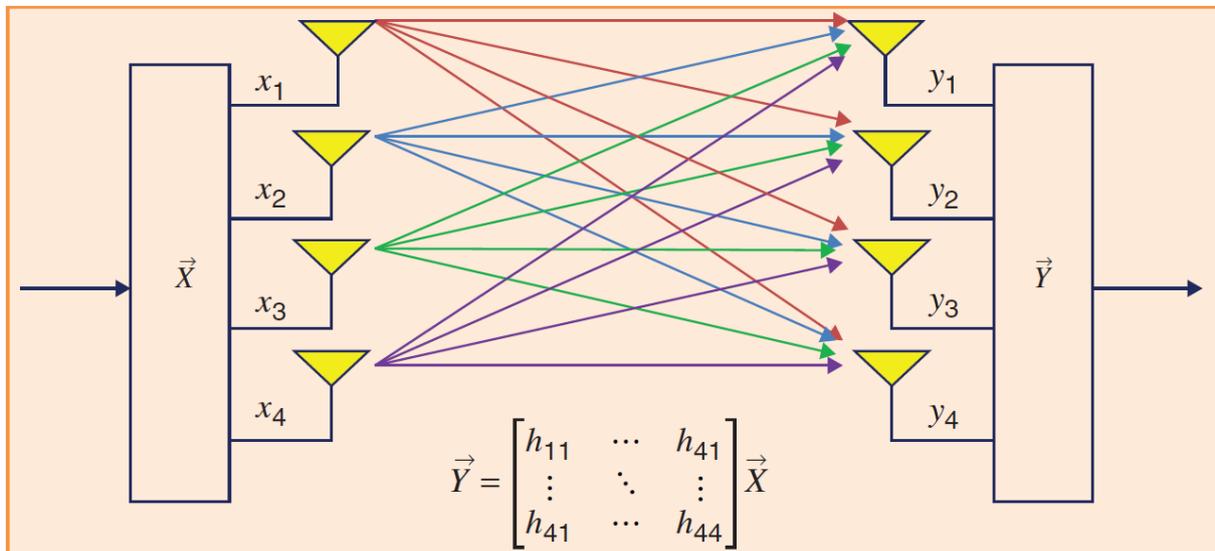


Figure 2.10 : Principe du MIMO [13]

Un système MIMO tire profit de l'environnement multi-trajets en utilisant les différents canaux de propagation créés par réflexion et/ou par diffraction des ondes pour augmenter la capacité de transmission. D'où l'intérêt aussi d'obtenir des signaux indépendants sur les antennes.

7.3 Les différents types de codage MIMO :

Dans un système MIMO, il existe plusieurs méthodes pour effectuer le codage des signaux :

7.3.1 Le multiplexage par répartition de fréquence orthogonale (OFDM) déjà expliqué dans le premier chapitre.

7.3.2 Le multiplexage par division spatiale (SDM)

Au cours duquel plusieurs flux de données indépendants (essentiellement des canaux virtuels) sont simultanément multiplexés dans un canal spectral. Le multiplexage SDM peut améliorer le débit de façon significative, car le nombre de données spatiales résolues est plus important. Chaque flux spatial doit disposer de sa propre paire d'antennes de transmission/réception à chaque extrémité du lien radio.

Il est important de noter qu'une chaîne de radio-fréquences RF et qu'un convertisseur analogique-numérique distincts sont nécessaires pour chaque antenne du système MIMO. Les configurations qui nécessitent plus de deux chaînes d'antennes RF doivent être conçues avec attention pour maintenir des coûts peu élevés tout en répondant aux attentes en matière de performances.

7.3.3 Le codage spatio-temporel par bloc (STBC)

Tout comme le SDM permet d'envoyer des signaux différents sur chaque antenne. Le principe du STBC est d'introduire une redondance d'information entre les deux antennes. Le canal STBC comprend $M \times N$ sous canaux. Chaque sous canal est un canal à évanouissements indépendants ; ce qui fait que le STBC augmente la diversité du canal de transmission et donc la robustesse du récepteur. Cette méthode est très attractive car elle n'exige pas la connaissance de l'état du canal (CSI) même si cela peut réduire la capacité de transmission des données.

Le gain de diversité résultant améliore la fiabilité des liaisons sans fil à évanouissements et améliore la qualité de la transmission. Il est à noter que ce type de codage n'améliore pas la capacité de transmission linéairement avec le nombre d'éléments utilisés. Ainsi pour améliorer à la fois la capacité et la qualité, un système MIMO doit être implémenté avec les deux types de codages à savoir le SDM et le STBC.

8. Conclusion :

Nous avons vu que pour lutter contre les évanouissements que peut subir un signal dans un environnement multi-trajets, il est préférable d'utiliser des techniques de diversité ou de MIMO.

Technique MIMO est la plus adéquate pour augmenter la capacité de transmission de données.

MIMO est une technologie de pointe qui emploie de multiples "petites" antennes internes.

Chacun appréciera la qualité de connexion sans fil procurant des débits de transfert uniformément élevés, partout dans votre maison ; aucune perte de signal, et aucun point mort.

Maintien des débits de transferts élevés, pas seulement lorsque vous êtes proches de votre routeur.

Utilisé avec des adaptateurs sans fil MIMO, fournit la meilleure couverture Wifi de toutes les technologies sans fil sur le marché.

Améliore la performance jusqu'à 50% des périphériques Wifi 802.11b et 802.11g déjà présents sur le réseau.

Chapitre 3:
Etude d'une chaine de
communication LTE

Chapitre 3

Etude d'une chaîne de communication LTE

1. Introduction

La communication est l'action de communiquer, de transmettre des informations ou des connaissances à quelqu'un ou, s'il y a échange, de les mettre en commun.

Elle a pour objet de conceptualiser et de rationaliser les processus d'échange, de transmission d'information entre deux entités (individus, groupe d'individus ou machines). La chaîne de communication est constituée principalement de : émetteur, récepteur, message à transmettre, code qui sert à transmettre, canal de transmission.

2. Chaîne de transmission

Le but d'un système de communication à distance avec fil ou sans fil est de transmettre de l'information d'un point à un ou plusieurs points. Le schéma de principe d'une chaîne de transmission [9] est représenté sur la figure 3.1.

L'émetteur a pour objectif d'adapter l'information de la source avant de transmettre à travers un canal de propagation. En effet, à partir du signal reçu, le récepteur fait l'opération pour récupérer l'information de la source. Sur la figure 3.1, les opérations duales effectuées à l'émetteur et au récepteur sont le codage et le décodage de source, le codage et le décodage de canal, la modulation et la démodulation. Nous allons maintenant d'écrire brièvement les différentes fonctions mises en œuvre dans la chaîne de transmission.

Notons que ces fonctions peuvent traiter l'information de façon individuelle ou collective qui dépend de la conception appliquée.

Pour réaliser une transmission numérique, le message à transmettre doit être mis en forme numérique. Si la source délivre un message analogique tel que le signal de parole ou le signal d'image, il est indispensable de le numériser.

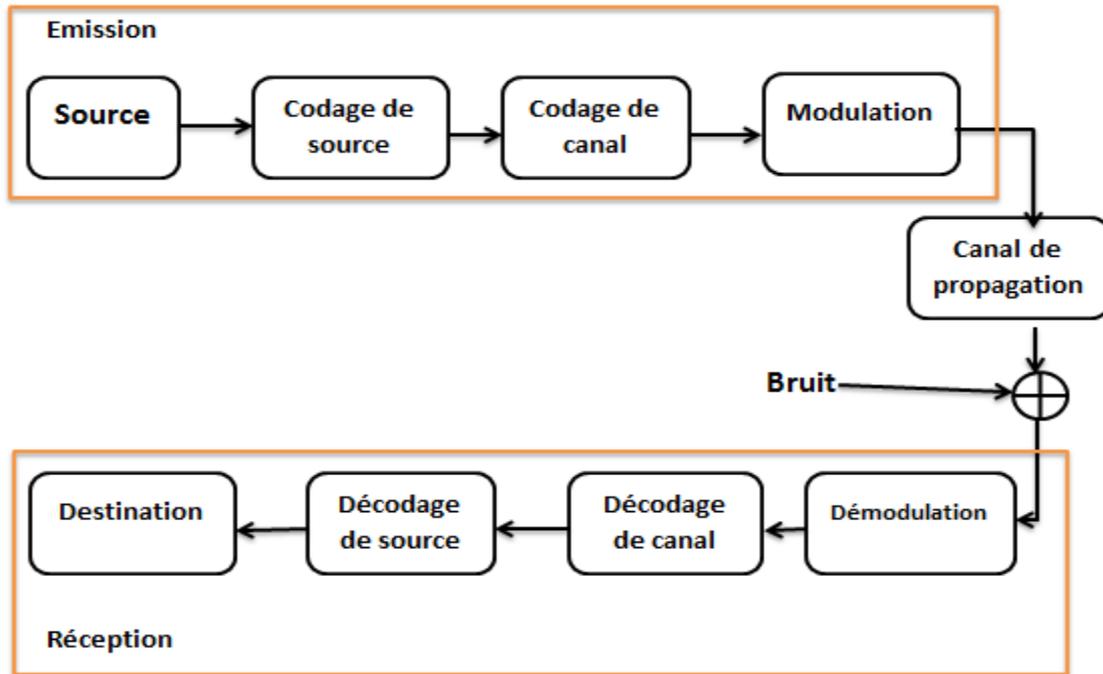


Figure 3.1 : Une chaîne de transmission sans fil

Lorsque le message analogique est échantillonné, le théorème de Shannon doit être respecté [14]. Chaque échantillon est quantifié et puis converti sur des éléments binaires. Ensuite, des données en sortie peuvent être considérées comme des données binaires aléatoires qui restent *a priori* inconnues au destinataire.

2.1 Les phénomènes physiques de la propagation radio-électrique :

Les mécanismes physiques de la propagation dans le contexte des communications sans fil expliquent la possibilité de communication par des liaisons radio-mobiles entre l'émetteur et le récepteur même s'il n'y a pas de voie directe. Ces phénomènes, appelés la propagation par multi-trajets, peuvent être fondamentalement distingués en six mécanismes de la propagation.

Ils se composent : la propagation en espace libre, en réflexion, en diffraction, en diffusion (scattering) et au guidage d'ondes. Comme montre la figure 2.3:

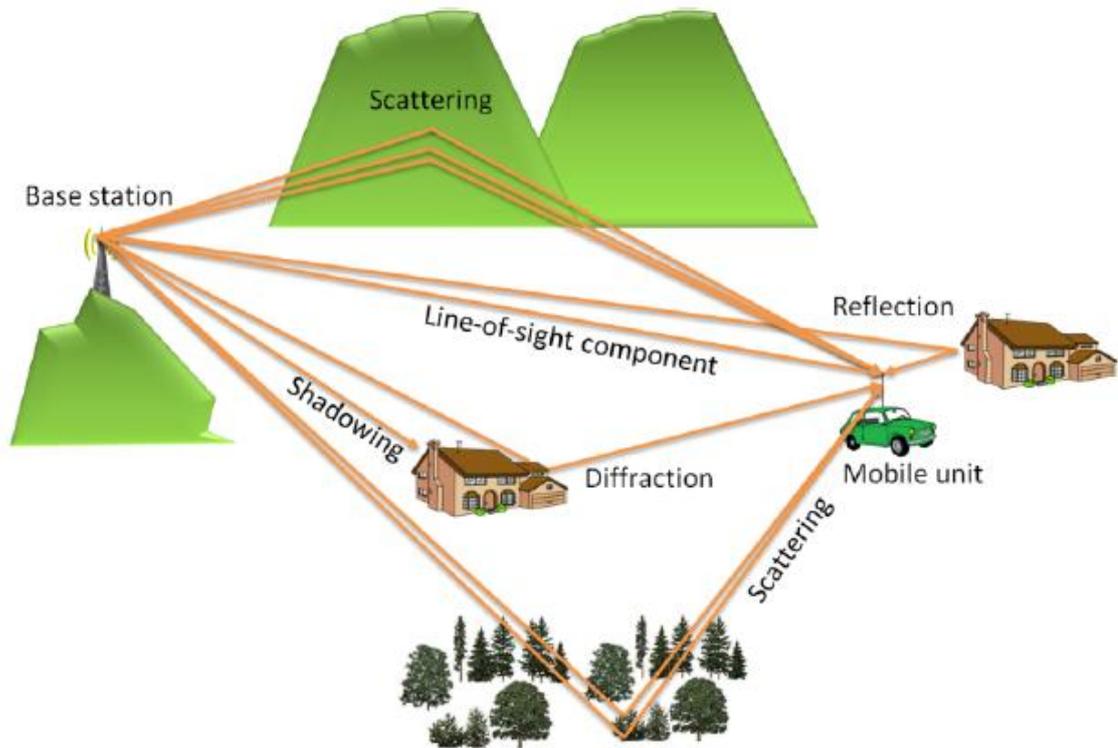


Figure 3.2 Mécanismes intervenant lors de la propagation d'une onde

2.2 Evanouissement

Au récepteur, la puissance des ondes émises par l'antenne émettrice fluctue en fonction du déplacement et de la durée d'observation ainsi que de la caractéristique de l'environnement.

On peut alors distinguer deux formes d'évanouissement [15] : l'évanouissement à grande échelle et l'évanouissement à petite échelle comme présentés sur la figure 3.3.

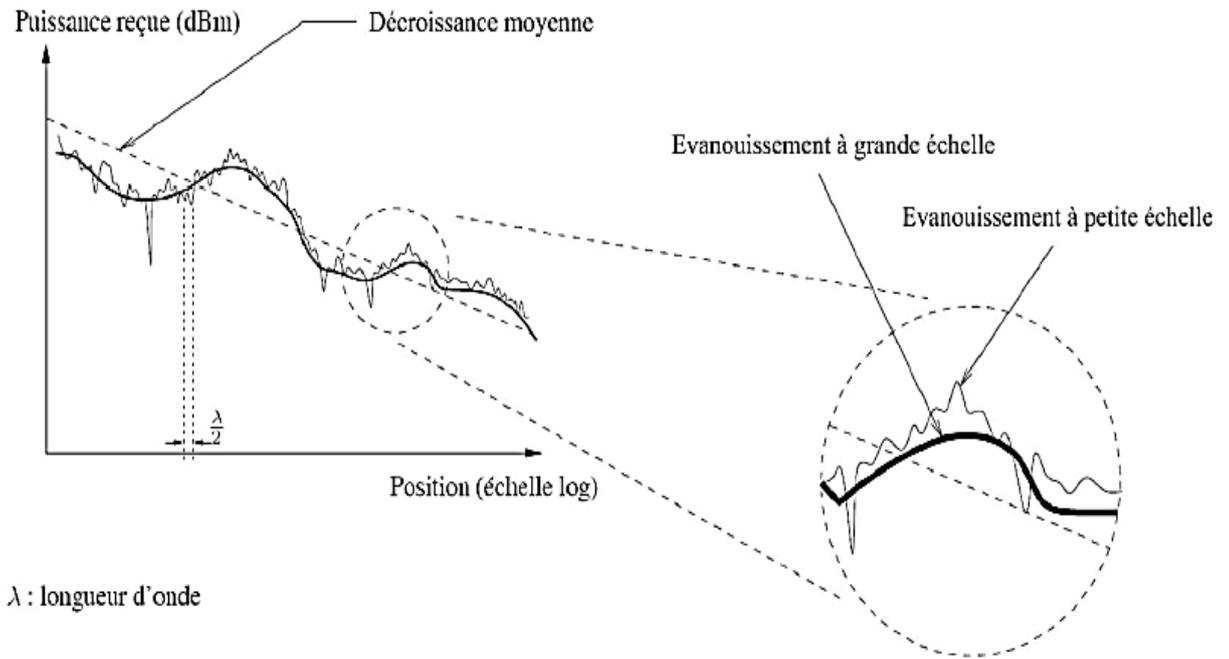


Figure 3.3: Fluctuations à petite et à grande échelle de la réponse du canal

3. Etude d'une chaîne de communication LTE :

3.1 Les canaux physiques

Les canaux de données physiques se distinguent par la façon dont le processeur de canal physique les manipule, ainsi que par la façon dont ils sont mis en correspondance sur les symboles et les sous-porteuses utilisées par l'OFDMA [9] et [16]. Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux transport sur l'interface radio. Les canaux physiques en downlink sont :

- **PDSCH** : qui transport les données usager et la signalisation des couches hautes.
- **PDCCH** : qui transport les assignations d'ordonnancement pour le lien montant.
- **PMCH** : qui transport l'information multicast /broadcast.
- **PBCH** : qui transport les informations du système.
- **PCFICH** : qui informe l'UE sur le nombre de système OFDM utilisé pour le PDCCH.

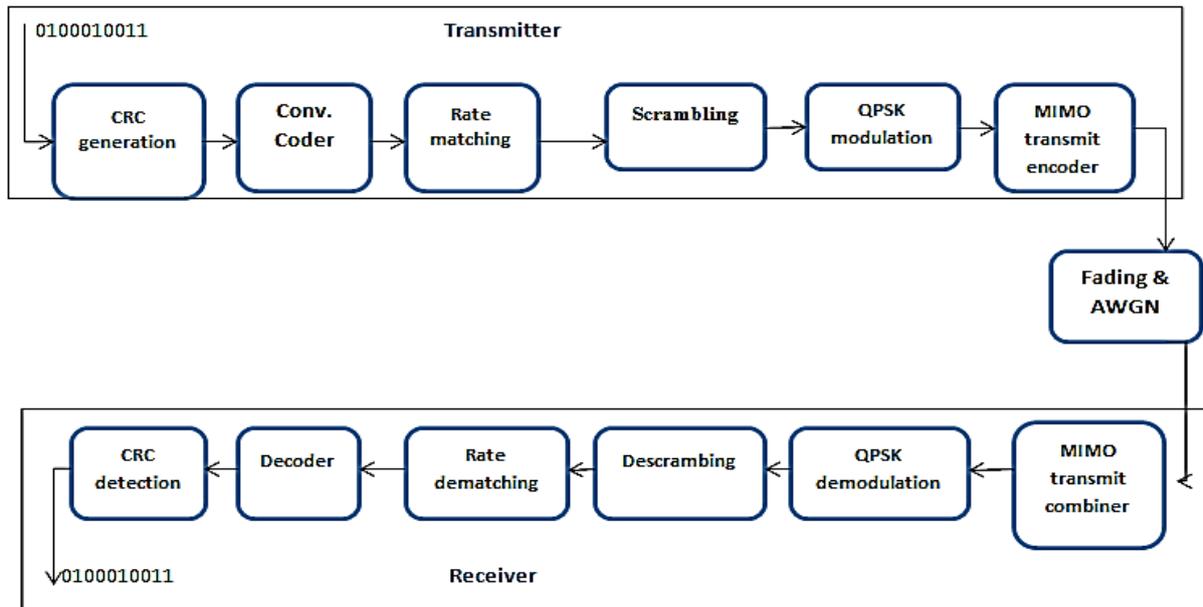


Figure 3.4 : traitement LTE PDCCH.

Nous utilisons une version simplifiée du traitement du signal appliqué au PDCCH de la norme LTE dans ce chapitre en tant qu'étude de cas. Comme le montre la figure 3.4, le traitement du signal PDCCH dans le côté de l'émetteur implique les opérations suivantes:

- Vérification de redondance cyclique (CRC) : Génération du mot de code,
- Encodage convolutionnel des bits générés : après la génération des mots de codes dans cette partie on va les coder,
- Combinaison d'une chaîne,
- Brouillage : sa rentre dans le cryptage des messages envoyer,
- Modulation QPSK,
- Codage MIMO à diversité de transmission.

Modélisation de canal se compose d'une combinaison d'une chaîne MIMO deux par deux et d'un bruit blanc gaussien additif (AWGN). Nous effectuons les opérations inverse sur le récepteur, y compris :

- transmission diversité combinaison MIMO,
- démodulation QPSK,
- désbrouillage,
- démolition des taux,
- Vitetbi
- Le décodage et la détection CRC.

3.2 Calcul de la couverture pour les Uplink

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes :

- Débit requis
- SINR requis au récepteur
- Sensibilités du récepteur eNodeB
- Bilan de liaison

3.2.1 Débit requis :

On commence par définir l'exigence de qualité qui est exprimée comme un débit binaire déterminé qui peut être fournie à un utilisateur sur les bordures de la cellule.

Le débit binaire requis dépend du service pour lequel le système est dimensionné. Tous les calculs sont effectués par bloc de ressources [5].

Le débit binaire requis R_{req} est divisé par le nombre de blocs de ressources n_{RB} pour obtenir le débit binaire par nombre de bloc

$$R_{req,RB} = R_{req} / n_{RB} \quad (3.1)$$

Le nombre n_{RB} peut être choisi librement mais dans les limites de la bande passante

- Avec un petit n_{RB} le débit binaire requis peuvent être satisfaits avec un minimum de ressources. Ce qui de maximiser la capacité des autres utilisateurs.
- Avec un grand n_{RB} les blocs transmis sont réparties sur un intervalle de fréquence, avec un moins d'énergie utilisée par le bloc.

3.2.2 SINR requis :

C'est un indicateur de la performance du système plus il est faible plus le système est performant.

3.2.3 Sensibilité eNodeB récepteur :

La sensibilité des eNodeB est la puissance du signal que le récepteur doit la recevoir pour résiner une performance spécifique en absence des interférences intercellulaires [5]. C'est le niveau de signal minimum pour éviter les coupures radio.

$$S_{eNB} = N_t + N_f + 10 \log(W_{RB}) + \gamma = N_{RU,UL} + \gamma [dB] \quad (3.2)$$

- N_f =le facteur de bruit est le rapport du signal d'entrée sur bruit pour déterminer les performances d'amplificateur. Le Facteur de bruit de l'eNodeB récepteur est en [dB].
- W_{RB} =Bande passante par bloc de ressources : 180kHz.
- γ = bruit de l'Uplink.
- $N_{RU,UL}$ =Bruit thermiques par bloc de ressources pour les Uplink ($S_{eNB} = N_t + N_f 10\log(W_{RB})$).

3.2.4 Equation bilan de liaison Uplink :

La figure 3.5 illustre le bilan de liaison pour la liaison montante (Uplink)

L'équation est comme suivie :

$$L_{pmax} = P_{UE, RB} - S_{eNB} - Perte_{marge} + G_a + L_j \quad (3.3)$$

Avec :

- L_{pmax} =Maximum perte de trajet autorisé pour la propagation dans l'air
- $Perte_{marges}$ =perte pénétration voiture (L_{CL}) + perte de pénétration du bâtiment (L_{bp})+perte de corps(L_b)+BLNF+BIUL
- $P_{UE, RB} = 6$ dB.
- G_a =somme des gains de l'antenne eNode B, et gain d'antenne de l'équation utilisateur [dBi]
- L_j =connecteurs d'antenne [dB].

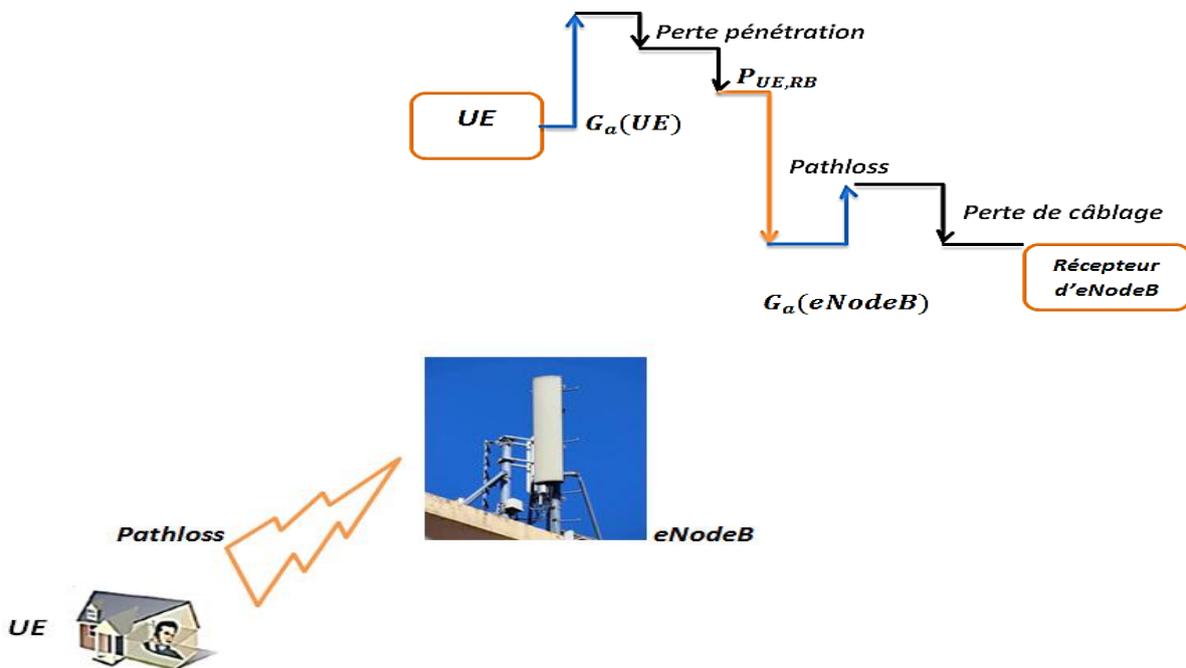


Figure 3.5 : modèle bilan de Uplink

3.3 Calcul de la couverture pour les Downlink

Le bilan de liaison pour les Downlink est calculée pour :

- déterminer les limites du lien.
- déterminer le débit binaire supporté par les liens descendants

3.3.1 Puissance par le bloc de ressource

La puissance est partagée par tous les blocs de ressources, sa formule est la suivante :

$$P_{tx, RB} = \frac{P}{n_{RB}} \quad (3.4)$$

Avec :

P = est la somme des puissances de toutes les unités radio dans la cellule.

3.3.2 Augmentation du bruit a la bordure de la cellule

Le bruit de liaison descendante $B_{I DL}$ de la cellule est nécessaire pour le bilan de liaison. Il est calculé par l'expression suivante :

$$B_{I DL} = \frac{P_{tx, RB} * Q_{DL} * F_e}{N_{RN, DL} * L_{SA, max}} \quad (3.5)$$

Avec :

- Q_{DL} = facteur de charge de la liaison descendante
- F_e = le ratio moyen entre les puissances reçues d'autres cellules
- $N_{RB, DB}$ = bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante, défini par :
 $Nt + Nf \ 10\log(WRB)$
- $Nf = UE \ bruit = 7dB$
- $L_{SA, max}$ = atténuation di signal en liaison descendante

$L_{SA, MAX}$ est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale MAPL.
L'expression est la suivante :

$$L_{SA, MAX} = L_{pmax} + B_{LNF} + L_{CL} + L_{BP} + G_a + L_j \ [dB] \quad (3.6)$$

3.3.3 SINR

La capacité Downlink est basée sur le rapport signal interférence et bruit (SINR) [5] dans la cellule: l'augmentation de nombre d'utilisateurs augmente l'interférence et le bruit, et diminue la couverture cellulaire pur suite force le rayon de la cellule à devenir plus petite. Notes γ_{DL} .

Le SINR moyenne résultante, γ_{DL} est représentée par l'équation suivante :

$$\gamma_{DL} = \frac{P_{Lx, RB}}{B_{DL, noise} * N_{RB} * H * L_{sa, max}} \quad (3.7)$$

3.3.4 Equation bilan de liaison Downlink

La figure 3.6 illustre l'équation de bilan de liaison pour les liens descendant

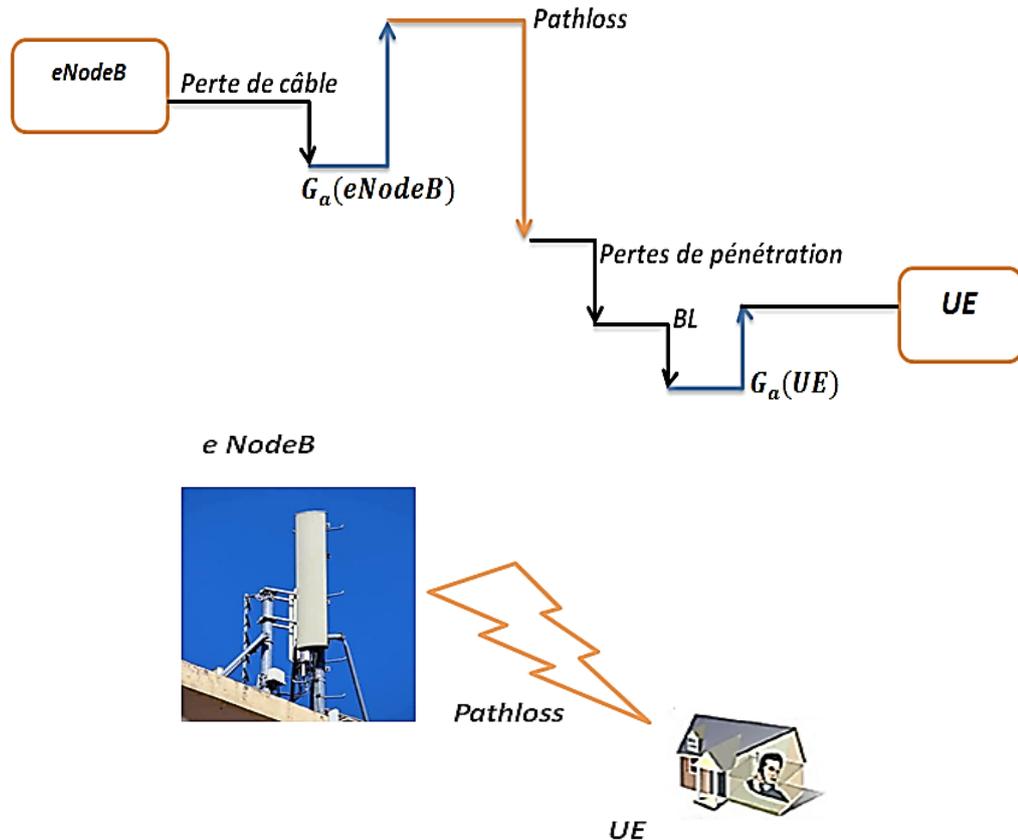


Figure 3.6 : Modèle bilan de Downlink

4. Le niveau de système LTE :

Une structure simplifiée du Simulateur de niveau de système LTE de Vienne (SLS) est illustrée à la figure 3.7.

Les modules essentiels sont la qualité de liaison et le modèle de performance de la liaison. Le modèle de qualité effectue le calcul du rapport de signal à interférence et de bruit (SINR), en utilisant un modèle de récepteur Zero forcing (ZF).

Le modèle de performance utilise la sortie du modèle de qualité de liaison comme entrée de son module pour évaluer le débit du système et son rapport d'erreur de BLOCK (BLER).

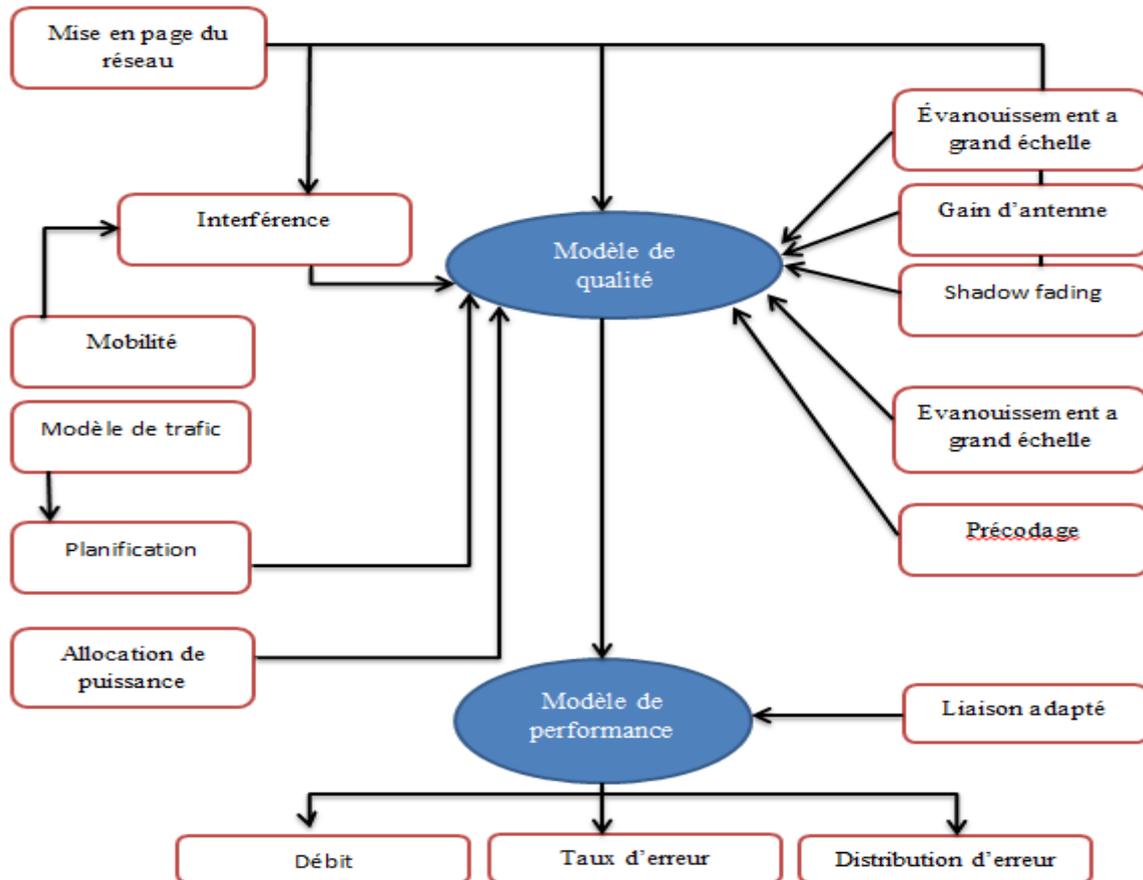


Figure 3.7 : Structure interne de niveau de système LTE [17]

Un flux de travail général est décrit ci-dessous:

Dans la phase initiale de la simulation, le réseau est généré. Une région d'intérêt (ROI) est définie et les eNodeB et les UE sont placés dans ce ROI. Le ROI est représenté à la Figure 3.8 et montre un environnement avec 19 sites avec 3 cellules par site. Dans ce cas, chaque site emploie 1 antenne d'émission et 3 RRH. Ensuite, le simulateur entre dans la boucle de simulation principale. À chaque TTI, les utilisateurs sont déplacés selon un modèle de marche présélectionné (par exemple, ligne droite, marche aléatoire, etc) [17]. Cependant, si un UE quitte le ROI, il est déplacé au hasard dans le ROI.

Ensuite, les eNodeB reçoivent les commentaires de l'UE avec un délai donné (dans ce travail, le délai est spécifié sur 1 TTI). Ensuite, les UE sont prévues.

Dans le modèle de qualité de lien, la matrice de canal et la matrice interférentielle sont créées pour chaque UE en tenant compte de la géométrie du réseau. En outre, les matrices de précodage sont générées. Avec cette information, le SINR est calculé.

Ensuite, le SINR obtenu, en plus des schémas de modulation et de codage sélectionnés (MCS), est fourni au modèle de performance du lien pour calculer le BLER.

La dernière étape consiste à calculer les commentaires de l'UE et à l'envoyer à travers un canal de rétroaction idéaliste, mais sans erreur.

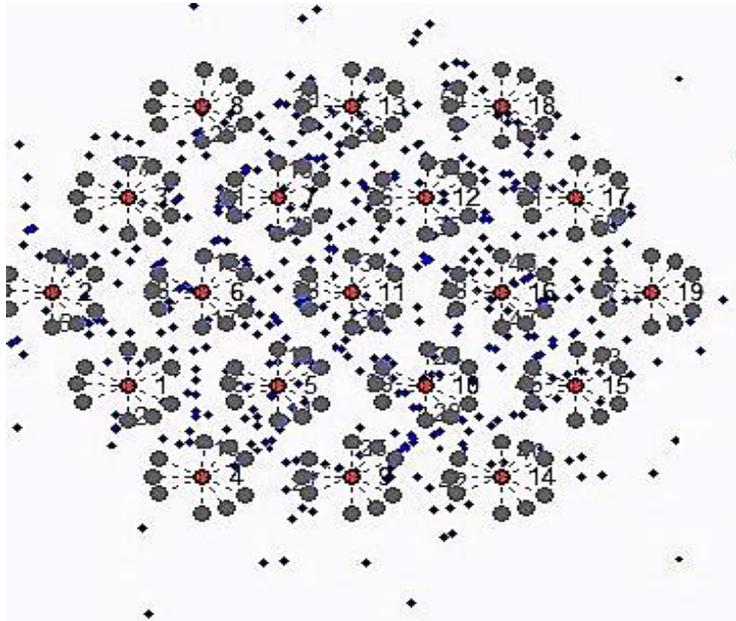


Figure 3.8: Structure réseau dans le SLS: postes de cellule et d'utilisateur.

Dans la figure 3.9, il existe une vue plus détaillée d'un site unique avec une BS centrale, trois RRH par cellule et certains UE

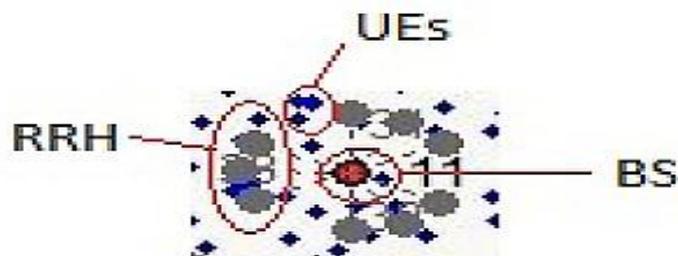


Figure 3.9: Vue détaillée d'un seul site

5. Conclusion :

Les systèmes de communication utilisant le support hertzien constituent aujourd'hui une solution de substitution aux moyens filaires pour le raccordement direct des clients. Plusieurs communautés collaborent afin de standardiser les technologies qui sont, tantôt concurrentes, tantôt complémentaires de ces réseaux. Chaque technologie devrait pouvoir trouver sa place, son usage et sa cible.

On va essayer dans le prochain chapitre de modéliser et expliquer par simulation tous ces performances.

Chapitre 4:

Modélisation et simulation

Chapitre 4

Modélisation et simulation

1. Introduction :

L'accroissance extraordinaire des utilitaires et des applications qui demande un grand débit à imposer l'introduction du LTE, qui est considéré dans nos jours comme la dernière version des standards des technologies de télécommunication mobile.

Notre travail dans ce chapitre va être articulé autour d'un cas d'étude qui est la modélisation par simulation d'un système LTE par MATLAB, vu que ce dernier est de plus en plus utilisé dans la modélisation pour concevoir les systèmes de télécommunication telle que la 4G.

2. Modélisation et simulation dans MATLAB :

La plupart des développements d'algorithmes pour divers systèmes et composants commencent dans MATLAB. Avec une bibliothèque de traitement numérique du signal, algèbre linéaire et opérateurs mathématiques, les conceptions peuvent être exprimées facilement dans MATLAB en tant qu'algorithmes composés d'une séquence d'opérations adaptée.

La modélisation du système peut être effectuée soit en MATLAB soit en Simulink. En utilisant différentes boîtes à outils (toolbox) complémentaires, cette bibliothèque contient des composants, y compris ceux pour le codage de source, codage de canal, entrelacement, modulation, égalisation, synchronisation, MIMO et Modélisation de canal [13].

Notre étude va être adaptée par des recherches qui sont faites dans un institut de communication et énergie radio fréquence au VIENNE (SLS) [18].

2.1 Simulation au niveau de système LTE :

LTE Link Level Simulator est une collection de méthodes pratiques utilisées dans le domaine de l'ingénierie des systèmes, afin de simuler le comportement global des grands systèmes comme le LTE.

2.1.1 Fonctionnement de la simulation:

Le fichier principal du *LTE Link Level Simulator* est *LTE_sim_main.m*, bien qu'on puisse exécuter la simulation à travers un fichier batch tel que *LTE_sim_launcher.m*, qui effectue les tâches suivantes:

- Chargement d'un fichier de configuration de choix.
- Exécution du fichier de simulation principal *LTE_sim_main.m*.

2.1.2 Résultat de la simulation :

2.1.2.1 le rayonnement des trois secteurs de chaque eNodeB :

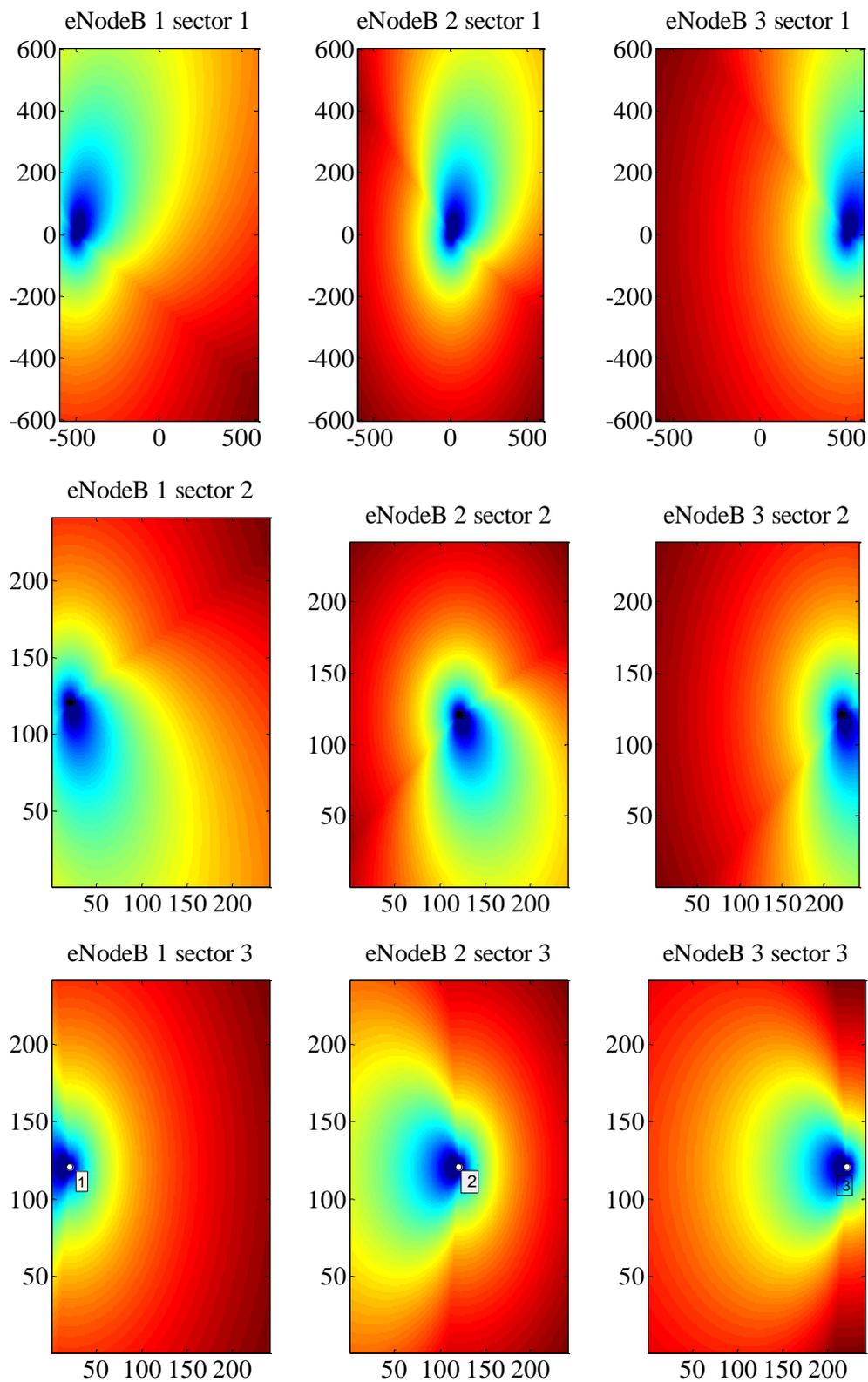


Figure 4.1 : rayonnement des 3sector/eNodeB.

Le rayonnement d'antenne est défini comme une fonction mathématique ou une représentation graphique des propriétés de rayonnement en fonction des coordonnées de l'espace. Nous définissons le vecteur du potentiel magnétique, $\vec{A}(\vec{k})$, en un point de l'espace. Il est défini à partir de la distribution de la densité de courant $\vec{J}(\vec{r})$ [19] :

$$\vec{A}(\vec{k}) = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{\vec{J}(\vec{r})}{|\vec{r}|} \exp\{-j\vec{k} \cdot \vec{r}\} d\vec{r} \quad (4.1)$$

μ : La perméabilité d'antenne

\vec{k} : Un vecteur d'onde

\vec{r} : Un vecteur de l'antenne à un point de l'espace

2.1.2.2 Modèle de rayonnement de l'antenne TS 36.942 :

Le diagramme de rayonnement de l'antenne BS à utiliser pour chaque secteur dans les sites cellulaires à 3 secteurs est tracé à la figure 4.2. Le motif est identique à ceux définis dans, [20] et [21]

$$A(\theta) = -\min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right] \quad \text{ou} \quad -180 \leq \theta \leq 180 \quad (4.2)$$

θ_{3dB} Est la largeur du faisceau 3dB qui correspond à 65 degrés et A dB m = 20 est l'atténuation maximale dans TS 36.942.

Dans MATLAB :

`LTE_config.mean_antenna_gain`: gain d'antenne, en dB. Les valeurs recommandées sont: 15 dBi (Zone rurale 900 MHz, Zone urbaine 2 GHz) et 12 dBi (zone urbaine 900 MHz).

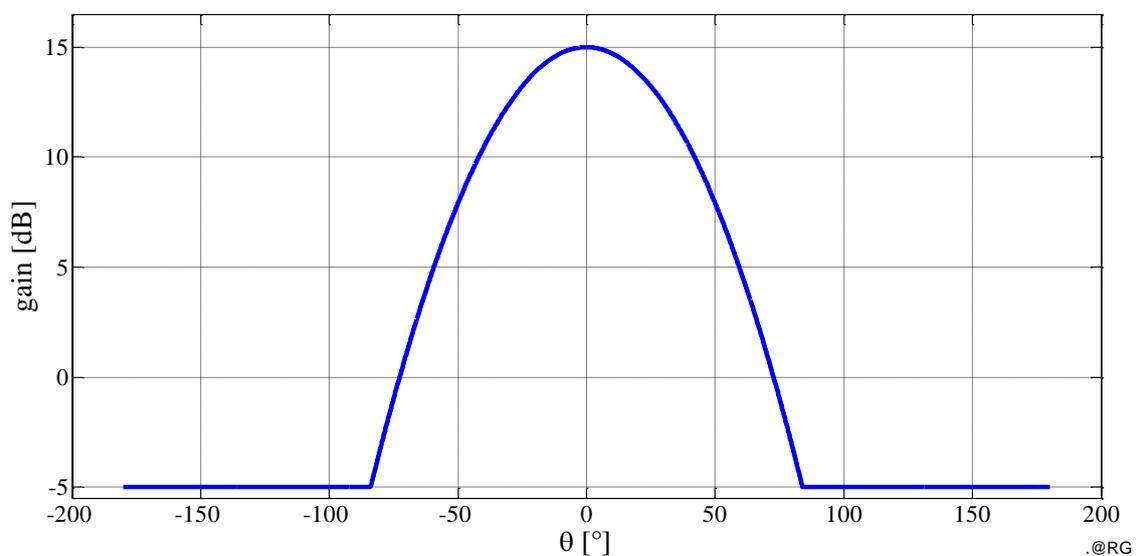


Figure 4.2: les variations du gain d'une antenne TS 36.942

2.1.2.3 Les modèles pathloss et les modèles de gain d'antenne :

Il existe 3 types de variation du canal radio-mobile :

- **Grande échelle** : Fonction de la distance émetteur-récepteur. **Pathloss** ou affaiblissement de parcours. Caractérise l'affaiblissement que subit une onde électromagnétique lorsqu'elle parcourt une distance. Cet affaiblissement est dû à la dispersion de la puissance, mais également aux obstacles rencontrés sur le chemin : bâtiments, montagnes et autres bloquant le signal. D'après la figure 4.3

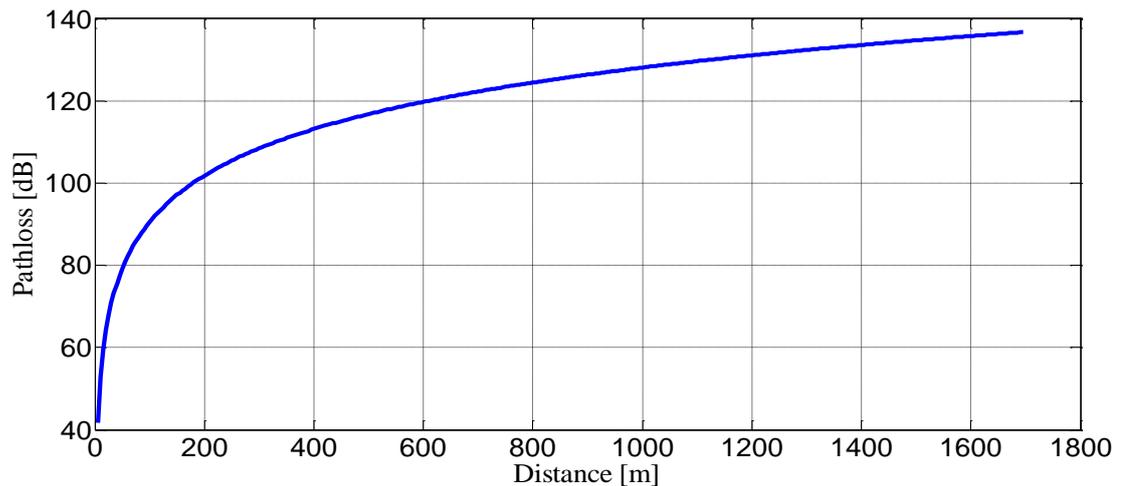


Figure 4.3: le pathloss en fonction de la distance de propagation.

- **Moyenne échelle** : **Shadowing** ou effet de masque (**zone d'ombre**). Echelle de la taille des obstacles (quelques dizaines de mètres en milieu urbain et quelques mètres en indoor).
- **Petite échelle** : **Fading** rapide ou évanouissement. Liés aux trajets multiples [22]. figure 4.4

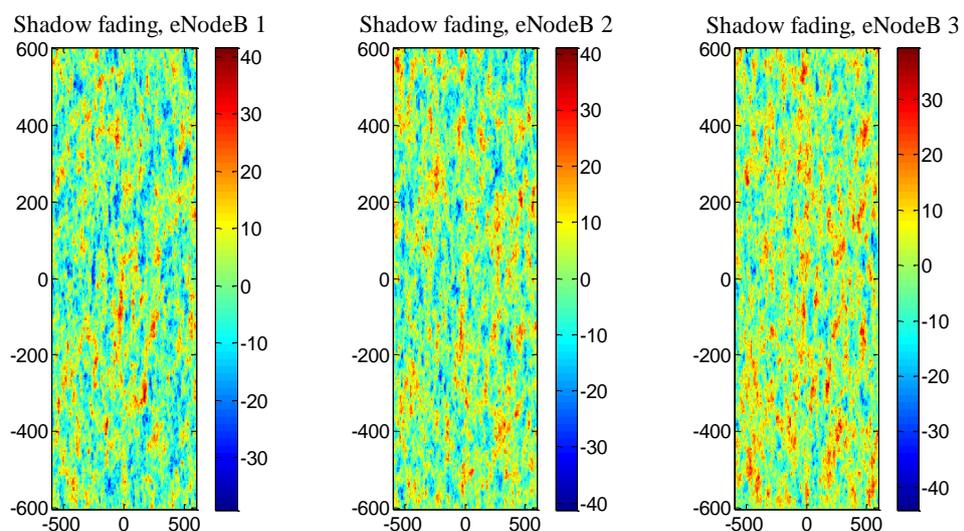


Figure 4.4 : effet de masquage ou shadow fading sur les eNodeBs

Dans les communications sans fil, la **décoloration** est une variation de l'atténuation d'un signal avec différentes variables. Ces variables comprennent le temps, la position géographique et la radiofréquence. Fading est souvent modélisé comme un processus aléatoire. Un **canal de décoloration** est un canal de communication qui subit une décoloration. Dans les systèmes sans fil, l'évanouissement peut être dû à la propagation multi-voies, appelée **décoloration induite par multi-voies**, conditions météorologiques (en particulier la pluie) ou obstacle aux obstacles affectant la propagation des ondes, parfois appelé **décoloration des ombres**.

2.1.2.4 Le taux d'erreur de blocage (BLER) :

Le taux d'erreur de BLOCK(BLER) est un rapport du nombre de blocs erronés au nombre total de blocs reçus sur un circuit numérique. Il est souvent utilisé comme mesure de contrôle de qualité.

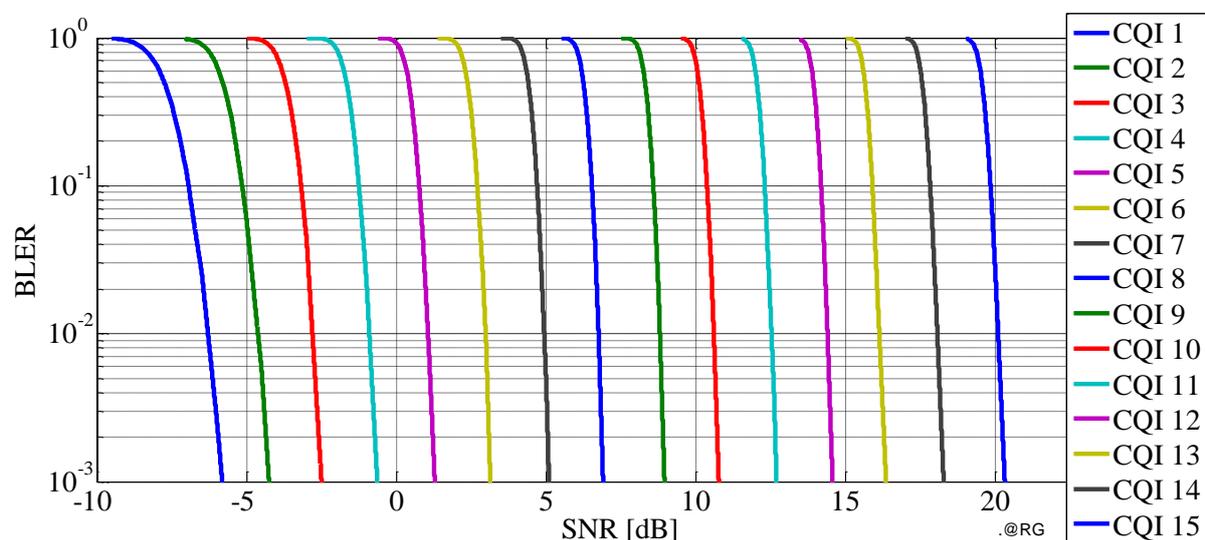


Figure 4.5: Le BLER en fonction du SNR [dB] pour les CQIs.

En effet ; dans la technologie LTE / 4G le BLER est utilisé pour connaître l'indication synchro ou hors synchronisation pendant la surveillance de la liaison radio (RLM).

Nous choisissons le plus petit indice CQI pour la transmission, afin de soutenir tous les utilisateurs.

Au cours de notre recherche, nous avons constaté que l'utilisation du plus petit indice CQI pour la transmission peut entraîner des congestions de trafic et nous devrions spécifier une limite inférieure (CQI_{bound}) ; Donc l'indice CQI au moment n à utiliser pour la transmission peut être calculé comme :

$$CQI_n = \max(\min_i(CQI[i]), CQI_{bound}). \quad (4.3)$$

BLER (en LTE) = Nombre de blocs erronés / Nombre total de blocs reçus.

La figure 4.6 montre que le BLER normal est de 10% pour un état de synchronisation.

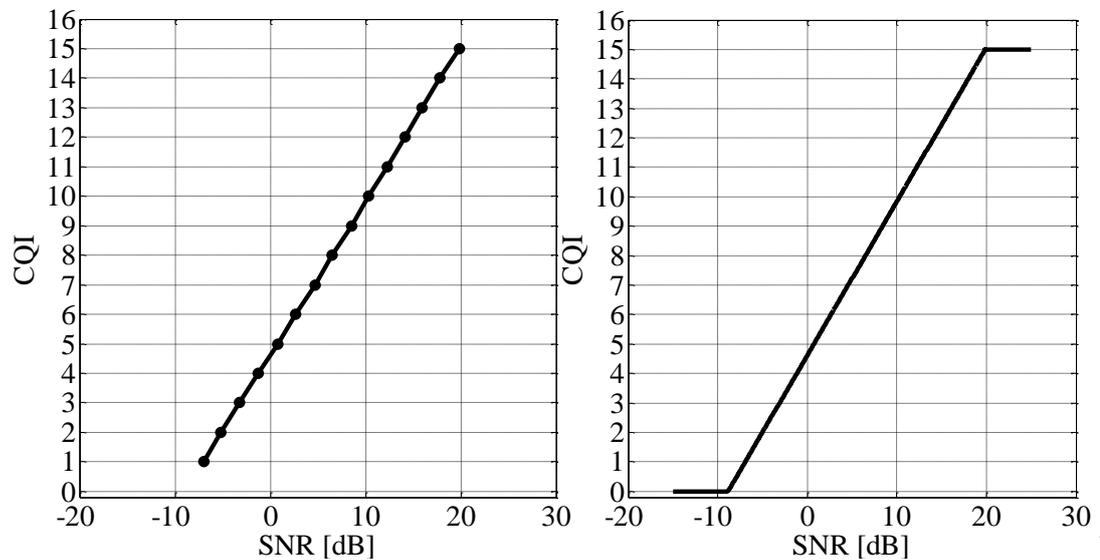


Figure 4.6 : les graphes sont obtenus à partir des points BLER de 10%.

2.1.2.5 Options de canal :

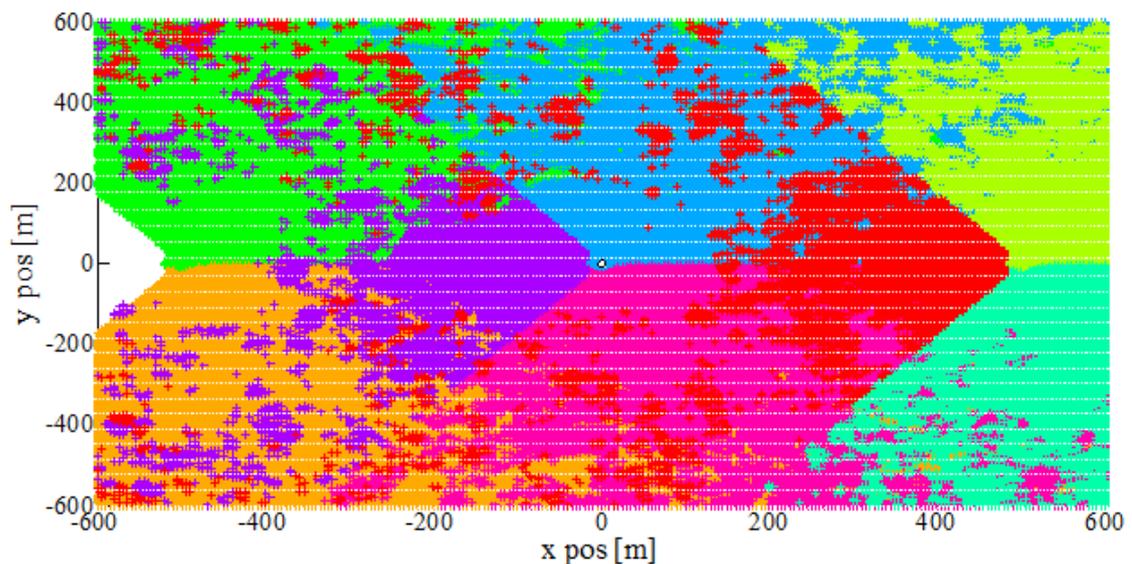


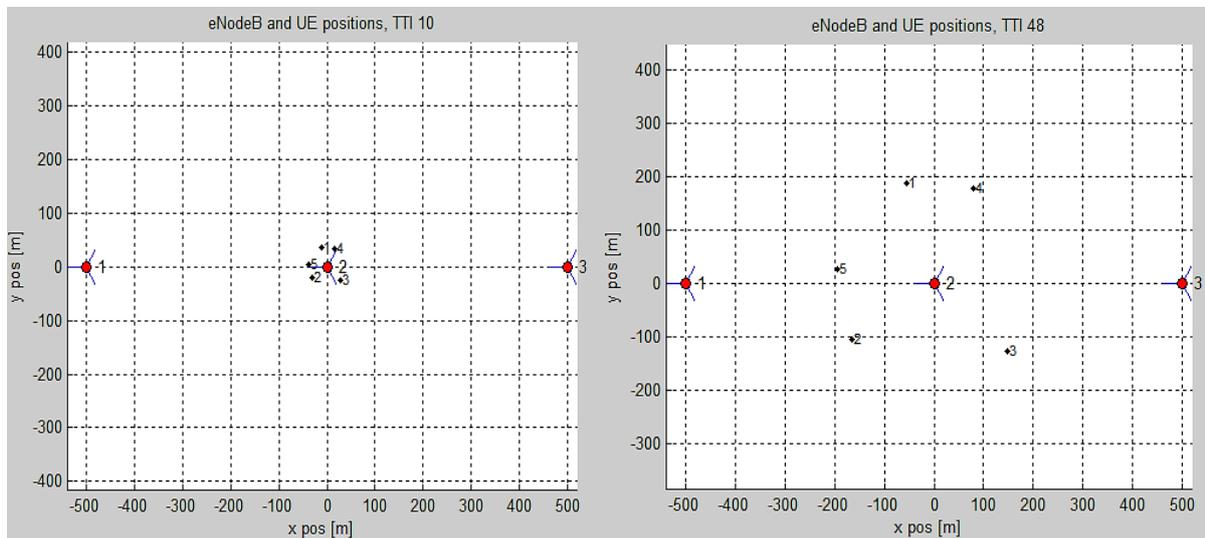
Figure 4.7 : la répartition des UEs avec les secteurs des eNodeB

D'après la figure 4.7 on peut voir clairement les trois eNodeB et chaque couleur présente le secteur qui occupe chacun 120° de territoire appartient à son antenne:

- eNodeB1 (0m, -500m): avec les trois couleurs le blanc, l'orange et le vert ;

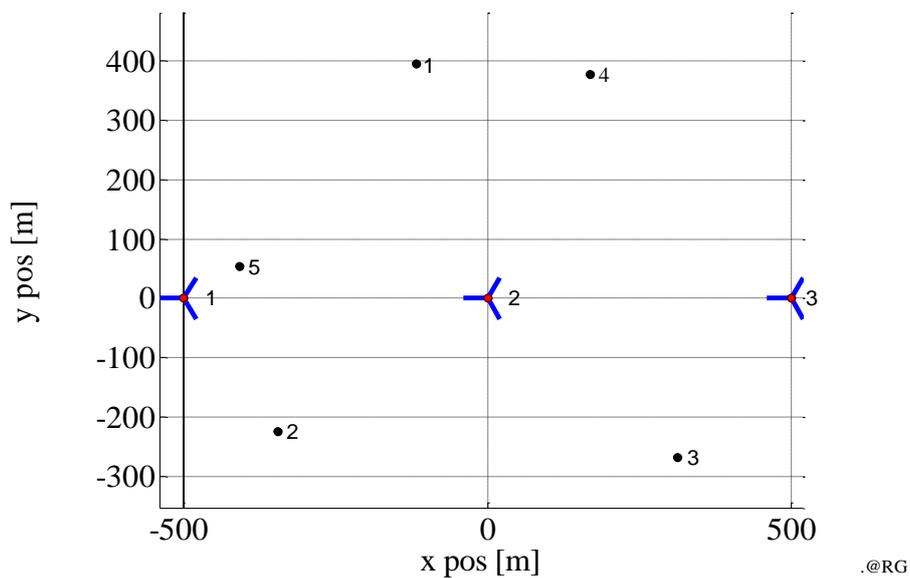
- eNodeB2 (0m, 0m): avec les trois couleurs le bleu, le mauve et le rose ;
- eNodeB3 (0m, 500m): avec les trois couleurs le rouge, le jaune, et le bleu ;

LTE_config.feedback_channel_delay: délai de liaison montante dans les TTI. Lorsqu'il est défini sur 0 TTI, seule la CQI rapporte un retard de zéro.



(a)

(b)



(c)

Figure 4.8 : positions des UE et eNodeB dans les différents TTI

La position des utilisateurs change avec le temps; pour le TTI =10 (a) les UE sont pres de deuxieme eNodeB, a TTI=48 (b) les UE ont commencer a se deplasser d'une manière

quelconque dans le reseau pour ce retrouver a TTI=100 (c) dans des positions loin de l'antenne ,malgré cette distance ils sont encore suivi par l'eNodeB2.

2.1.2.6 L'évanouissement et l'effet de masquage :

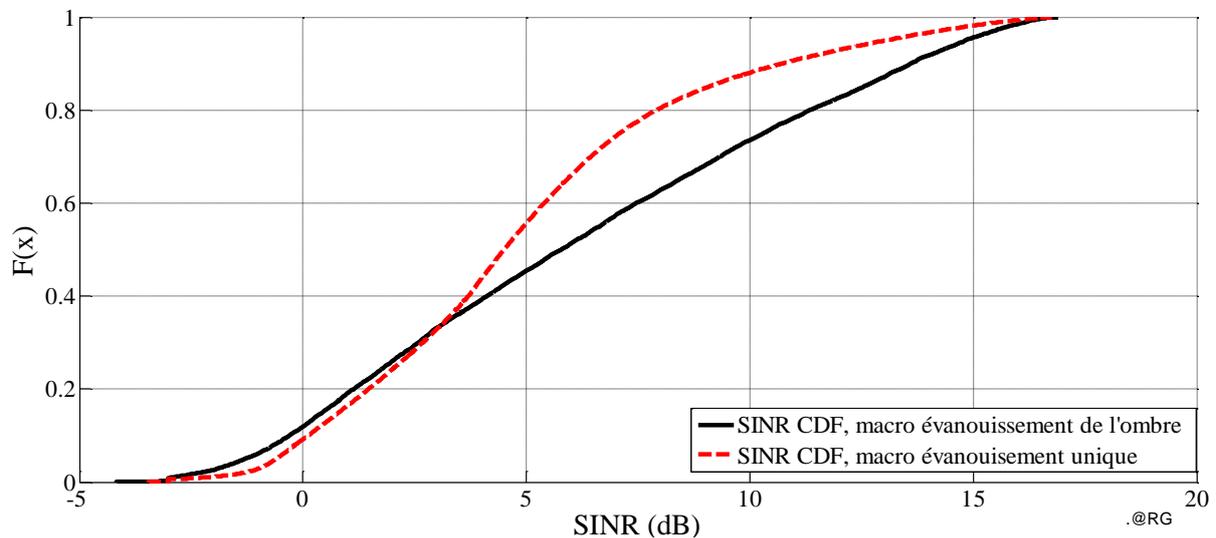


Figure 4.9 : variation de CDF en fonction de SINR

La CDF [7], ou juste la fonction de distribution $F(x)$, est une expression mathématique qui décrit la probabilité qu'un système prendra sur une valeur spécifique ou un ensemble de valeurs. Plus précisément, il décrit la probabilité qu'une variable aléatoire à valeur réelle X avec une distribution de probabilité donnée soit trouvée à une valeur inférieure ou égale à x . Ceci est montré dans l'équation 4.4, où pour chaque nombre réel x , le CDF d'une variable aléatoire à valeur réelle X est donné :

$$x \rightarrow F(x) = P(X \leq x) \quad (4.4)$$

En plus, on peut déduire que l'effet de l'évanouissement a une grande perturbation sur le signal ; D'après la comparaison entre les deux figures 4.10 et 4.11, les lobes des signaux ne sont pas clairs à la présence de l'évanouissement figure 4.11, contrairement à la figure 4.10 où tous les lobes de rayonnement sont clairs.

a. Le rayonnement normal :

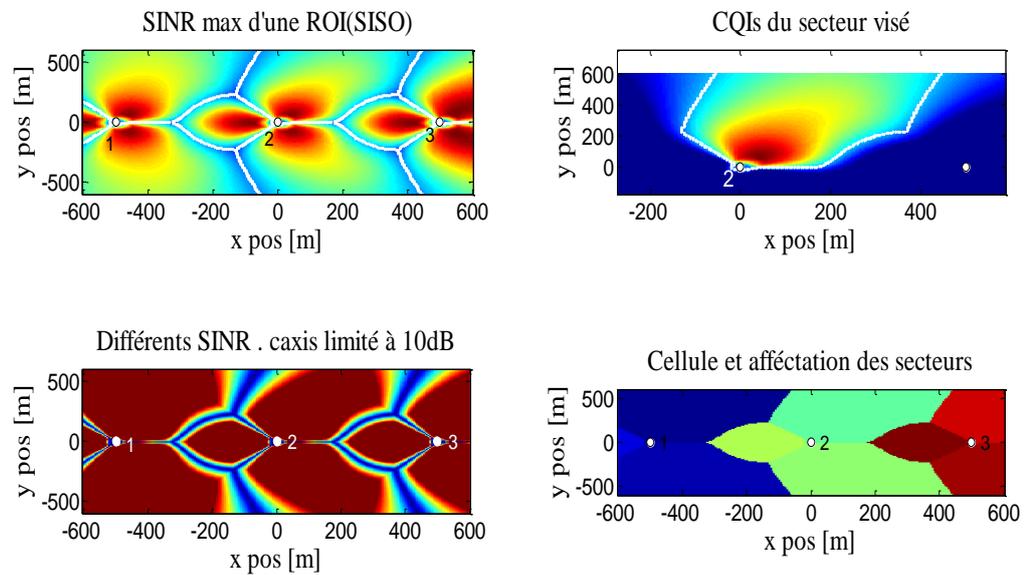


Figure 4.10 : *le rayonnement de chaque secteur/eNodeB*

b. La rayonnement avec la présence du l'effe du l'évanouissement

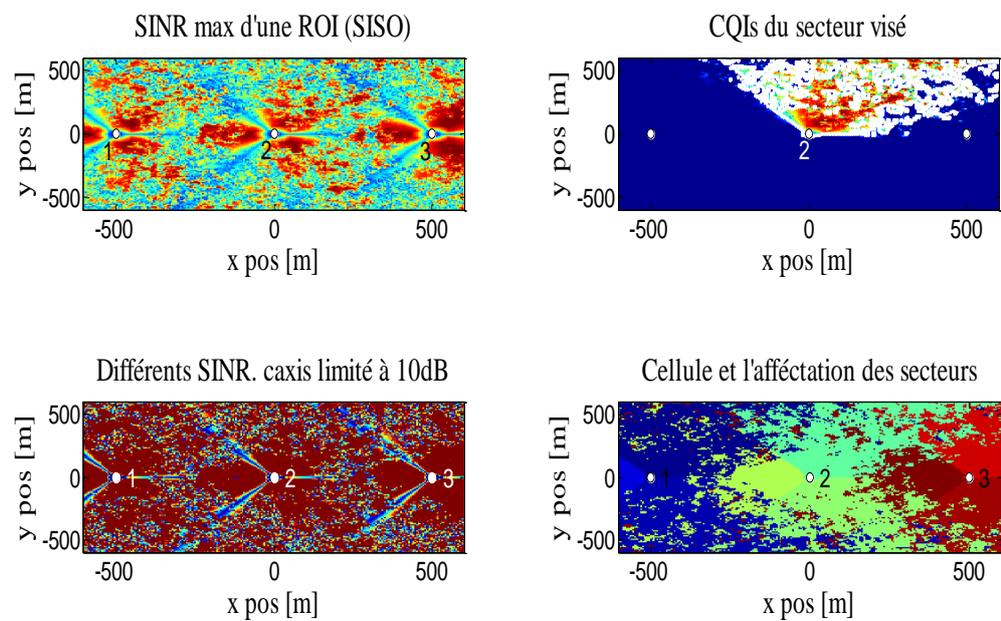


Figure 4.11 : *Le rayonnement des secteurs/eNodeB*

3. Conclusion :

Dans ce chapitre on a exécuté un programme qui nous a aidés à modéliser et bien expliquer le fonctionnement de quelques équipements de la chaîne de transmission tel que le rayonnement des secteurs des eNodeB et leurs occupations des utilisateurs (UE), on a vu encore l'effet de l'évanouissement sur la propagation des signaux et le BLER en fonction de rapport signal sur bruit.

La LTE comme une technologie a connu une autre évolution concurrente pour la 4^{ème} génération par le IEEE 802.16; alors dans le prochain chapitre on va réaliser une comparaison entre ces deux technologies LTE et WiMAX.

Chapitre 5:
Application et étude
comparative

Chapitre 5

Application et étude comparative

1. Introduction :

Ce chapitre fournit une étude comparative entre LTE et WiMAX. Une petite recherche de détails sur les deux technologies dévoile une grande concurrence. Cependant, nous pouvons affirmer en toute sécurité que cette concurrence se limite à partager le marché du haut débit sans fil plutôt qu'avec une compétition technologique. La raison derrière cela est les nombreuses analogies entre les fonctionnalités PHY et MAC utilisées dans les deux. En fait, ils ont adopté les mêmes technologies et ont seulement différé dans la mise en œuvre.

En conséquence, on ne s'attend pas à ce que l'un d'entre eux élimine l'autre, mais ils s'intégreront sans problème après la liquidation des guerres du marché. Par conséquent, il est logique de fournir une étude comparative plutôt qu'une étude concurrentielle des deux.

2. Evolution des normes IMT-Advanced

Malgré les nombreuses ressemblances entre LTE et WiMAX, leurs origines sont radicalement différentes.

Alors que LTE est l'héritier d'une technologie basée sur le service vocal, à savoir la commutation de circuits vocaux, le WiMAX provient d'une technologie basée sur le service de données, les réseaux informatiques.

En d'autres termes, WiMAX est né comme une technologie tout IP, tandis que LTE a traversé des étapes de développement lentes et longues pour devenir un réseau IP tout-en-un.

Le principal motif du développement des deux normes était donc la nécessité d'offrir des débits de données plus élevés et plus fiables pour répondre à la demande croissante de trafic de données mobiles. De plus, les clients s'attendent à ce que les réseaux de fournisseurs de services prennent en charge plusieurs types d'applications [24], y compris les applications faibles en bande passante telles que la diffusion vidéo, la vidéoconférence et le jeu vidéo. L'évaluation des deux normes est présentée dans Figure 5.1.

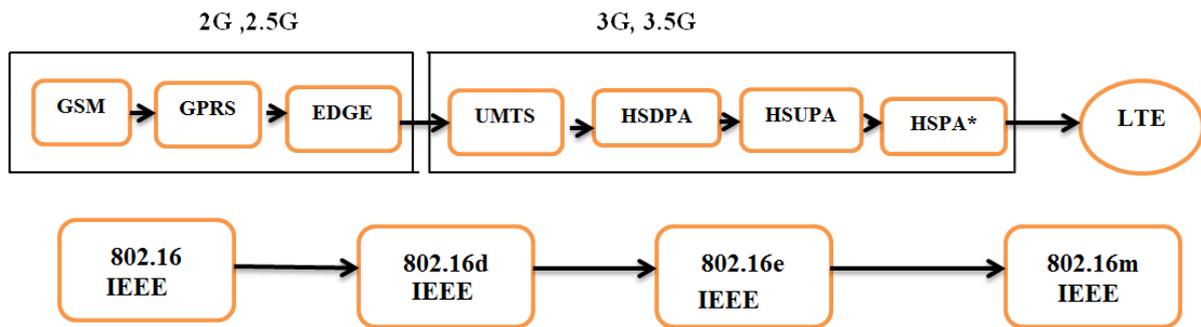


Figure 5.1 : Evolution de LTE et WiMAX.

L'UIT a produit un nouvel ensemble d'exigences pour les futurs réseaux sans fil. Ces exigences visent principalement à fournir des débits de données élevés. En particulier, il spécifie un 1Gbps pour les utilisateurs à mobilité fixe et lente et un 100Mbps pour les utilisateurs de haute mobilité. Ni IEEE 802.16-2009 ni LTE Rev.9 ne sont capables de fournir de tels taux. Par conséquent, les deux groupes de normalisation, le 3GPP et l'IEEE devaient proposer leur propre proposition IMT-Advanced. Alors que le premier proposait LTEAdvanced, ce dernier proposait IEEE 802.16m. Comme le suggèrent les noms, ces deux propositions sont en fait des améliorations de leurs ancêtres, le LTE-Rev.9 et l'IEEE 802.16-2009, respectivement.

3. Comparaison de l'efficacité spectrale :

Une inspection approfondie de l'efficacité spectrale des deux technologies sur l'UL et le DL dévoile une étroite analogie. Ces gains en efficience sont résumés dans le tableau 5.1.

	LTE	WiMAX
Efficacité spectrale DL	[1.57 au 1.59] bps/hz/secteur (2*2) MIMO	[2.6 au 30] bps/Hz (4*2)
Efficacité spectrale UL	[0.64 au 0.99] bps/Hz/secteur (1*2) SIMO	[1.8 au 15] bps/Hz (2*4)

Tableau 5.1 : Comparaison de l'efficacité spectrale de LTE et WiMAX [23].

Afin d'atteindre ces hautes performances spectrales, les deux propositions ont tendance à utiliser les dernières avancées technologiques à la couche PHY. Ceux-ci incluent la communication multicarrier (OFDM, SC-FDMA et OFDMA), MIMO adaptatif avec jusqu'à quatre couches, spectre flexible et réutilisation fractionnaire de fréquence, relais, multi-cellules MIMO, etc.

3.1 Mise en œuvre OFDMA :

L'OFDMA en tant que technologie multi-accès, offre une amélioration significative de l'efficacité spectrale pour plus d'une raison.

Dans WiMAX, OFDMA est adopté pour le DL ainsi que pour l'UL. Cependant, LTE a recouru à SC-FDMA sur l'UL pour améliorer l'efficacité énergétique de la MS. Ce choix, comme le soutient, le 3GPP réduit le PAPR sur l'UL de 1 à 2 dB, prolongeant ainsi la durée de vie de la batterie. En fait, WiMAX a adopté une approche alternative pour obtenir une réduction similaire dans le PAPR.

Même si les deux réseaux utilisent OFDMA, ils diffèrent dans leur mise en œuvre, en particulier dans la mise en œuvre de la structure du cadre. LTE et LTE-Advanced utilisent une taille de trame fixe de 10 ms avec une taille de sous-trame de 1 ms.

Pendant ce temps, IEEE 802.16-2009 définit une taille d'image de durée variable, de 2 à 10 ms). L'IMT-Advanced IEEE 802.16m utilise une taille de trame hiérarchique avec des images unitaires de 5 ms. Le conducteur de ce dernier choix était de faciliter la compatibilité ascendante dans IEEE 802.16-2009 [8].

Un des principaux avantages de l'OFDMA est l'allocation flexible des ressources. Dans LTE, les ressources sont attribuées à chaque sous-trame, avec des messages de contrôle diffusés dans les trois premiers symboles DL OFDM. D'autre part, WiMAX alloue les ressources de chaque image. Cependant, puisque WiMAX adopte des tailles de trames variables, la durée du cycle de planification dépend de la taille de l'image. Au moins deux symboles DL OFDM sont attribués pour les messages de contrôle.

3.2 Mise en œuvre de MIMO :

MIMO est un autre exemple de la mise au point des techniques PHY adoptées par les deux technologies. Contrairement à OFDMA, MIMO améliore le débit de données sans augmenter la bande passante du canal. Cependant, semblable à OFDMA, LTE et IEEE 802.16-2009 ont différentes façons de mettre en œuvre MIMO.

LTE a adopté plusieurs techniques MIMO, y compris SU-MIMO, MU MIMO, multiplexage spatial en boucle ouverte et en boucle fermée, et formage de faisceau dédié. SU-MIMO est pris en charge dans le DL avec jusqu'à quatre couches tandis que MU-MIMO est pris en charge dans les deux, l'UL et le DL, avec jusqu'à quatre couches dans le DL et deux couches dans l'UL.

La norme IEEE 802.16e comprend également deux et quatre systèmes MIMO d'antenne; Cependant, son application se concentre sur 2×2 antennes. D'autre part, IEEE 802.16-2009 a amélioré le taux de données en augmentant le nombre d'antennes au terminal. De plus, LTE-Advanced et IEEE 802.16m ont subi des améliorations technologiques MIMO. Cela améliore l'efficacité spectrale et augmente le débit de données selon les exigences IMT-Advanced. Les BS coordonnent la transmission / réception d'un utilisateur particulier pour améliorer la fiabilité de la

communication. Dans la gestion des interférences entre cellules, la planification est coordonnée entre plusieurs BS voisins afin d'obtenir une coordination inter-cellule adaptative interférentielle. La transmission conjointe est obtenue en ayant plusieurs BS transmises à un seul utilisateur. Grâce à cela, les interférences sont réduites et la puissance reçue augmente.

3.3 Flexibilité du spectre :

IEEE 802.16 et LTE se distinguent des réseaux 2G et 3G par leurs allocations de spectre évolutives. Les réseaux 2G et 3G sont définis sur un spectre à largeur fixe. Pendant ce temps, IEEE 802.16-e, qui est limité au mode duplex TDD, peut fonctionner sur les bandes autorisées 2,3, 2,5 et 3,5 GHz et la bande sans licence 5.3. L'IEEE 802.16-2009 a ajouté deux autres bandes de spectre, 1,7 et 2,1 GHz, principalement pour s'adapter à FDD [7].

LTE et IEEE 802.16-2009 doivent tous deux supporter différents types d'applications avec des exigences de QoS diverses. Les taux de données obtenus par LTE et IEEE 802.16-2009 dépendent de la bande passante du canal, du nombre de couches MIMO utilisées et du type de modulation.

	LTE-Advanced	IEEE 802.16m
Débit d'utilisateur max DL	1Gbps	>350Mbps(4*4) à 20MHz FDD
Débit d'utilisateur max UP	300Mbps	>200Mbps(2*4) à 20MHz FDD

Tableau 5.2 : Débit de données pour LTE-Advanced et IEEE 802.16m.

Le tableau 5.2 montre les débits de données de LTE-Advanced et IEEE 802.16m. Augmenter la bande passante de transmission est l'une des nombreuses façons d'améliorer les débits de données.

Bien que, les deux technologies candidates prennent en charge l'agrégation des opérateurs et l'allocation dynamique du spectre, IEEE 802.16m par rapport à LTE-Advanced fait face au manque de spectre de haute qualité. Le spectre disponible pour IEEE 802.16m est encore limité à 3,5 GHz ou 5 GHz, ce qui est plus élevé que celui de LTE-Advanced.

4. Comparaison de l'adoption de relais :

Le relais multifonction sans fil implique la livraison d'une connexion MT à la BS via des RS spécifiques. Les deux technologies candidates s'intéressent à l'introduction et à l'amélioration de la transmission relayée.

LTE-Advanced définit deux types de relais: Type I et Type II, tandis que IEEE 802.16j définit un relais transparent et non transparent. L'objectif principal du relais dans les systèmes IMT-Advanced est d'étendre la couverture cellulaire via la RS et d'améliorer le débit cellulaire global.

Dans les zones à forte décoloration, une RS améliore la connectivité et la fiabilité du réseau et étend sa couverture. Cependant, le type II et le relais transparent sont utilisés pour réaliser des débits et de données plus élevés, soutenir les applications multimédia et fournir leurs exigences de QoS [24].



Figure 5.2 : Deux antennes relais associées au LTE et WiMAX.

Une petite différence peut être notée entre les RS de Type II et les RS transparentes. Il existe cependant des différences apparentes entre les RS de type I et les RS non transparents. Les RS de type I sont limitées à deux sauts, alors que les RS non transparentes sont illimitées dans le nombre de sauts. Cette limitation, reflétée dans les conceptions pertinentes des structures de trame et de la signalisation, offre un avantage à IEEE 802.16m (basé sur IEEE 802.16j pour la communication multi-sites) sur LTE-Advanced. IEEE 802.16m peut élargir la zone de couverture de manière rentable.

5. Comparaison des architectures de réseau :

Conceptuellement, LTE et WiMAX ont des architectures de réseau similaires. Les deux disposent d'une architecture plate IP. Leurs architectures de réseau peuvent être divisées en trois parties logiques:

- Mobile Station (MS) / User Equipment (UE);
- Access Network Service (ASN) / Core Network (CN);
- ET Connectivity Service Network (CSN) / Protocol Data Network (PDN).

La figure 5.3 montre l'architecture de WiMAX et pour le LTE on a déjà vu son architecture dans le chapitre 2 (figure 2.2). Les deux réseaux diffèrent dans les fonctionnalités.

5.1 ASN / AN (E-UTRAN) et le MME et le S-GW :

L'ASN dans WiMAX se compose d'une passerelle ASN (ASN-GW) et d'une BS. L'AN (EUTRAN) se compose d'un réseau d'eNB connectés entre eux. Le BS est fonctionnellement similaire à un eNB. La tâche principale des deux concerne le trafic vers et depuis le MS. Cela implique la transmission de paquets, HARQ, l'adaptation de lien et l'application de QoS au niveau de l'utilisateur. Dans le plan de contrôle, il implique la gestion des ressources radio, la gestion de la connexion, le déclenchement du transfert et le proxy DHCP dans le plan de contrôle.

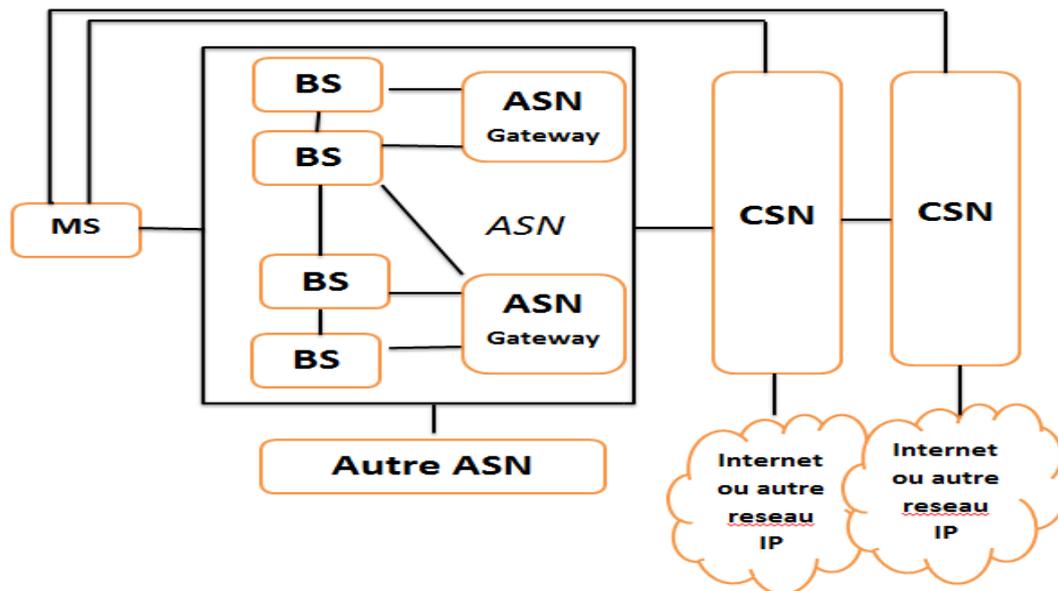


Figure 5.3 : Architecture générale de WiMAX

La fonction de passerelle jouée par l'ASN-GW dans le WiMAX est fournie par deux entités dans LTE qui font partie de l'EPC, à savoir le MME et le S-GW. Ces deux sont fonctionnellement similaires au SGSN dans UMTS ou le PDSN dans EVDO. L'ASN-GW dans WiMAX ainsi que le MME et le S-GW dans LTE fournissent l'interface aérienne au réseau de base et sont considérés comme le point d'agrégation du trafic des utilisateurs.

Parmi les tâches de ces entités figurent les procédures du client AAA, la gestion de la mobilité en établissant, en maintenant et en terminant des tunnels de mobilité avec l'eNB / BS. Indépendamment des similitudes de fonctionnalité entre WiMAX et LTE, des différences importantes existent. Par exemple, LTE sépare la gestion de mécanisme de contrôle de trafic à partir de la gestion de mécanisme utilisateur de trafic. MME est défini pour gérer le trafic du plan de contrôle tandis que le S-GW est défini pour gérer le trafic du plan utilisateur. WiMAX ne sépare pas les deux plans au moins de la définition, où le contrôle et le trafic des dispositions utilisateurs sont gérés par l'ASN-GW.

En outre, les entités définies par LTE (partie de MME et S-GW) fournissent une interface entre LTE et les réseaux 3G existants tels que WCDMA et EVDO. Cependant, WiMAX fonctionne toujours sur cette fonctionnalité inachevée [23].

5.2 CSN / PDN-GW CSN :

Fournit une connectivité à d'autres réseaux tels qu'Internet et le réseau téléphonique public commuté (RTC). La tâche principale de CSN est de fournir une fonctionnalité IP principale et une ancre pour la mobilité (Mobile IP Home Agent MIPHA) de WiMAX vers / depuis d'autres technologies de réseau.

Les deux IEEE 802.16m BS et LTE Advanced eNB sont normalisés pour prendre en charge l'interopérabilité avec IEEE 802.16-e et IEEE 802.16-2009 et LTE respectivement. De plus, l'eNB LTE-Advanced et la norme IEEE 802.16m BS seront capables de servir l'UE et la MS antérieures.

6. Simulation et discussion des résultats :

La couche physique est chargée de transporter l'information générée par les couches supérieures. Il s'agit de véhiculer cette information tout en respectant des contraintes de qualité imposées par le service (délai, débit, taux d'erreur, etc)

Le simulateur LTE-LPS a été créé en tant que script MATLAB. Par conséquent.

Après l'exécution LTE-LPS, lancer LTE-LPS v0 7, Le message suivant s'affiche:

```
LTE - Physical-Layer Simulator (LTE-LPS)
      version 0.7
LPS/COPPE/UFRJ, Coordinator: Prof. Paulo S. R. Diniz
```

Ensuite, si vous tapez ‘u’, le simulateur de connexion de liaison montante démarre :

```

Connection choice: uplink
Transmitting antennas: 1, Receiving antennas: 1
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 1
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 2
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 3
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 4
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 5
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 6
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 7
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 8
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 9
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 10
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 1
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 2
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 3
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 4
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 5
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 6
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 7
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 8
    
```

Et après quelques minutes on va avoir la figure 5.5 :

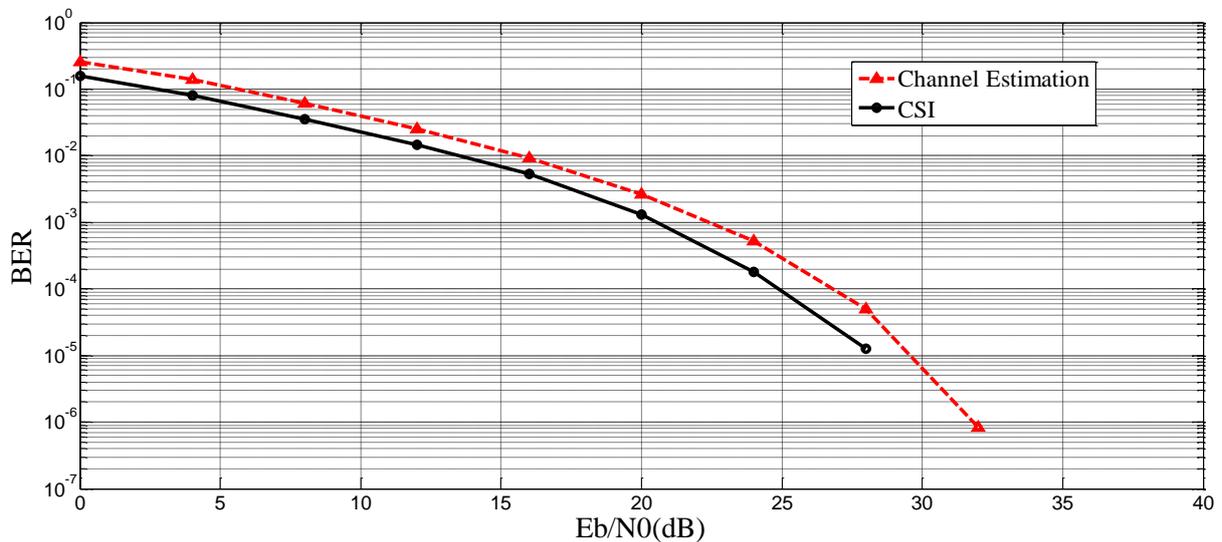


Figure 5.5: CSI et le canal estimé avec les variations de BER en fonction de Eb/N0 dans UL.

La même chose pour le DOWNLIK ; si vous tapez ‘‘d’’, le simulateur de connexion de liaison montante démarre :

```

Works|
-----|
Connection choice: downlink
Transmitting antennas: 2, Receiving antennas: 1
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 1
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 2
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 3
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 4
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 5
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 6
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 7
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 8
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 9
Monte Carlo run: 1, Current Frame: 10
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 1
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 2
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 3
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 4
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 5
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 6
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 7
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 8
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 9
Monte Carlo run: 2, Current Frame: 10
Monte Carlo run: 3, Current Frame: 1
-----|

```

A la fin de l’exécution on va avoir la figure suivante :

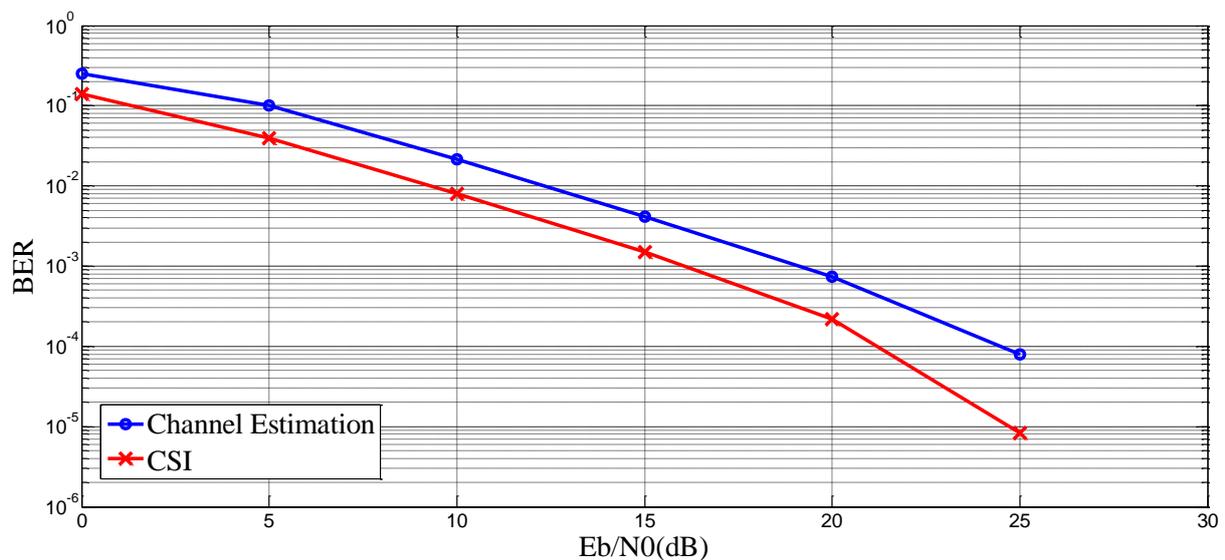


Figure 5.6 : Les variations de BER en fonction du Eb/N0 dans DL.

Le tableau ci-dessous montre les paramètres qui sont effectués pour cette simulation

paramètres	Valeurs
Nframe	10 (nombre de trames radio transmises par simulation)
Nsim	10 (nombre de boucle de simulation)
Type(MUI) d'interférence multi-utilisateurs	No MUI (non Interférence multi-utilisateur)
Type FDMA	Localisé (ce paramètre Peut être choisi comme "fixe")
Bande passante	5 MHz avec 900 kHz programmée pour chaque utilisateur
Vitesse	30 km/h
Type de canal	EPA-LTE (définis par La spécification 3GPP TS 36.101 V9.4.0)
Type de CP	Etendu
Code turbo	pas de code turbo (simulation plus rapide et BER plus élevé)
Modulation	QPSK

Tableau 5.3 : Paramètres de la simulation

Après effectuer un changement de type de modulation dans le programme *settings.m* qui est le fichier dans lequel on peut définir la plupart des paramètres de simulation. Le simulateur trace automatiquement les résultats à la fin de chaque simulation ; E_b/N_0 Rapport de puissance bit-énergie-bruit (une sorte de Rapport signal sur bruit). Un vecteur de rangée contenant les valeurs E_b / N_0 souhaitées pour La simulation. On va y avoir :

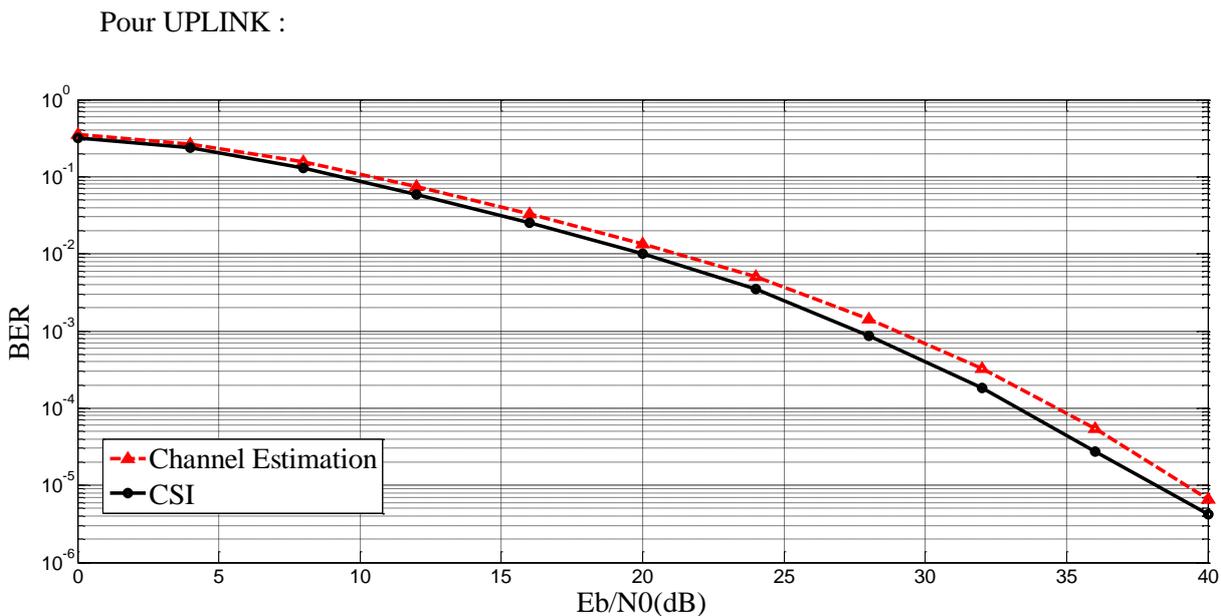


Figure 5.7 : Les variations de BER en fonction de E_b/N_0 pour 16QAM.

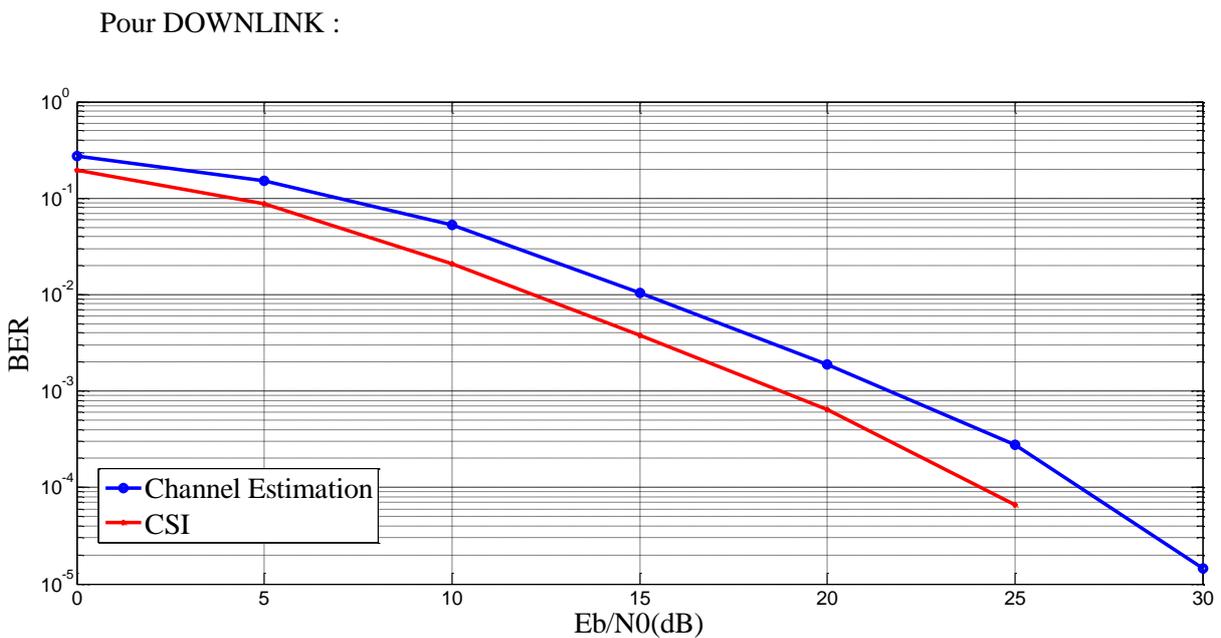


Figure 5.8 : Les variations du BER en fonction de E_b/N_0 pour 16QAM.

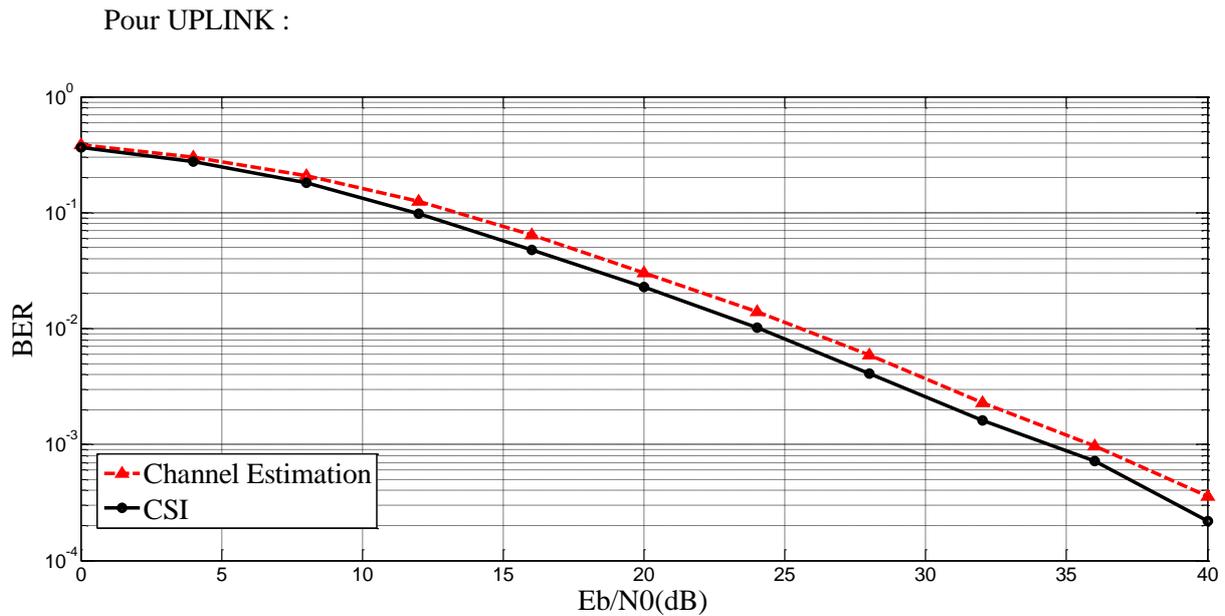


Figure 5.9 : Les variations de BER en fonction de Eb/N0 pour 64QAM

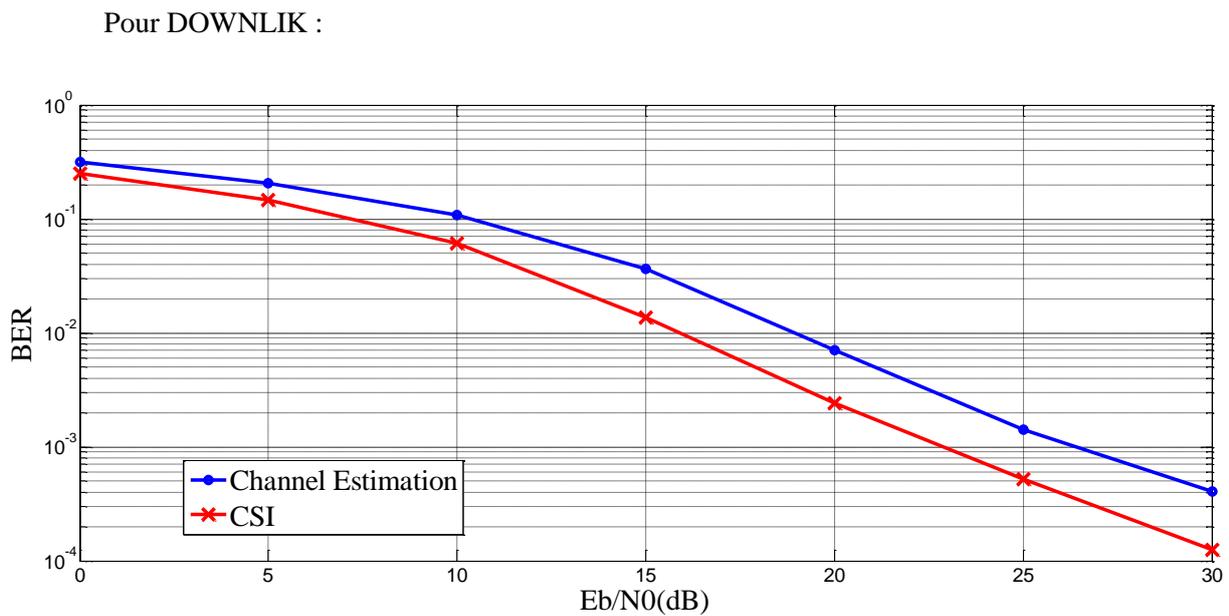


Figure 5.10: Les variations de BER en fonction de Eb/N0 pour 64QAM.

Etant donné que les conditions de la chaîne varient, les CSI instantanées doivent être estimées à court terme.

Une approche populaire est appelée séquence d'entraînement (ou séquence pilote), ou un signal connu est transmis et la matrice de canal H est estimée en utilisant la connaissance combinée du signal transmis et reçu.

La séquence est notée $\mathbf{P}_1, \dots, \mathbf{P}_N$, ou le vecteur \mathbf{P}_i est transmis sur le canal comme :

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}\mathbf{P}_i + \mathbf{n}_i \quad (5.1)$$

En combinant les signaux de formation reçue \mathbf{y}_i pour $i = 1, \dots, N$, la signalisation totale de formation devient :

$$\mathbf{Y} = [\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_N] = \mathbf{H}\mathbf{P} + \mathbf{N} \quad (5.2)$$

Avec :

- la matrice d'entraînement $\mathbf{P} = [\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_N]$
- et la matrice de bruit $\mathbf{N} = [\mathbf{n}_1, \dots, \mathbf{n}_N]$.

Avec cette notation, l'estimation du canal signifie que H devrait être récupérer à la connaissance de \mathbf{Y} et \mathbf{P} [16].

Après l'exécution et la génération des différentes modulations dans le UPLINK et le DOWNLINK du LTE, on va les comparer maintenant avec les différentes modulations pour le WiMAX.

Commençons par l'exécution de la commande : `combinedplot_deepak.m` dans le programme `wimax phy layer simulation` exister déjà dans la bibliothèque Toolbox de MATLAB, on reçoit la figure si dessous :

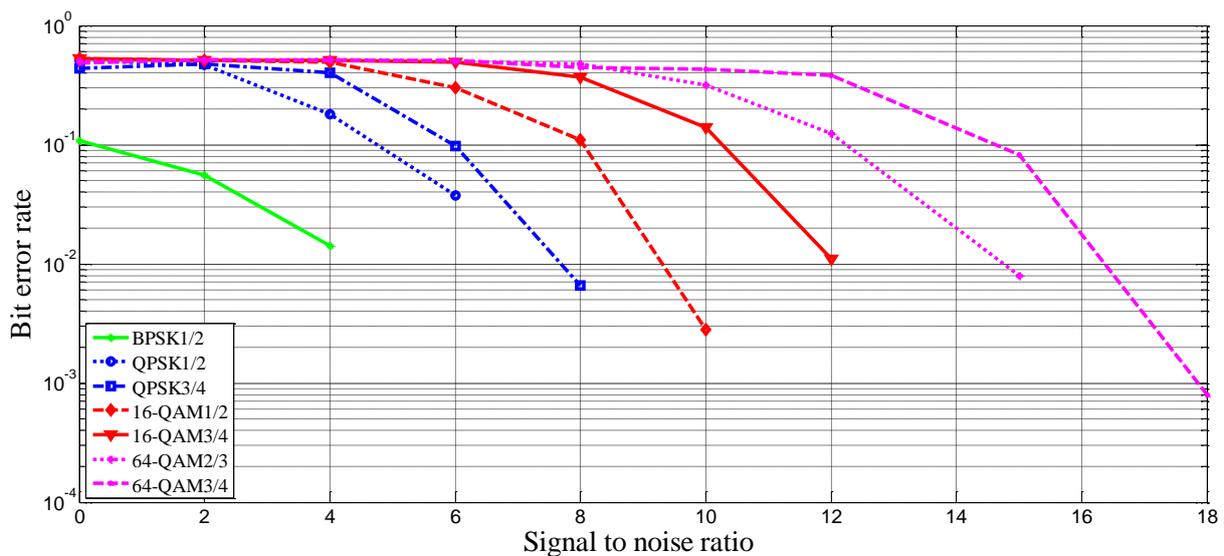


Figure 5.11 : BER en fonction du SNR pour les différentes modulations

Or que dans le programme *deepwimaxmain.m* on va avoir le tableau :

```
---> To do Simulate different modulation please enter ur choice:
```

Modulation	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64QAM-3/4
rate_id	0	1	2	3	4	5	6

```
Please enter the rate_id = 4
```

```
Please select the value of G(Cyclic Prefix) [1/4 1/8 1/16 1/32] G= 1/32
```

```
please enter number of ofdm symbol (eg. 10 50 100) no= 50
```

Là on peut choisir :

- le rate_id associé pour la modulation désiré
- le préfixe cyclique pour le codage
- et le nombre de symbole pour l'OFDM.

Résultat :

La comparaison de la figure 5.11 avec les différentes modulations de la LTE en remarque que :

- Les données sont modulées en utilisant QPSK, 16QAM ou 64 QAM de manière adaptative pour obtenir le meilleur débit du système. Pour se garantir contre les erreurs de canal de propagation, le turbo-codage convolutif est utilisé pour la correction de l'erreur vers l'avant avec un taux de base de 1/3 [23].
- les figures illustrent le résultat du traitement avec des valeurs E_b / N_0 comprises entre 0 et 40 dB et le nombre maximal de bits à 10^0 . Cela implémente un estimateur de canal idéal. Notez que la mesure du BER est assez faible, même à des valeurs faibles de SNR (Signal to-Noise Ratio). Par exemple, à un E_b / N_0 de 0 dB , nous avons presque un BER de 10^0 et à 6dB, nous avons un BER dépasse 10^{-1} pour la modulation QPSK du WiMax par contre un BER de 10^{-3} à un E_b/N_0 de 20dB pour le LTE.

- Pour un SNR de 10 dB :

	LTE	WiMAX
16 QAM	10^{-1} UL $>10^{-1}$ DL	$[10^{-4}, 10^{-3}]$
64 QAM	$>10^{-1}$ UL et DL	10^0

- Pour un BER de 10^{-2} :

	LTE	WiMAX
QPSK	13dB UL 10dB DL	8dB
16 QAM	20dB UL 13dB DL	12dB
64 QAM	24dB UP 15dB DL	15dB

- ✓ Des deux tableaux précédents on remarque que les valeurs de SNR et de BER pour le LTE sont supérieures à celles du WiMAX.

De là on peut dire que Les utilisateurs envoient des données à l'eNodeB à l'aide de cette chaîne. Il prend en charge QPSK, 16 QAM et 64 QAM modulation avec un taux de fréquence cardiaque de 1/3 [21]. La principale différence entre la liaison descendante et le liaison montante dans LTE et d'autres technologies de liaison montante telles que WiMAX, c'est que la technologie de liaison montante LTE utilise SC-FDMA. Étant donnée une technologie modulée SC-FDMA, elle économise l'énergie de la batterie en réduisant le PAPR du signal modulé.

7. Conclusion :

LTE et WiMAX conçues pour améliorer les débits de données et la capacité du système. Les deux technologies utilisent une bande passante variable et des techniques flexibles de modulation adaptative avec une allocation efficace des ressources physiques pour utiliser le canal disponible et obtenir le meilleur débit possible. La meilleure utilisation des ressources de temps et de fréquence est la clé pour obtenir les meilleurs résultats. Les paramètres de couche physique pour WiMAX et LTE utilisent des ressources physiques de différentes façons et atteignent des performances optimisées dans des scénarios en temps réel.

Les paramètres qu'on a utilisés dans ce chapitre sont analysés pour comprendre les proximités et les différences entre les technologies.

Conclusion

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.

D'autre part, ce projet nous a permis d'améliorer nos connaissances sur la manipulation des signaux LTE par MATLAB, 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.

Les systèmes de communication utilisant le support hertzien constituent aujourd'hui une solution de substitution aux moyens filaires pour le raccordement direct des clients. Plusieurs communautés collaborent afin de standardiser les technologies qui sont, tantôt concurrentes, tantôt complémentaires de ces réseaux. Chaque technologie devrait pouvoir trouver sa place, son usage et sa cible.

Le choix d'une technologie sans fil dépend de l'usage que l'on souhaite en faire. Le WiMAX est l'une de ces nouvelles technologies. Elle est fondée sur le standard IEEE 802.16, et porte beaucoup de promesses pour l'avenir.

Cette technologie, dans sa version mobile, ou encore le IEEE 802.16e, permet d'assurer la mobilité des utilisateurs. Pour maintenir la connexion au cours de leurs déplacements, le processus de Handover joue un rôle très important.

La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Annexes

Annexe A

WCDMA :

Le processus d'étalement est illustré dans la figure 1.2 (b), qui montre le code d'étalement du $k^{\text{ième}}$ utilisateur qui est représenté par la séquence de chips $c_k^{(p)}$, où $p = 1, 2, 3, \dots, M$ et où M représente la longueur du code ($M = 4$ dans cet exemple).

Chaque chip a une durée T_c et une amplitude égal à $+1$ ou -1 . Le débit avec lequel varie l'information étalée est appelé débit *chip* (ou *chip rate*) que l'on notera B_{spr} . Ce débit est égal à $1/T_c$, exprimé en chips par seconde (cps).

D'autre part, le $n^{\text{ième}}$ symbole du message d'information de l'utilisateur k est noté $d_k^{(n)}$, où $n = 1, 2, \dots$. Ainsi, et de manière similaire, nous pouvons aussi noter la durée de chaque symbole par T_s , à partir de laquelle nous pouvons également formuler le débit symbole $B_s = 1/T_s$ exprimé en symboles par seconde (sps). Il est important de constater que ce débit symbole est variable dans un système DS-CDMA, car il dépend du service offert (voix, vidéo ou données), tandis que le débit *chip* B_{spr} est constant et fixé à 3.84 Mcps (Millions de chips par seconde).

Le rapport entre le débit du signal étalé et le débit du signal non étalé est appelé facteur d'étalement SF . Il représente une propriété importante de l'étalement de spectre et s'exprime par :

$$SF = \frac{B_{spr}}{B_s} = \frac{1/T_c}{1/T_s} = \frac{T_s}{T_c} \quad (1.1)$$

Par conséquent, le facteur d'étalement dans un système DS-CDMA est égal au nombre de chips utilisés pour étaler un symbole d'information. Après la génération des codes, le processus d'étalement se déroule simplement en multipliant le message par $+1$ ou -1 . Selon la figure 1.2 (b), il apparaît clairement que $T_s > T_c$, d'où $B_{spr} > B_s$. On comprend alors comment on passe d'un signal à bande étroite vers un signal à large bande.

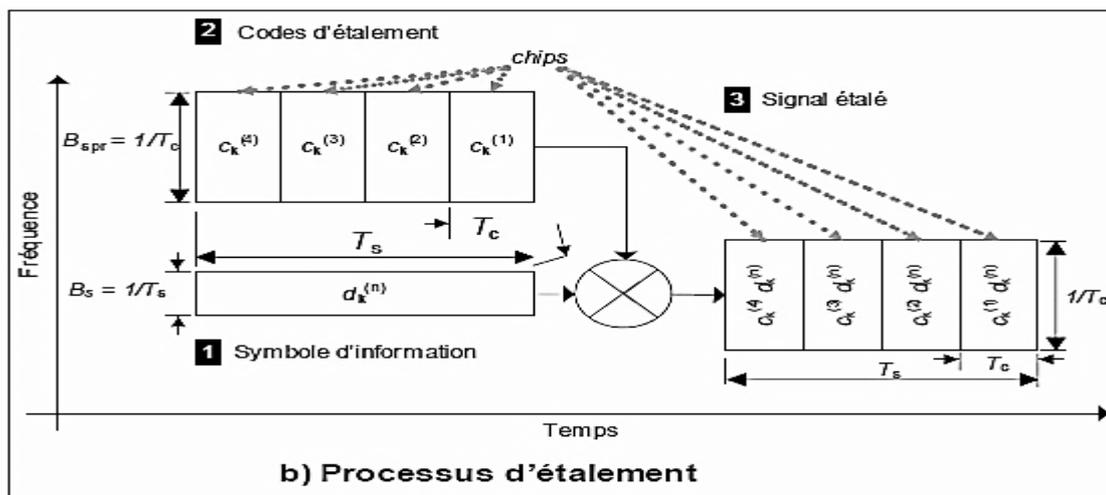


Figure 1: Étalement à séquence directe DS-SS.

Annexe B.

a. Canal MIMO :

Pour un canal MIMO, avec M antennes émettrices et N antennes réceptrices. La capacité augmente donc beaucoup plus vite que dans les cas SISO et SIMO grâce au grand nombre d'antennes.

Le système MIMO avec $M = 2$ et $N = 2$ a une capacité équivalente à celle du système SIMO avec quatre antennes. La capacité MIMO augmente ensuite beaucoup plus rapidement avec le SNR, pour finir avec un gain de plus de 50% à 25 dB de SNR. Nous pouvons aussi vérifier que la capacité du système MIMO à huit antennes est presque le double de celle du système à quatre antennes.

b. Techniques de combinaisons de diversité :

Grâce à différentes techniques, nous pouvons combiner les signaux pour obtenir un signal sans évanouissements. Il existe notamment des techniques de combinaisons linéaires plus ou moins complexes qui permettent de récupérer un signal avec un bon niveau moyen.

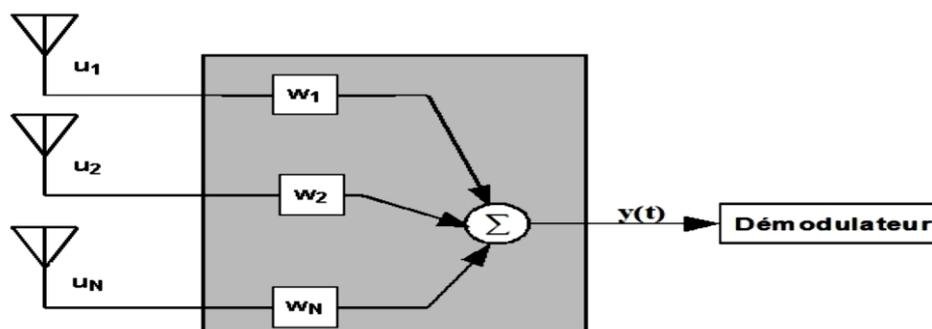


Figure 2 : la combinaison des signaux reçus par un système.

- ❖ **Combinaison par commutation** : La technique de combinaison par commutation ne nécessite qu'un seul récepteur radio entre les N branches.
- ❖ **Combinaison par sélection (SC)** : Elle consiste à choisir le signal ayant la puissance maximale ou le meilleur rapport signal sur bruit (SNR) parmi tous les signaux indépendants arrivant aux récepteurs.
- ❖ **Combinaison par gain égal (EGC)** : Les deux techniques précédentes n'utilisent le signal que d'une branche à chaque instant comme signal de sortie. Pour améliorer la puissance moyenne du signal de sortie, les signaux de toutes les branches peuvent être combinés pour former le signal de sortie. Cependant, les signaux de toutes les branches ne sont pas en phase.
- ❖ **Combinaison par rapport maximal (MRC)** : L'inconvénient majeur de la technique par EGC est que si l'une des branches a un signal très faible, cela peut entraîner une réduction du signal combiné à la sortie. Pour empêcher ce phénomène, dans la technique MRC, un coefficient de pondération w_i est appliqué sur chaque branche avant que tous les signaux ne soient combinés. Ainsi pour maximiser le signal à la sortie du combineur, une branche avec un SNR élevé, donnera un coefficient de pondération élevé ce qui permettra de choisir les signaux à combiner.

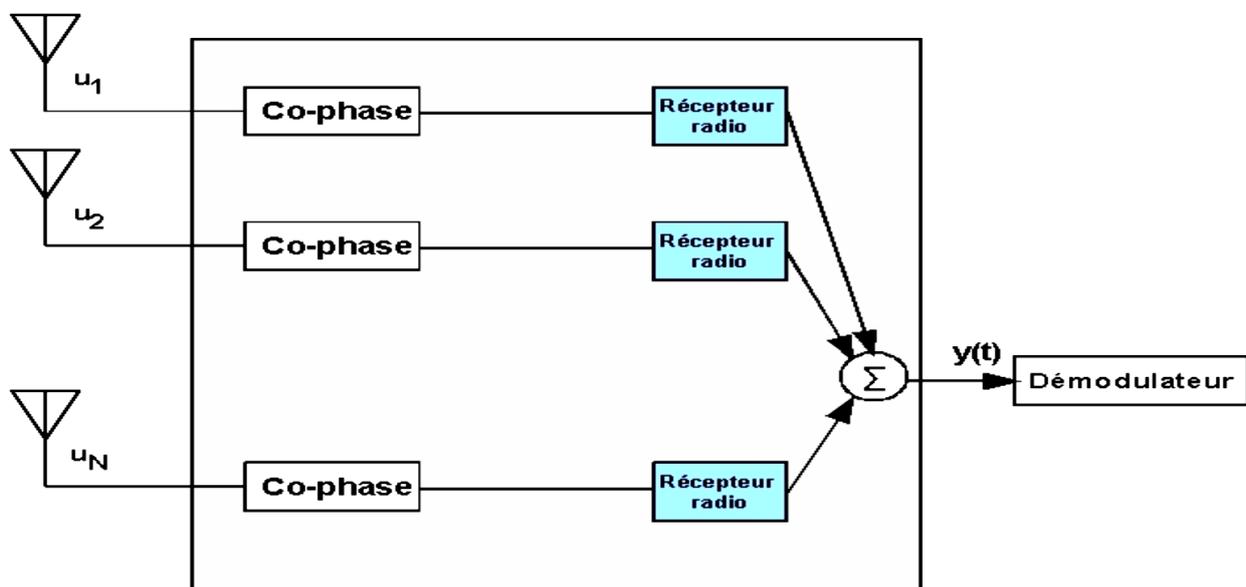


Figure 3: Combinaison par gain égal (EGC)

Annexe C.

Bandes de fréquences LTE :

LTE Band	Uplink eNode B receive UE transmit	DL eNode B transmit UE receive	Duplex mode
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1452.9 MHz	1475.9 MHz – 1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

Tableau : bandes de fréquences LTE

Bibliographies

Bibliographies:

- [1] C.Smith et D.Collis, « 3g wireless networks», Mc Graw Hill Professional, 2002.
- [2] P.M.D. Alwis, «Call admission control and resource utilization in wcdma networks», Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2005.
- [3] J.G.Andrews, «Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking. ISBN : 0132225522», Prentice Hall PTR, 2007.
- [4] IEEE Std 802.16e, IEEE 802.16e/d12, air interface for fixed and mobile broadband wireless acces systems IEEE Standard for local and Metropolitan Area Networks. 2005.
- [5] Prof. Lajos Hanzo, Dr. Yosef (Jos) Akhtman and Dr. Li Wang All of University of Southampton, UK Dr. Ming Jiang Currently with New Postcom Equipment Co., Ltd A John, «MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi and WiMAX »,2011.
- [6] Tara Ali- Yahiya, «MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi and WiMAX », paris, january 2011.
- [7] Moray Rumney, «LTE and the Evolution to 4G Wireless», design and Measurement Challenges,2008.
- [8] Leonhard Korowajczuk, «LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis»,CelPlan Technologies, Inc, Reston, VA, USA, 2011.
- [9] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, «4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G », 2016
- [10] A. Ghosh, R. Ratasuk, «Essentials of LTE and LTE-A», Cambridge University Press, 2011.
- [11] Christopher Cox, «An introduction to LTE », United Kingdom,2014.
- [12] Y.S. Cho, J.K. Kim, W.Y. Yang, C.G. Kang, «MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB», John Wiley and Sons (Asia) Pte Ltd, 2010.
- [13] Human Zarrinkoub, «Understanding LTE with MATLAB», *MathWorks, Massachusetts, USA,2014.*
- [14] Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, «LTE ET RESEAU 4G», Sousla direction de Guy Pujolle. 2012.
- [15] J. D. Parsons, «The Mobile Radio Propagation Channel», Wiley, 2000.
- [16] Lian Xiangyu, «Encoder and Decoder Designof LTE Physical Downlink Control Signals», Lund University, January 2014.

Bibliographies

- [17] Xavier Bernat Serret, «Performance of LTE Applying Transmit Antenna Selection Algorithms», Universitat Politècnica de Catalunya, mai 2014.
- [18] Markus Rupp, Stefan Schwarz, Martin Taranetz, «The Vienna LTE-Advanced Simulators», Institute of Telecommunications TU Wien Vienna Austria, 2016.
- [19] J. C. Ikuno, M. Wrulich, and M. Rupp, “System level simulation of LTE networks”, in Proc. 2010
- [20] Harri Holma et Antti Toskala, «LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced», United Kingdom, 2011
- [21] K. Pietikainen, F. Del Carpio, H.-L. Maatainen and M. Lampinen, "System-level Performance of Interference Suppression Receivers in LTE System," in IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Yokohama, May 2012.
- [22] Abd-Elhamid M. Taha Hossam S. Hassanein et Najah Abu Ali, «LTE, LTE-ADVANCED AND WiMAX», *Queen's University, Canada et UAE University, United Arab Emirates, 2012*
- [23] Amitabha Ghosh and Rapeepat Ratasuk, «Essentials of LTE and LTE-A», Cambridge University Press, 2011.

Résumé

Ces dernières années la demande en trafic dans les réseaux radio-cellulaires a évolué de manière vertigineuse. Pour faire face à cette demande, l'organisme de standardisation international 3rd Generation Partnership Project (3GPP) a introduit le nouveau système radio cellulaire Long Term Evolution (LTE). Ce dernier adopte une architecture simplifiée tout-IP et devrait fournir une efficacité spectrale qui est environ deux à trois fois plus élevée que celle du 3GPP. LTE offrira aussi jusqu'à 100 Mbit/s de débit sur la liaison descendante (DL) avec une largeur de bande spectrale qui peut atteindre 20 MHz. Les systèmes LTE utilisent la technique de multiplexage et de codage des données Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) dans la transmission sur la liaison descendante de l'interface radio et la technique Single carrier Frequency Division Multiplexing Access (SC-FDMA) dans la transmission sur la liaison montante (UL).

Une petite recherche de détails sur les deux technologies LTE et WiMAX dévoile une grande concurrence. Cependant, nous pouvons affirmer en toute sécurité que cette concurrence se limite à partager le marché du haut débit sans fil plutôt qu'avec une compétition technologique.

Abstract

In recent years demand for traffic in cellular radio networks has changed dramatically. To meet this demand, the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) has introduced the new Long Term Evolution (LTE) cellular radio system. The latter adopts simplified all-IP architecture and is expected to provide spectral efficiency which is approximately two to three times higher than that of 3GPP. LTE will also offer up to 100 Mbit / s downlink (DL) throughput with a spectral bandwidth of up to 20 MHz. LTE systems use the multiplexing and encoding technique of the Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) data in the downlink transmission of the radio interface and the Single Carrier Frequency Division Multiplexing Access (SC-FDMA) on the uplink (UL).

A small search for details on both LTE and WiMAX technologies unveils a great competition. However, we can safely say that this competition is limited to sharing the wireless broadband market rather than technological competition.