



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique



MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ÉTUDE

Pour l'obtention du diplôme de master

Systèmes Microélectroniques, de Télécommunications et de l'Informatique
Industrielle

***Systeme 4G : Étude et simulation de l'interface radio LTE-Advanced
dans un environnement monocellulaire et multicellulaires***

Réalisé par :

Encadré par :

 **Mr *DRISS KOHKOH***

 **Pr Mme *Najiba EL AMRANI EL
IDRISSI***

Soutenu le : 21 Juin 2013

Devant le jury composé de :

 **Pr. Mr *El Houcine ABARKAN*** *Président du jury* **Pr (F.S.T.Fès)**

 **Pr. Mme *Najiba EL AMRANI EL
IDRISSI*** **Pr (F.S.T.Fès)**

 **Pr. *Nor said Echatoui*** **Pr (F.S.T.Fès)**

 **Mr *Younes BALBOUL*** **(F.S.T.Fès)**

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2012/2013



Remerciements

*A*u terme de ce travail, je voudrais exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce projet dans les meilleures conditions.

*J*adresse ma profonde gratitude à Mme *Najiba EL AMRANI EL IDRISSE*, Professeur à la **FSTF**, particulièrement pour son encadrement, son aide, sa disponibilité permanente et son soutien, et je tiens aussi à remercier le doctorant Youness BALBOUL pour son aide et son soutien.

*J*adresse aussi ma plus vive reconnaissance à tous mes enseignants de la **FSTF** pour la formation qu'ils m'ont donné ainsi qu'aux membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger mon travail.

*J*e remercie, enfin, ma famille et mes amis pour leur soutien durant mes études à la **FSTF**.

Dédicace

A la mémoire de mes grands parents

A mes chers parents

A mes sœurs

A tous ceux qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser ce travail

A tous les démocrates

Résumé

La naissance du standard LTE du consortium 3GPP, n'a pas été une solution pour les exigences imposées par l'Union Internationale des Télécommunications en termes de débit et d'efficacité spectrale, ce n'était qu'un pas vers la 4ème génération des réseaux cellulaires. D'où la nécessité d'évoluer vers LTE-Advanced. Cette évolution est caractérisée par un rythme accéléré, bien évidemment par l'apparition de LTE Rel-8, Rel-9, Rel-10, Rel-11... Dans le cadre de notre projet élaboré au laboratoire S.S.C de la faculté des sciences et techniques de Fès, le travail consiste à l'étude théorique et la simulation de la technique de transmission en lien descendant du système LTE Advanced dans un environnement Mono et Multi cellulaires.

Mon projet de fin d'étude débute avec une étude théorique des techniques radios utilisés et adoptées dans la norme 3GPP LTE et LTE-A, à savoir : OFDM, MIMO, CoMP, Carrier aggregation, etc. En suite la familiarisation avec le Model du simulateur Matlab du système radio LTE-Ad et sa configuration. (Code source Matlab avec la documentation), puis la création d'un nouveau model de simulation afin de satisfaire le besoin de simulation des différents techniques de transmission adopté en LTE-Advanced dans un environnement Monocellulaires et enfin faire la comparaison des résultats et simulations.

Abstract

The birth of the 3GPP LTE standard consortium was not a solution for the requirements of the International Telecommunication Union in terms of throughput and spectral efficiency, so it was just a step toward the 4th generation cellular networks. Hence the necessity of moving toward LTE Advanced. This evolution is characterized by an accelerated rhythm, obviously work by the emergence of LTE Rel-8, Rel-9, Rel-10, Rel-11 and beyond. As part of this work, elaborated in the SSC laboratory of the faculty of sciences and techniques of Fez, our work consists of a theoretical study and a simulation of the transmission technique in the downlink link of LTE Advanced system in Mono and Multi cellular environment.

My research starts with a theoretical study of the techniques used radios adopted the 3GPP LTE and LTE-A, namely OFDM, MIMO, CoMP, Carrier aggregation, etc, then the familiarization with the simulator Matlab; Model of Ad-LTE radio system and the configuration. And the creation (with Matlab source code documentation) of a new simulation model to satisfy the needs of different simulation techniques of transmission adopted the LTE-Advanced in Mono and Multi cellular environment. Finally we did a comparison between the results and the simulations.

Sommaire

Introduction générale	3
Liste des figures	5
Liste des tableaux :	7
Liste des abréviations.....	8
Chapitre 1 : Introduction à LTE Advanced et l’interface Radio	9
Introduction.....	10
1 .L’évolution vers LTE-Ad	10
1.2 Comparaison entre LTE et LTE-Ad	13
2. Architecture du LTE-Ad.....	14
3. L’interface radio	15
3.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	15
• Principe de l’OFDM.....	16
3.1.1 OFDMA.....	17
3.1.2 SC-FDMA.....	20
3.2 Modulation et codage adaptatifs.....	20
4. Description de l’implémentation physique de l’interface radio E-UTRA	23
4.1. Les modes de transmission TDD et FDD pour l’E-UTRAN :	23
4.2 Structure de trame LTE.....	24
4.3 Bloc de ressources et élément ressource	26
Conclusion	28
Chapitre 2 : LTE-Advanced étude et simulation de l’interface radio dans un environnement cellulaire	29
Introduction.....	30
1. Etudes des différents paramètres utilisés dans le paramétrage et simulation LTE	30
1.1 MIMO (multi input multi output)	30

1.2 Diversité spatial	32
•RX Diversité.....	33
•TX diversity.....	33
1.3 Multiplexage Spatial OLSM et CLSM	34
2. Paramétrage et simulation de l’interface radio dans un environnement monocellulaire	36
2.1 Modes « SISO, TxD, OLSM, CLSM »	36
2.2 Paramétrage et simulation SUMIMO	38
2.3 Paramétrage et simulation MUMIMO	39
2.4 La variation du débit en fonction de la bande de fréquence.....	46
Chapitre 3 : LTE-Advanced et les améliorations apportées par 3GPP.....	49
Caractéristiques du LTE-Advanced	50
1.CarrierAggregation.....	50
2.CoMP (Coordinated Multipoint).....	53
2.1. les avantages du LTE CoMP	53
2.2. les principes du LTE CoMP.....	54
2.2.1. Downlink LTE CoMP.....	56
2.2.2.Uplink LTE CoMP.....	56
3. LTE Relais.....	57
4. Concept LTE device to device.....	59
5. Les réseaux hétérogènes (HetNet).....	60
Conclusion générale	61
Annexe 1.....	62
Annexe 2.....	63
Annexe 3.....	64
Références	65

Introduction générale

L'histoire des réseaux mobiles est relativement récente puisque l'ouverture commerciale du premier réseau mobile fut annoncée en 1979 au Japon. Jusque-là, l'état de l'art en matière d'électronique et de micro-ondes n'autorisait pas l'émission/réception radio avec un équipement portable. Les progrès majeurs réalisés dans ces domaines ont permis de réduire de manière drastique la taille des terminaux. Le premier réseau mis en service était déjà basé sur le concept de motif cellulaire, concept défini au sein des *Bell Labs* au début des années 1970. Cette technique est une composante technologique clé des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont aussi appelés réseaux cellulaires.

Les réseaux radio mobiles sont généralement classés en générations, 1G (AMPS) est le système radio mobile analogique dans les années 1980, 2G le premier système radio mobile numérique, 3G le premier système large bande. LTE Rel-8 est le portail vers les réseaux de 4ème génération (soit 3.9 G), et LTE-Advanced Rel_10 est réellement le premier réseau 4G, et ce n'est plus le dernier pas de standardisation dans le processus de l'évolution à long terme.

Le 3GPP est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes :

- GSM/GPRS/EDGE ;
- UMTS (FDD et TDD) ;
- LTE, ainsi que celles du réseau cœur EPC ;
- ...

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une Release. Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini neuf Releases entre 1998 et 2011 :

Release 97 : définition du GPRS.

Release 99 : introduction de l'UMTS.

Release 4 : ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit.

Release 5 : introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS.

Release 6 : introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS.

Release 7 : introduction du HSPA+ MIMO.

Release 8 : introduction des évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC.

Release 9 : évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et introduction du DC-HSUPA ; seconde Release du LTE.

Release 10 : évolution multi-porteuse du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée LTE-Advanced.

La Release 11 est prévue pour être finalisée en septembre 2012.

La Release 12 et 13 et Beyond est la continuité du développement du réseau cellulaire.

Ce projet contient 3 chapitres :

- 1^{er} chapitre consiste une introduction concernant LTE-Ad et aussi la connaissance des caractéristiques et des techniques radios utilisées par exemple L'OFDM, MIMO...
- 2^e chapitre consiste la simulation du débit de transmission Downlink d'une cellule LTE- Ad dans un environnement monocellulaire.
- 3^e chapitre comprend les récents techniques du LTE-Advanced et les améliorations apportées par 3GPP.

Listes des figures :

Figure 1.1 : L'évolution du réseau mobile de la 2G à la 4 G.....	11
Figure 1.2 : Augmentation du trafic de données sans fil	12
Figure 1.3 : Réduction de la croissance du chiffre d'affaires.....	12
Figure 1.4 : Amélioration du réseau cellulaire pour atteindre la limite	13
Figure 1.5 : L'architecture générale du LTE AD.....	14
Figure 1.6 : Phénomène de multi trajets causé par les réflexions du signal sur les obstacles...16	16
Figure 1.7: Nombre de sous-porteuses pour différentes bandes spectrales.....	17
Figure 1.8 : l'espacement entre sous porteuse.....	17
Figure 1.9 : OFDM avec le préfixe cyclique.....	18
Figure 1.10 : Codages radio OFDMA et SC-FDMA.....	19
Figure 1.11 : sous-porteuses en mode OFDMA	19
Figure 1.12 : Différentes techniques de modulation utilisées en LTE.....	21
Figure 1.13 : le multi trajets induit des retards de propagation à l'origine du phénomène d'IES.....	22
Figure 1.14 : Plus les retards de propagation sont longs plus le canal devient sélectif en fréquences.....	22
Figure 1.15 : Répartition des voies montantes et descendantes en temps et fréquence pour les modes de duplexage TDD et FDD.....	23
Figure 1.16 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex.....	24
Figure 1.17 : Structure de trame en TDD.....	25
Figure 1.18 : le type du time Slot Selon la taille du Cyclique préfixe constituant le Symbole OFDM.....	26
Figure 1.19 : Bloc de ressources (PRB) et élément ressource (RE).....	27
Figure 2.1: Simplified illustration of 2x2 MIMO (Spatial Multiplexing).....	31
Figure 2.2 : MIMO est recommandée pour S / N élevé et TX diversité est utilisée de préférence pour les scénarios faible S / N.....	31
Figure 2.3 : SU-MIMO et MU-MIMO.....	32
Figure 2.4 : MIMO TxR LTE-A (8 X 4 MIMO) à gauche DL direction à droite UL direction.....	32
Figure 2.5 : MISO RX diversité.....	33

Figure 2.6: MISO TX diversité.....	33
Figure 2.7: Switched beamformer et adaptive beamformer.....	35
Figure 2.8 : Simulation du débit en fonction du SNR dans le cas des modes « SISO, TxD, OLSM, CLSM ».....	37
Figure 2.9 : SUMIMO Mode CLSM paramétrage et simulation.....	39
Figure 2.10 : MUMIMO simulation dans le cas RCVQ & PCK.....	40
Figure 2.11 : MUMIMO méthode PCK avec 5 UE.....	41
Figure 2.12 : MUMIMO méthode PCK avec 10 UE.....	41
Figure 2.13 : MUMIMO méthode PCK avec 15 UE.....	42
Figure 2.14 : MUMIMO méthode PCK avec 20 UE.....	42
Figure 2.15 : MUMIMO méthode PCK avec différents nombre d'UE.....	43
Figure 2.16 : MUMIMO méthode RCVQ avec 5 UE.....	43
Figure 2.17 : MUMIMO méthode RCVQ avec 10 UE.....	44
Figure 2.18 : MUMIMO méthode RCVQ avec 15 UE.....	44
Figure 2.19: MUMIMO méthode RCVQ avec 20 UE.....	45
Figure 2.20 : MUMIMO méthode RCVQ avec différents nombre d'UE.....	45
Figure 2.21 : MUMIMO comparaison de RCVQ et PCK.....	46
Figure 2.22 : MUMIMO, PCK la variation du débit en fonction de la bande passante.....	47
Figure 2.23 : la variation du débit en fonction des bandes de fréquence.....	48
Figure 3.1: Technique Carrier Aggregation.....	51
Figure 3.2: Carrier Aggregation FDD.....	51
Figure 3.3: Carrier Aggregation – Intra- and inter-band alternatives.....	52
Figure 3.4: Carrier Aggregation Serving Cells.....	53
Figure 3.5 : Concept de LTE Advanced COMP « Coordinated Multipoint ».....	55
Figure 3.6 : Relais LTE utilisé pour augmenter la densité du réseau.....	58
Figure 3.7 : LTE Relais extension de la couverture et remplissage des trous de la couverture.....	58
Figure 3.8 : LTE extension de la couverture.....	59
Figure 3.9 : LTE device to device.....	59

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : comparaison entre LTE & LTE-Ad.....	13
Tableau 1.2 : Nombre de PRB par CC en fonction de la bande disponible.....	27
Tableau 2.1 : Les valeurs des paramètres utilisées dans la simulation.....	37
Tableau 2.2 : Résultats de simulation selon les modes de transmission « SISO, TxD, OLSM, CLSM ».....	37
Tableau 2.3 : Valeurs des paramètres en mode CLSM.....	39
Tableau 2.4: Valeurs des paramètres dans le cas du MUMIMO.....	41

Liste des abréviations

2G 2nd Generation	OFDMA Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
3G 3rd Generation	OLSM (Open loop spatial multiplexing)
4G 4th Generation	PAPR Peak-to-Average Power Ratio
3GPP Third Generation Partnership Project	PBCH Physical Broadcast Channel
AMC Adaptive Modulation and Coding	PCCH Paging Control Channel
ARQ Automatic Repeat-reQuest	PCK perfect channel knowledge
BLER Block-Error Rate	PDSCH Physical Downlink Shared CHannel
CA Carrier Aggregation	PMI Precoding-Matrix Indicator
CC Component Carrier	PRB Physical Resource Block
CDMA Code Division Multiple Access	QAM Quadrature Amplitude Modulation
CLSM (closed loop spatial multiplexing)	QoS Quality-of-Service
CoMP Coordinated Multi Point transmission/reception	QPSK Quadrature Phase-Shift Keying
CP Cyclic Prefix	RB Resource Block
CQI Channel-Quality Indicator	RCVQ Channel Vector Quantization
CRS Cell-specific Reference Signal	RE Resource Element
DAC : Convertisseur numérique-analogique (<i>Digital-Analog Converter</i>)	RF Radio Frequency
DFT Transformée de Fourier discrète (<i>Discrete Fourier Transform</i>),	RI Rank Indicator
DL Downlink	RN nœuds relais
E-NodeB E-UTRAN NodeB	RX Receiver
EPC Evolved Packet Core	SAE System Architecture Evolution
E-UTRA Evolved UTRA	SC-FDMA SingleCarrier Frequency
EPC Evolved Packet Core	SE Subcarrier Equalization (Égalisation des sous-porteuses)
FDD Frequency Division Duplex	SINR Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
FDMA Frequency-Division Multiple Access	SNR Signal-to-Noise Ratio
GP Guard Period	SM multiplexage spatial
GSM Global System for Mobile communications	S-to-P : Transformation Série-Parallèle,
HARQ Hybrid ARQ	SUMIMO Single-User MIMO
HetNet (Heterogeneous Network)	TDD Time-Division Duplex
HSDPA High-Speed Downlink Packet Access	TDMA Time-Division Multiple Access
HSPA High-Speed Packet Access	TF Transport Format
HSPA+ High Speed Packet Access	TTI Transmission Time Interval
HSUPA High Speed Uplink Packet Access	TU typique urbain
ICI inter Cellular interference	TX Transmitter
IDFT Inverse Discrete Fourier Transform	UE User Equipment
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers	UL Uplink
IES interférences entre-symboles	UMTS Universal Mobile Telecommunications System
IFFT Inverse Fast Fourier Transform.	WCDMA Wideband Code Division Multiple Access
IMT International Mobile Telecommunications	Wi-Fi Wireless fidelity (WLAN based on IEEE 802.11)
IP Internet Protocol	WiMAX Worldwide interoperability for Microwave Access
UIT Union Internationale des Télécommunications	ZF Zero Forcing
LTE Long Term Evolution	
LTE-Ad Long Term Evolution advanced	
MCS Modulation and Coding Scheme	
MIMO Multiple-Input Multiple-Output	
MUMIMO Multi-User MIMO	
OFDM Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	

Chapitre 1 :

Introduction à LTE Advanced et l'interface Radio

Introduction

Dans ce chapitre on va parler de l'interface radio de laquelle on s'intéresse plus, et les techniques utilisées par cette dernière, on va aussi parler brièvement de l'architecture LTE-Ad. En effet dans ce chapitre on va attaquer :

- L'évolution vers LTE-Ad
- Architecture du LTE-Ad
- OFDM, OFDMA/SCFDMA
- Schéma duplex FDD et TDD
- Structures de trame et sous trame
- ...

1 .L'évolution vers LTE-Ad

Les communications sans fil ont évolué à partir de la deuxième génération dite (2G) systèmes du début des années 1990, qui a d'abord introduit la technologie cellulaire numérique, le déploiement de systèmes de troisième génération (3G) avec leurs réseaux de données et son accélération avec une grande vitesse à la technologie de quatrième génération qui est très attendue aujourd'hui. Cette évolution est illustrée à la figure 1, elle montre que moins de normes sont proposées pour la 4G que dans les générations précédentes, avec seulement deux candidats 4G sont activement développés aujourd'hui: 3GPP LTE-Advanced et IEEE 802.16m qui est l'évolution de la norme WiMAX connu comme le WiMAX mobile. Le tableau 1 montre l'évolution de la troisième génération Universal Mobile Telecommunication System 3GPP (UMTS) avec la technologie originale CDMA à large bande qu'est apparue avec sa première Relase en 1999/2000. Il y a de différentes Relases de l'UMTS, et en plus l'ajout de High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) en Relase 5 a marqué le début de la 3.5G. L'ajout du canal amélioré (E-DCH) connu sous le nom High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) a fait l'achèvement de la 3,5G. Alors La combinaison de la technologie HSDPA et HSUPA a donnée une norme appelée High Speed Packet Access (HSPA). LTE est arrivé avec la publication de la Relase 8 du cahier des charges en 2008 et LTE-Advanced est mis en place dans le cadre de la Relase 10.

L'élément moteur pour développer d'avantage vers LTE-Advanced, LTE R-10 a apporté de nouvelles c'est de fournir des débits plus élevés d'une manière rentable, et en même temps satisfaire complètement aux exigences fixées par l'UIT pour les systèmes IMT Advanced, aussi appelée 4G.

La standardisation du LTE-Advanced a eu aussi une grande capacité et un haut débit :

- Augmentation du taux de données de pointe, DL supérieur de 1 Gbps, et pour le UL 500 Mbps.
- Plus grande efficacité spectrale, d'un maximum de 16bps/Hz dans le cas du R8 à 30 bps / Hz dans le cas du R10
- Augmentation du nombre d'abonnés actifs simultanément
- L'amélioration des performances au niveau des bords de la cellule, par exemple pour DL 2x2 MIMO au moins 2.4bps/Hz/cell.
- Les principales nouvelles fonctionnalités introduites dans le LTE-Advanced sont l'agrégation de porteuses (CA), une meilleure utilisation des techniques antennes multiples et de soutien pour les nœuds relais (RN).

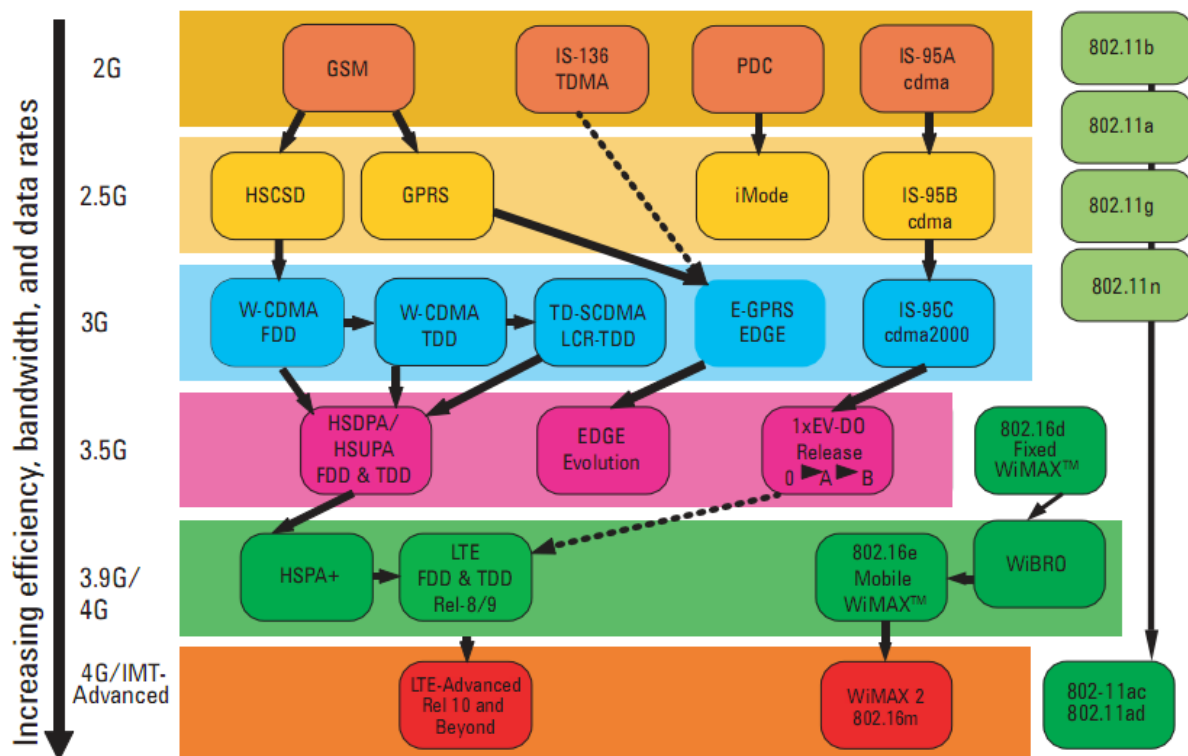


Figure 1.1 :L'évolution du réseau mobile de la 2G à la 4 G

La qualité, la demande et l'apparition de nouvelles applications tueuses de l'utilisateur ne sont pas les seuls motifs pour le développement de LTE-Advanced alors on cite 3 raisons pour son évolution.

Le trafic de données sans fil augmente de façon exponentielle. Les débits doivent augmenter pour faire face aux nouvelles exigences, alors le réseau doit être adapté pour ne pas souffrir trop.

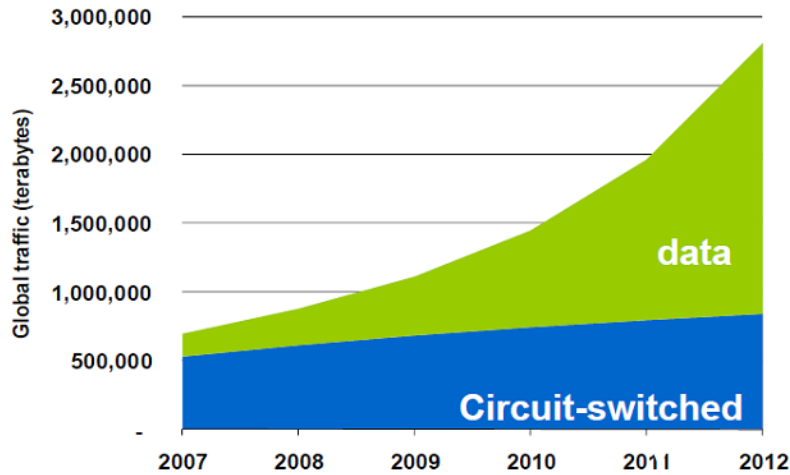


Figure 1.2 : Augmentation du trafic de données sans fil

Le chiffre d'affaires est en croissance chaque fois plus lentement. Il est nécessaire d'abaisser le coût de la transmission de données. LTE-Advanced permet des déploiements à faible coût et le coût par mégaoctet sera beaucoup plus faible que dans la 3G.



Figure 1.3 : Réduction de la croissance du chiffre d'affaires

La liaison radio atteint la limite, alors La prochaine étape sera l'utilisation des réseaux de topologie de pointe qui offriront des avantages comme une capacité de réseau nettement plus élevé, et aussi l'extension de la gamme des nœuds et les relais d'étendre la couverture et l'amélioration de la capacité.

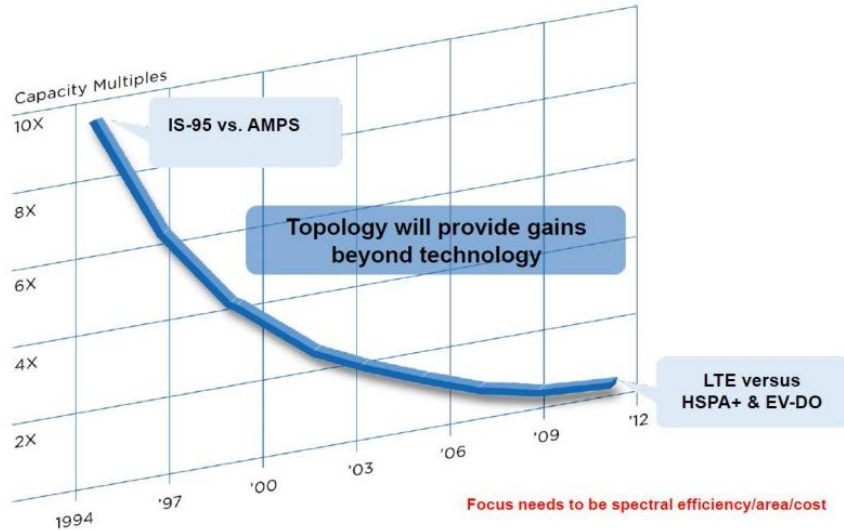


Figure 1.4 : Amélioration du réseau cellulaire pour atteindre la limite

1.2 Comparaison entre LTE et LTE-Ad

Le tableau ci-dessous montre la comparaison des exigences de performance du LTE avec certaines conventions actuelles du LTE Advanced.

Technology	LTE	LTE--A
Peak data rate Down Link (DL)	150 Mbps	1 Gbps
Peak data rate Up Link (UL)	75 Mbps	500 Mbps
Transmission bandwidth DL	20MHz	100 MHz
Transmission bandwidth UL	20MHz	40 MHz (requirements as defined by ITU)
Mobility	Optimized for low speeds (<15 km/hr) High Performance At speeds up to 120 km/hr Maintain Links at speeds up to 350 km/hr	Same as that in LTE
Coverage	Full performance up to 5 km	a) Same as LTE requirement b) Should be optimized or deployment in local areas/micro cell environments.
Scalable Band Widths	1.3,3, 5, 10, and 20 MHz	Up to 20–100 MHz
Capacity	200 active users per cell in 5 MHz.	3 times higher than that in LTE

Tableau 1.1 : Comparaison entre LTE & LTE-Ad

2. Architecture du LTE-Ad

La 3G a apporté de nouvelles pour l'architecture du réseau cellulaire pour qu'il puisse s'adapter avec la technologie d'accès radio du système de télécommunications cellulaire, c'est l'évolution du réseau cœur connu sous le nom du SAE ' System Architecture Evolution, le développement du réseau cœur « SAE » s'améliore avec l'évolution de la recherche pour atteindre un niveau considérablement plus élevé de performance qui conforme aux exigences du LTE.

C'est pour cela les opérateurs introduisent du matériel conforme aux nouvelles normes SAE, de sorte que les niveaux de données prévus peuvent être supportés lorsque la 3G LTE sera introduite, alors cette dernière a été développée pour qu'il soit pleinement compatible avec le LTE Ad, la nouvelle technologie 4G. Par conséquent lorsque le LTE Ad sera introduit, le réseau sera en mesure de traiter l'augmentation de données de plus en plus importante avec un minimum de changement.

Le réseau cellulaire avec sa nouvelle architecture correspond à LTE-Ad s'appelle EPS (Evolved Packet System). Il est constitué d'un nouveau réseau d'accès appelé LTE (Long Term Evolution) et d'un nouveau réseau cœur EPC (Evolved Packet Core) appelé SAE (système Architecture Evolution).

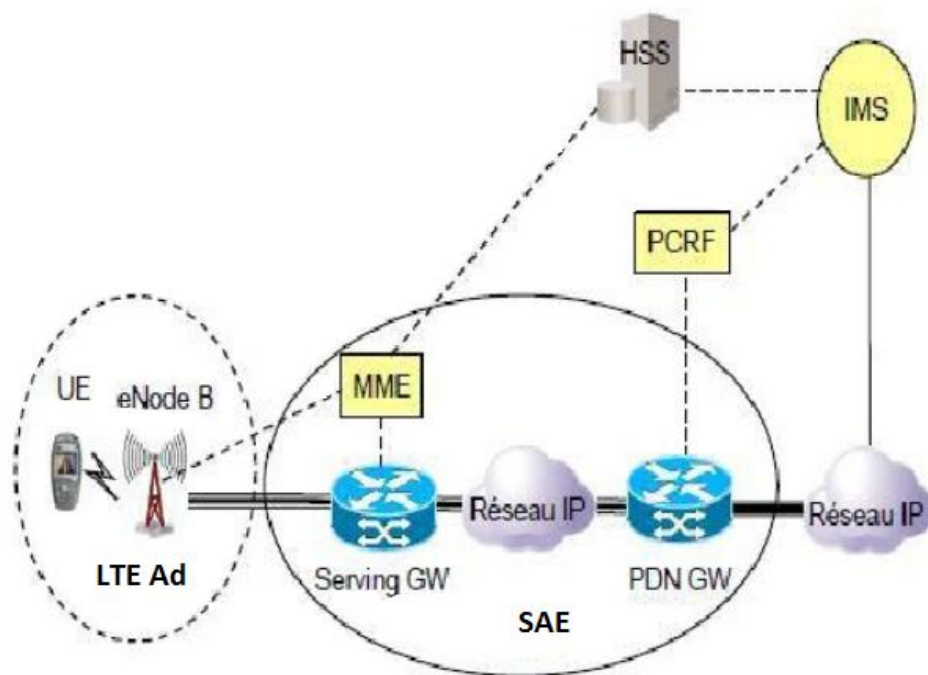


Figure 1.5 :L'architecture générale du LTE AD

3. L'interface radio

Cette interface fournit des connexions entre UE et eNodeB, Conçu pour être rétro-compatible avec les réseaux GSM et HSPA, LTE intègre des nouvelles technologies **MIMO** (Multiple Input Multiple Output), et L'**OFDM** qui nous a donné l'**OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) utilisée pour la liaison descendante et **SC-FDMA** utilisée dans le cas de la liaison montante. Cette combinaison fournit des niveaux élevés d'efficacité spectrale et la performance du réseau, couplé avec une grande capacité de réseau et une faible latence. LTE soutiendra des largeurs de bande de fréquences de 1,4 MHz à 20 MHz et peut atteindre 100 MHz en utilisant l'agrégation de porteuse et peut fonctionner en spectre apparié (en mode FDD) et en spectre non apparié (en mode TDD).

Bien que LTE utilise l'interface air OFDMA, la compatibilité LTE avec les réseaux GSM et les réseaux HSPA permet aux opérateurs mobiles de continuer à fournir un service sans faille à travers LTE et les réseaux déployés existants.

Cette interface radio n'a pas subi de grand changement par rapport LTE Rel-8, elle a gardé les mêmes spécificités et elle est caractérisée par deux techniques d'accès différentes pour le lien montant (SC-FDMA) et le lien descendant (OFDMA).

3.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

L'OFDM offre plusieurs avantages pour les systèmes radio mobiles. En particulier, il bénéficie d'une grande immunité contre l'interférence entre symboles créée par les réflexions du signal sur les objets de l'environnement. En outre, l'OFDM permet de gérer simplement des largeurs de bande variables et potentiellement grandes.

La LTE utilise l'OFDM pour la transmission des données en Downlink et la SC-FDMA pour la transmission Uplink. L'OFDM est une technique bien connue de modulation, mais elle est assez nouvelle dans les applications cellulaires.

Lorsque l'information est transmise sur un canal radio, le signal peut être déformé en raison de trajets multiples. Habituellement (mais pas toujours) il y a un chemin en ligne directe (Line of sight, LOS) entre l'émetteur et le récepteur. En outre, il existe de nombreux autres chemins créés par la réflexion du signal sur bâtiments, véhicules et autres obstacles comme les montre la figure ci-dessous.les signaux voyageant le long de ces trajets atteignent tous le récepteur,

mais sont décalés dans le temps par un montant correspondant aux différences de distances parcourues le long de chaque trajet.

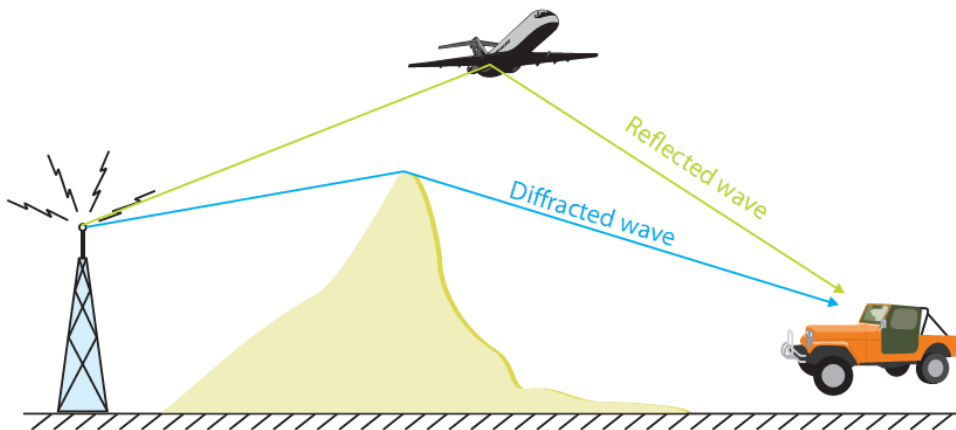


Figure 1.6 : Phénomène de multi trajets causé par les réflexions du signal sur les obstacles

• Principe de l’OFDM

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. Une description d'un modulateur OFDM de base est fournie à la figure ci-dessous. Il se compose d'une banque N_c de modulateurs complexe, où chaque modulateur correspond à une sous-porteuse OFDM. En bande de base, un signal OFDM $x(t)$, en notation complexe, au cours de l'intervalle de temps $(mT_u \leq t < (m+1)T_u)$ peut donc être exprimée par :

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k \Delta f t}$$

Où $X_k(t)$ est la k ème sous-porteuse modulée avec la fréquence $f_k = k \cdot \Delta f$ et a_k est le symbole de modulation,

complexe en général, appliquée à la sous-porteuse k ème durant l'intervalle m du symbole OFDM, c'est à dire pendant l'intervalle de temps $(mT_u \leq t < (m+1)T_u)$. La transmission OFDM est basée sur des blocs, ce qui implique que, au cours de chaque intervalle d'un symbole OFDM, N_c symboles de modulation sont transmis en parallèle. Les symboles de modulation

peuvent être de n'importe quel alphabet de modulation, tels que QPSK, 16QAM, ou 64QAM.

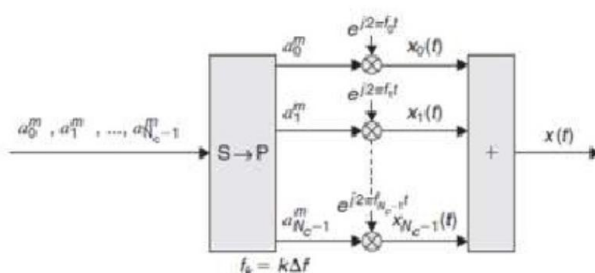


Figure : Modulateur OFDM

3.1.1 OFDMA

OFDMA est une extension de la technique de modulation OFDM pour permettre à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément sur un seul symbole OFDM. Cette technique d'accès est largement demandée dans les réseaux sans fils à large bande car elle résout le problème de sélectivité en fréquence du canal, en le découpant en sous canaux de largeur inférieure à la bande de cohérence. Ainsi, l'information est transmise via plusieurs sous porteuses orthogonales. Ces sous-porteuses sont générées grâce à l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), et leur nombre total qui dépend de la bande spectrale voir la figure ci-dessous.

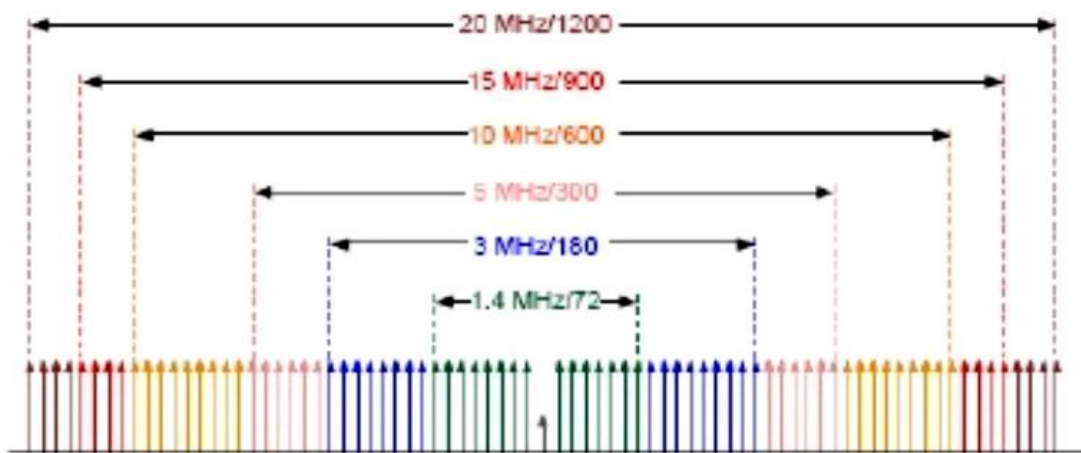


Figure 1.7 : Nombre de sous-porteuses pour différentes bandes spectrales

L'espace entre sous porteuses en LTE est fixé à 15 KHz, et le symbole OFDM est celui constitué de la totalité des symboles d'informations transmis via les sous porteuses (voir la figure ci-dessous).

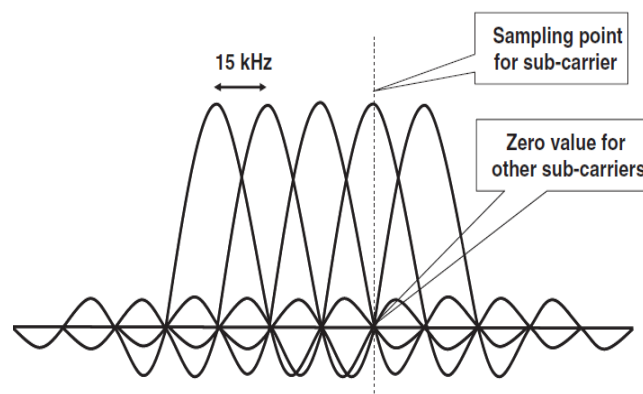


Figure 1.8 : l'espace entre sous porteuse

En codage orthogonal, l'espace entre chaque sous-porteuse doit être égal à :

$$\Delta f = (f_q - f_{q+1}) = n/T \text{ (Hertz)}$$

Cela implique que l'interaction entre sous porteuses et approximativement nul telle que :

$\int_0^T \cos(2\pi f_q t + \varphi) * \cos(2\pi f_q + 1t) dt \approx 0$ Où T secondes est la durée utile d'un symbole (c.à.d. la taille de la fenêtre de capture du récepteur), et n est un entier positif, généralement égal à 1. Par conséquent, avec N sous-porteuses la largeur totale de la bande passante sera de $B \approx N \cdot \Delta f$ (Hz).

Dans un canal multi-trajets, il y a risque d'interférence entre symboles OFDM. Pour cela il est nécessaire d'ajouter un préfixe cyclique, sa taille dépend du milieu de propagation. En LTE on fixe deux types de CP (Cyclic Prefix), l'un de taille normale (5.21 µsec), l'autre de taille étendue pour les milieux très dispersifs (16.67µs).voir la figure ci-dessous.

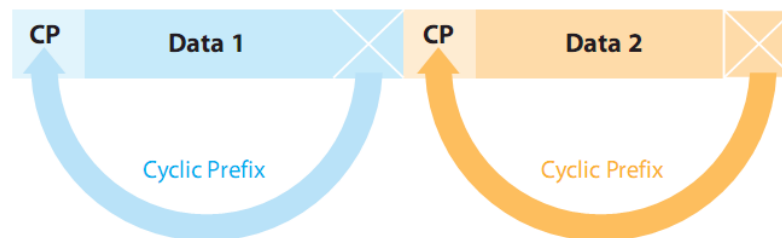


Figure 1.9 : OFDM le préfixe cyclique

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM, elle est optimisée pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO, elle a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA qui est utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de transmission downlink des réseaux mobiles car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale et à sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec échos et trajets multiples des ondes radio.

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une ou plusieurs antennes radio ; réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception.

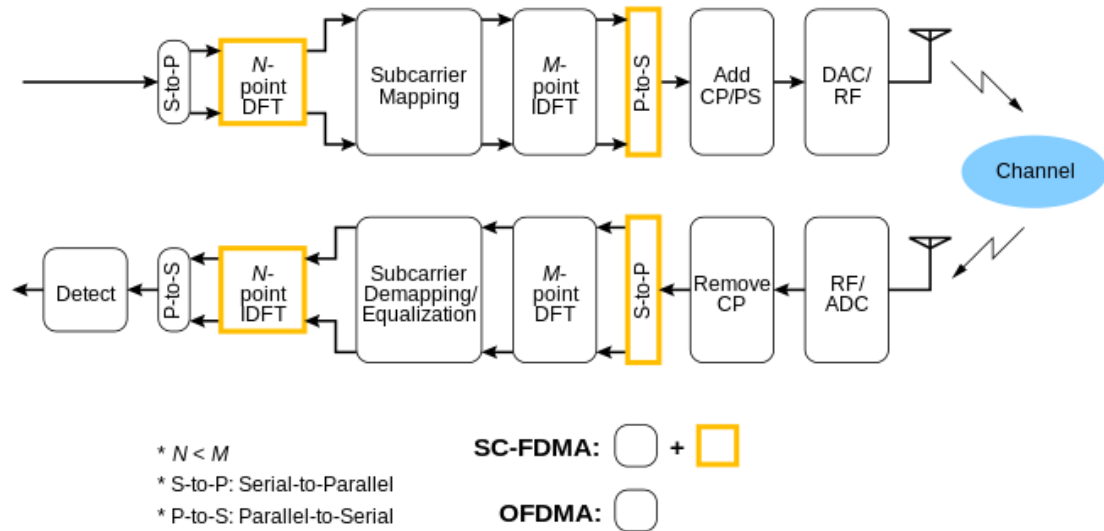


Figure 1.10 : Codages radio OFDMA et SC-FDMA

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long ($66.7 \mu s$ pour le LTE); cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de *fading* liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radios de moyenne et longue portée. OFDMA fournit une facilité et extensibilité de la bande passante par la configuration du nombre de sous-porteuses. Ceci permet à la station de base d'ajuster dynamiquement l'utilisation de la bande passante en fonction des exigences du système.

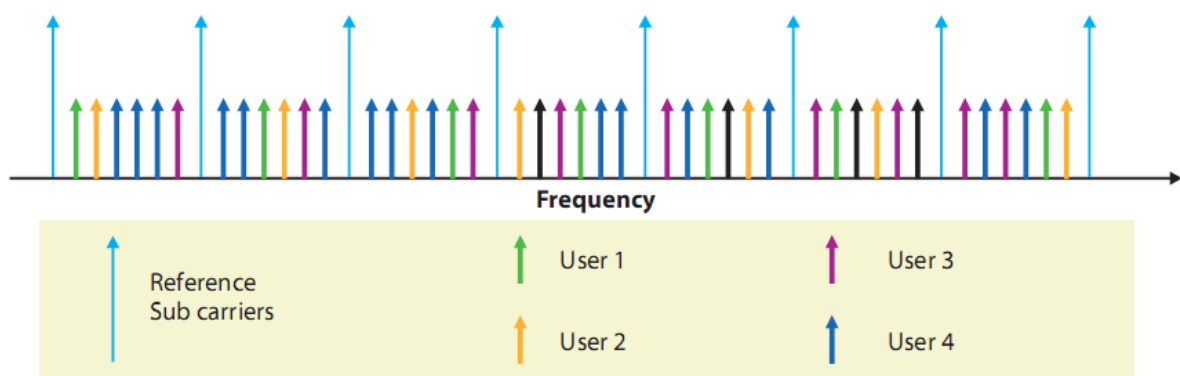


Figure 1.11 : sous-porteuses en mode OFDMA

Un filtrage pour séparer chaque sous-porteuse n'est pas nécessaire pour le décodage dans le terminal récepteur, une « Transformée de Fourier » FFT est suffisante pour séparer les sous-porteuses l'une de l'autre (dans le cas du LTE, il y a jusqu'à 1200 porteuses indépendantes).

Orthogonalité (le « O » de OFDMA) : c'est-à-dire utilisant des signaux orthogonaux les uns aux autres pour les sous-porteuses contiguës, on évite les interférences mutuelles. Ce résultat est obtenu en ayant un écart de fréquence entre les sous-porteuses qui est égal à la fréquence des symboles sur chaque sous-porteuse. Cela signifie que lorsque les signaux sont démodulés, ils ont un nombre entier de cycles dans la durée du symbole et leur contribution aux interférences est égale à zéro; en d'autres termes, le produit scalaire entre chacune des sous-porteuses est nul pendant la durée de transmission d'un symbole (66.7 μ s en LTE, soit une fréquence de 15 KHz, ce qui correspond à l'écart de fréquence entre 2 sous-porteuses), et l'utilisation de nombreuses sous-porteuses permet aussi de s'adapter facilement à la puissance d'émission de chaque canal et pour chaque utilisateur .

3.1.2 SC-FDMA

L'inconvénient majeur de la technique OFDMA, qu'elle est caractérisée par un PAPR (Peak to Average Power Ratio) assez élevé. Ceci est dû à la nature de l'OFDM, qui est basée sur la transmission multi-porteuse, la puissance en un instant donné, est égale à la somme de toutes les puissances sur chaque sous-porteuse. Un PAPR élevé dégrade énormément l'efficacité de consommation d'énergie chez un amplificateur RF, ce qui rend impossible l'adoption d'un tel schéma de transmission pour le sens montant, tout en respectant la contrainte de la durée de vie des batteries des UEs. Un autre concept est proposé pour le sens montant, nommé SC-FDMA (Single Carrier– FDMA). Ce dernier très semblable à OFDMA (voir figure 1.10). En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées

3.2 Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatif (AMCA Adaptive Modulation & Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Pour les transmissions DL en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Quantification du SINR) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Scheme), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BLER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain

seuil (généralement 10 %). En utilisant le fait que le canal est réciproque, le MCS en UL est maintenu le même ou inférieur. La figure ci-dessous résume les techniques de modulation mis en œuvre en LTE.

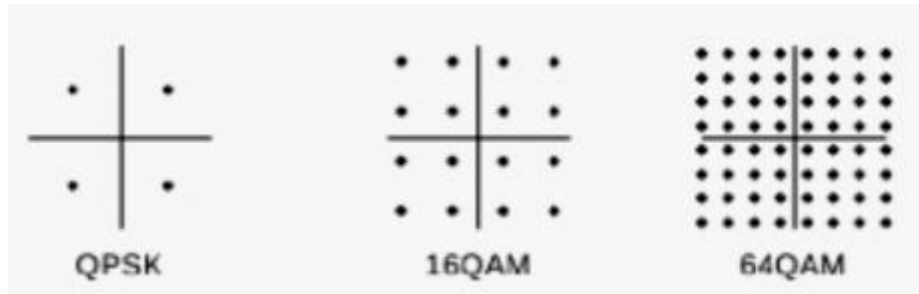


Figure 1.12 : Différentes techniques de modulation utilisées en LTE

3.3 Modulation à porteuse unique et égalisation

LTE utilise la modulation OFDM, plutôt qu'une modulation à une seule porteuse, il est instructif d'examiner brièvement comment les systèmes à porteuse unique font face à la distorsion du canal radio mobile provoquée par le phénomène de trajets multiples. Ceci constituera un point de référence à partir duquel les systèmes OFDM peuvent être comparés et contrastés.

Le retard de propagation « delay spread », désigne la valeur du retard au niveau du récepteur d'un signal voyageant de l'émetteur sur des chemins différents. Dans les applications cellulaires, les Delay Spreads peuvent être de quelques microsecondes. Alors le retard induit par le phénomène de trajets multiples peut provoquer l'interférence entre un symbole reçu le long d'un chemin d'accès retardé et un symbole ultérieure arrivant au niveau du récepteur grâce à un trajet plus direct. Cet effet est illustré à la figure ci-après il est dénommé interférences entre-symboles (IES). Dans un système à seule porteuse conventionnel le temps symbole diminue à mesure que le débit augmente. À des débits très élevés (avec en conséquence une réduction des périodes de symboles), il est tout à fait possibles pour l'IES de dépasser un temps symbole en entier et de causer le déversement d'un symbole dans un autre symbole.

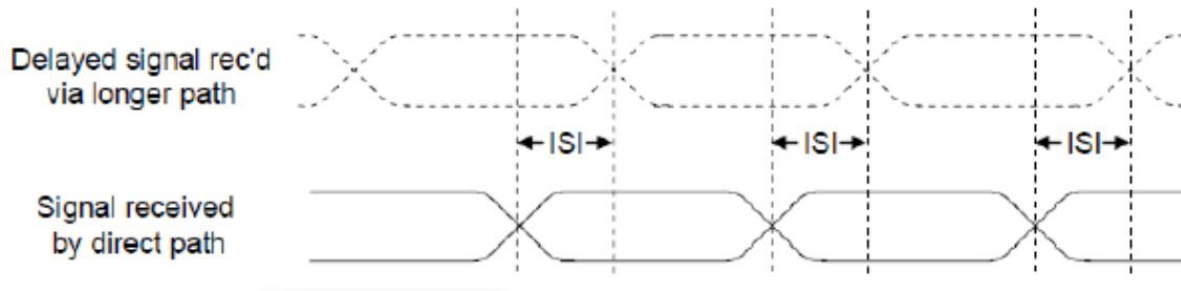


Figure 1.13 : le multi trajets induit des retards de propagation à l’origine du phénomène d’IES
 Chaque chemin de longueur différente et réflexion différente se traduira par un décalage de phase spécifique. Comme tous les signaux sont combinés au niveau du récepteur, certaines fréquences dans la bande passante du signal peuvent subir des interférences constructives ou destructives. Le signal composite reçu est déformée par la fréquence de fading sélectif (voir la figure ci-dessous).

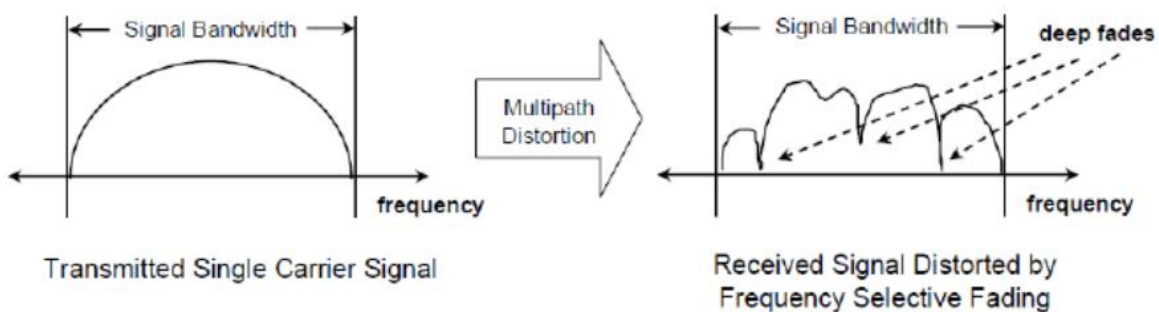


Figure 1.14 : Plus les retards de propagation sont longs plus le canal devient sélectif en fréquences

Les systèmes de porteuse unique compensent la distorsion de canal via une égalisation dans le domaine temporel par une des deux méthodes suivantes :

- **Inversion du canal :** avant d’envoyer l’information, on envoi une séquence déjà connu par le récepteur, un égaliseur de canal détermine la réponse du canal pour la multiplier après avec les données reçues pour inverser les effets des trajets multiples.
- **Egalisateur Rake:** employé dans les systèmes CDMA, il combine des copié de signal numérique décalé dans le temps pour aboutir à un meilleur SNR.

Pour les débits de la LTE-Ad (jusqu’à 100 Mbits / s) le temps de propagation (près de 17 μ s) L’IES devient beaucoup plus sévère couvrant éventuellement plusieurs périodes de symbole et l’approche d’égalisation canal devient impraticable.

4. Description de l'implémentation physique de l'interface radio E-UTRA

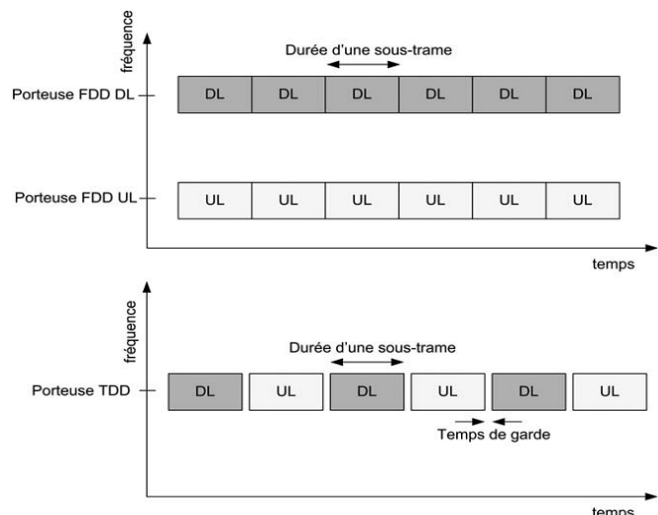
Bien que la dernière amélioration de la 3GPP comme l'HSPA+ avec la Release 7 devrait fournir une technologie d'accès concurrentiel à haut niveau, 3GPP vise à définir un plus long chemin de l'évolution pour assurer la compétitivité, ce qui est réalisé par l'introduction de la nouvelle technologie LTE qui se base sur la technique d'accès Multiple OFDMA pour le Downlink et la SC-FDMA en Uplink, appuyée par une grande flexibilité au niveau de la couche physique.

4.1. Les modes de transmission TDD et FDD pour l'E-UTRAN :

Une Partie des exigences pour l'EUTRAN est la capacité de faire face à diverse modes de transmissions et dans différentes bandes, c'est ainsi que l'EUTRAN supporte le fonctionnement dans des bandes allant de 1,25 Mhz jusqu'à 20 Mhz en différents modes de transmission (FDD, TDD et le combine TDD&FDD ou FDD half duplex) comme montré dans la figure ci-dessous.

En mode FDD, les voies montante et descendante opèrent sur deux fréquences porteuses séparées par une bande de garde. En mode TDD, les voies montante et descendante utilisent la même fréquence porteuse, le partage s'effectue dans le domaine temporel, comme illustré sur la figure suivante. Certains intervalles de temps de transmission sont réservés à la voie montante, tandis que les autres sont réservés à la voie descendante. Un temps de garde est nécessaire aux changements de direction de transmission, notamment pour laisser aux équipements le temps de basculer d'émission à réception. En LTE, l'intervalle de temps élémentaire pouvant être dédié à l'un des sens de transmission est appelé la sous-trame (voir la section « Structure de trame de l'interface radio »

Figure 1.15 : Répartition des voies montantes et descendantes en temps et fréquence pour les modes de duplexage TDD et FDD



4.2 Structure de trame LTE

Dans le but de garantir la compatibilité entre LTE Rel-8/Rel-9 et LTE Rel-10&beyond, on a gardé pratiquement la même structure de la couche physique. Cette dernière est caractérisée par deux types de trame 1 et 2, chacune pour un mode de duplexage, respectivement pour FDD et TDD.

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures suivantes :

- Le type 1 est adapté au FDD et au FDD half-duplex.
- Le type 2 est adapté au TDD.

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-trames utilisables dans chaque direction de transmission.

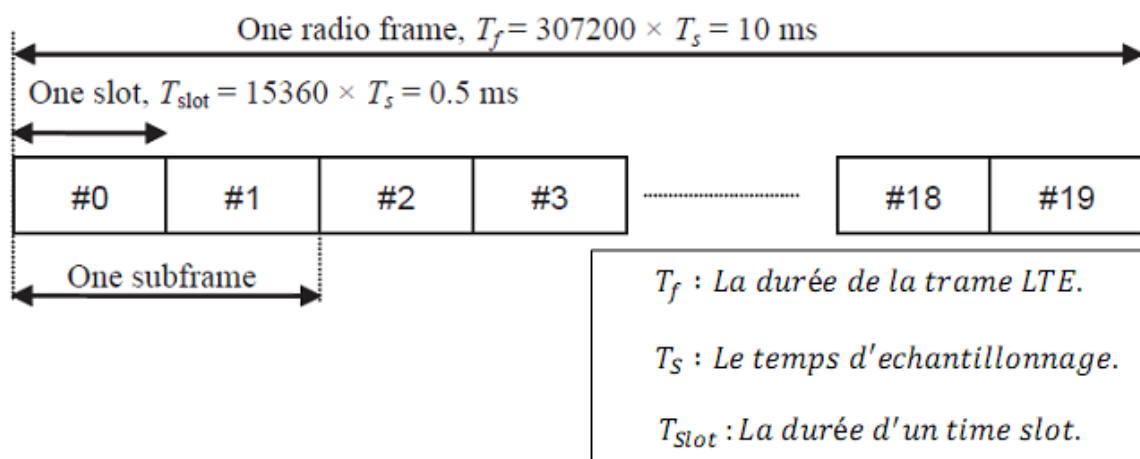


Figure 1.16 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex

En TDD, certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (Guard Period) sur la figure suivante. Le temps de garde nécessaire au basculement de l'eNodeB entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une sous-trame descendante est créé par l'eNodeB en avançant dans le temps les sous-trames montantes par rapport aux sous-trames descendantes. L'UE est informé de ce décalage par la commande d'avance de temps, qui lui indique de démarrer sa transmission un peu plus tôt (ou un peu plus tard). Une avance de temps par défaut de 20 μ s est ainsi spécifiée en TDD, car cette durée est attendue comme la valeur maximale potentiellement nécessaire aux équipements pour basculer de réception à émission. Au plus, deux sous-trames spéciales sont présentées par une trame, afin de limiter la perte d'efficacité du système due au temps de garde.

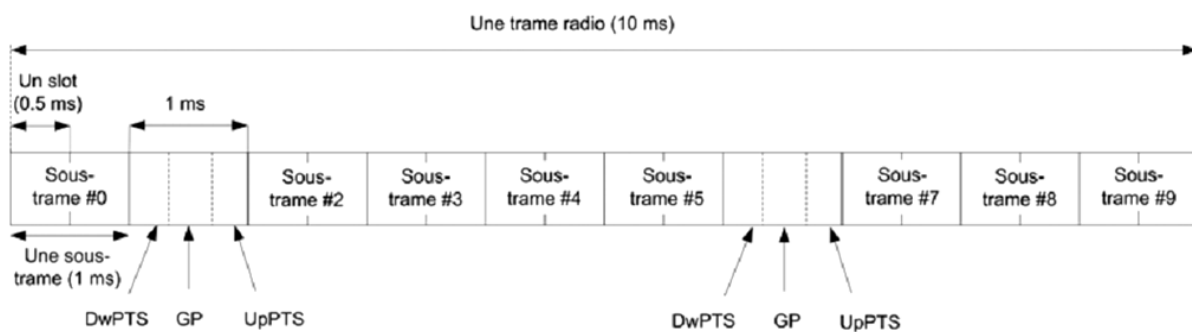


Figure 1.17 : Structure de trame en TDD

La structure d'un time Slot en LTE peut prendre deux formes selon la taille (short ou long) du cyclique préfixe constituant le symbole OFDM qui est la somme d'un ensemble de sinusoïdes 'Subporteur' orthogonales entre elles, portant chacune une information (symbole MQAM), les informations détaillées sur la technique de transmission OFDM seront présentées dans la partie V. La Structure de la trame détaillée avec la représentation des deux types de time slot est présentée dans la figure ci-dessous :

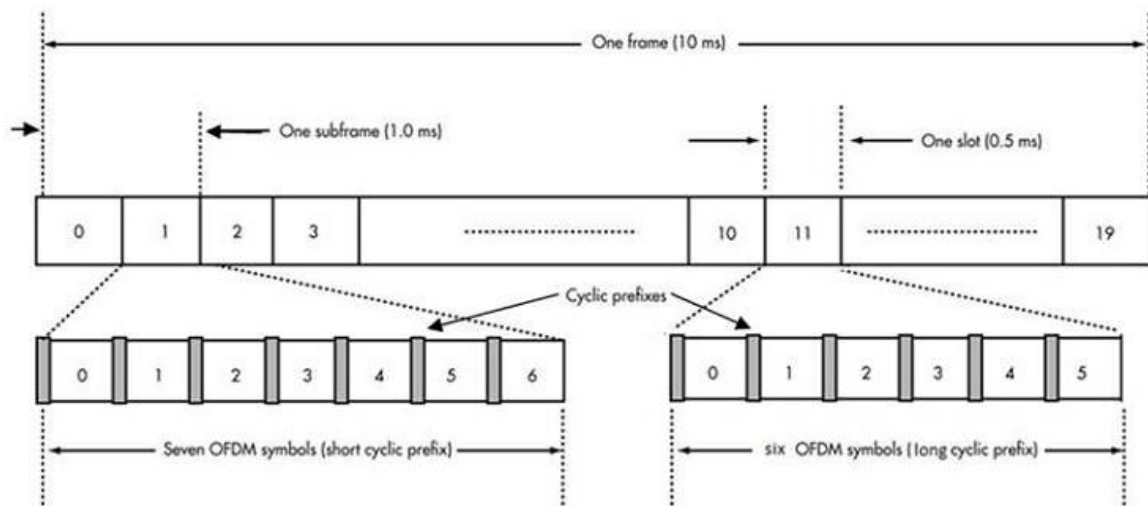


Figure 1.18 : le type du time Slot Selon la taille du Cyclique préfixe constituant le Symbole OFDM

4.3 Bloc de ressources et élément ressource

Bloc de ressources, ou bloc de ressources physiques (Physical Resource Block : PRB), est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE. Un PRB est une grille de petits éléments appelés éléments ressources (Resource Element RE)

Comme c'est indiqué dans la figure ci-dessous, un PRB est constitué en domaine fréquentiel de 12 sous-porteuses, chacune de largeur 15 KHz, en tout 180 KHz, et d'un Time Slot dans le domaine temporel, autrement dit 6 ou 7 symboles selon la taille de PC. Un élément ressource (RE) est formé par une seule sous-porteuse et un seul symbole dans le domaine temporel, d'où il ne peut contenir qu'un seul symbole de modulation (QPSK, 16QAM, 64QAM). Ainsi, un PRB est constitué de $12 \times 7 = 84$ éléments ressources dans le cas d'un Normal CP, et $12 \times 6 = 72$ éléments ressources pour le cas Extended CP.

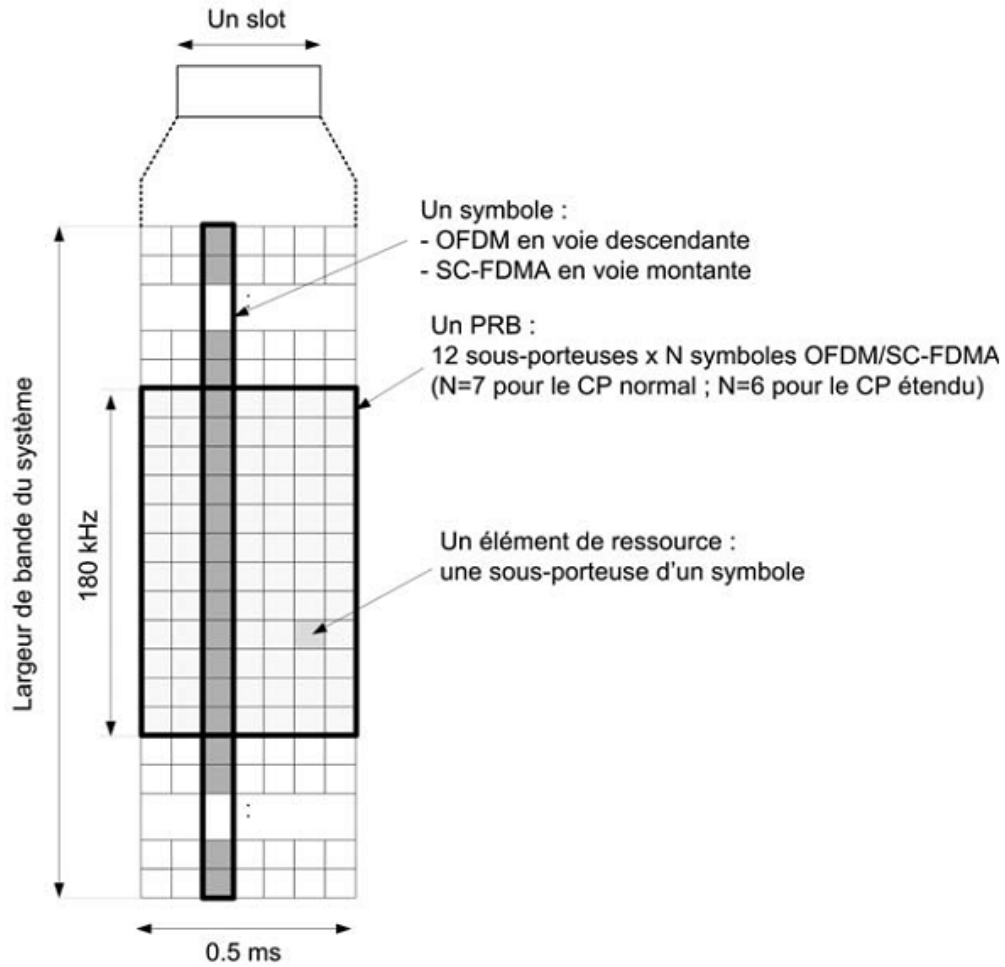


Figure 1.19 : Bloc de ressources (PRB) et élément ressource (RE)

On montre dans le tableau ci-dessous le nombre total de PRB par CC qui dépend de la largeur de bande de fréquence, cette bande disponible pour la transmission, elle est inférieure à la largeur de bande du canal, afin de laisser des bandes de garde de part et d'autre pour limiter l'interférence de canal adjacent.

Bande (MHZ)	Nombre de PRB
1.4	6
3.0	15
5.0	30
10.0	50
15.0	75
20.0	100

Tableau 1.2 : Nombre de PRB par CC en fonction de la bande disponible

Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé de donner une visionne générale à propos le réseau cellulaire et plus particulièrement la LTE-Ad, en montrant aussi les techniques les plus importantes qui dépendent de l'interface radio l'OFDM et MIMO. Pour la deuxième technique MIMO on va l'expliquer dans le deuxième chapitre et on va montrer son importance dans l'augmentation du débit, et bien sur on va parler des autres techniques et modes, de toute façon ces techniques ont données une grande amélioration pour le réseau cellulaire et aussi la satisfaction des clients.

Pourtant il ne faut pas oublier l'architecture du LTE-Ad, qu'on l'a pas donné d'importance dans ce chapitre, celle aussi a eu beaucoup de changements pour qu'il soit au niveau de l'interface Radio.

En fin on dit que l'organisation 3GPP a pour objectif de standardiser LTE-Ad selon les caractéristiques qu'on a déjà citées, mais ça n'empêche l'apparition des autres Releases plus améliorées.

Chapitre 2 :

LTE-Advanced étude et simulation de l'interface radio dans un environnement cellulaire

Introduction

Dans ce chapitre on va essayer de faire une étude de l'interface radio du LTE-Ad selon des paramètres en même temps on fait des simulations pour qu'on puisse faire une comparaison entre les différents paramètres. Nous discutons aussi la performance de transmission, Diversité (TxD), le multiplexage spatial (SM), MIMO utilisant plusieurs antennes en entrée et sortie en le comparant avec le mode (SISO), en outre l'utilisation des autres modes bien sur pour atteindre des débits élevés en matière de communication.

Alors pour le développement et la standardisation de LTE, aussi bien que dans le processus de mise en œuvre de fabricants d'équipement, les simulations sont nécessaires de tester et optimiser les algorithmes et les procédures, c'est pour cela on a utilisé comme compilateur et simulateur Matlab « *matrix laboratory* ».

1. Etudes des différents paramètres utilisés dans le paramétrage et simulation LTE

1.1 MIMO (multi input multi output)

MIMO est une technique utilisée pour augmenter le débit global à travers la transmission de deux (ou plus) différents flux de données sur deux (ou plus) différentes antennes en utilisant les mêmes ressources en fréquence et en temps, séparés seulement par l'utilisation de différents signaux de référence, reçus par deux ou plusieurs antennes, voir la figure ci-dessous.

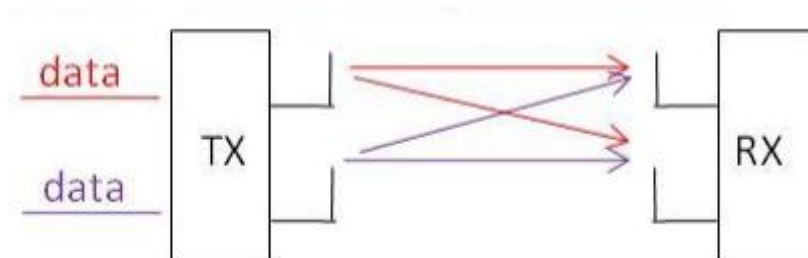


Figure 2.1: Simplified illustration of 2x2 MIMO (Spatial Multiplexing)

Deux flux différents de données sont transmis sur les deux antennes TX et reçus par les deux antennes RX, en utilisant la même fréquence et le même temps, séparés uniquement par l'utilisation de différents signaux de référence. Un changement majeur dans la LTE-Advanced est l'introduction d'un ordre plus élevé MIMO 8x8 dans le DL et 4x4 dans le UL. MIMO est utilisé lorsque S / N (Signal to Noise Ratio) est grand et le canal radio de haute qualité. Pour

les situations à faible S / N , il est préférable d'utiliser d'autres types de techniques multi-antennes pour améliorer S / N , par exemple, TX-diversité, voir figure ci-dessous

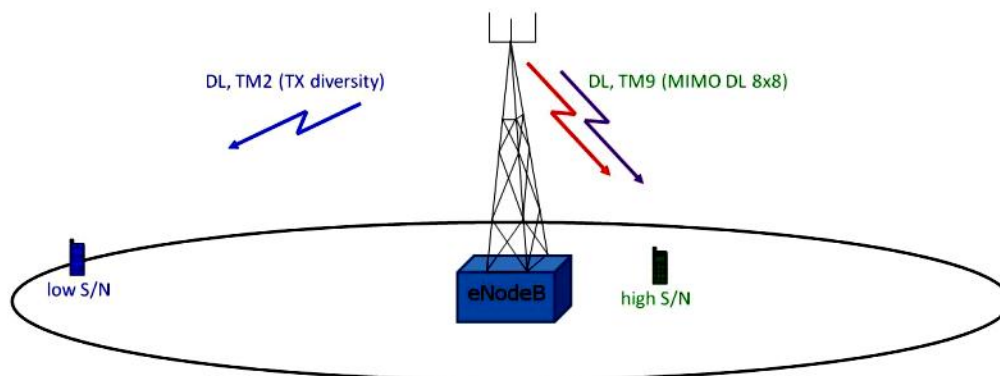


Figure 2.2 : MIMO est recommandée pour S / N élevé et TX diversité est utilisée de préférence pour les scénarios faible S / N

Pour être en mesure de régler le type de technique multi-antenne à utiliser en fonction par exemple d'environnement radio, un certain nombre de différents modes de transport (TM) a été défini. L'UE est informée par la CRR signalisation du mode de transport (TM) à utiliser. Dans le DL il ya neuf TM différents, où TM1-7 ont été introduits dans la version 8, TM8 a été introduite dans la version 9 et TM9 a été introduite dans la version 10. Dans l'UL il ya TM1 et TM2, où TM1 est la valeur par défaut, et il a été introduit dans la version 8 et TM2 est introduit dans la version 10.

Les différents modes de transports diffèrent de :

- Nombre de couches
- Ports d'antenne utilisés
- Type de signal de référence, Cellule de référence spécifique (CRS) ou démodulation du signal de référence (introduite dans la version 10)
- Type de précodage

Plusieurs schémas MIMO sont adoptés par 3GPP LTE, qu'on peut les classer en catégories, selon le nombre d'utilisateurs (SU-MIMO : Single User MIMO et MU-MIMO : Multi-user MIMO), ou selon le nombre de couche séparée de multiplexage spatial, ou selon les coordinations entre systèmes MIMO.

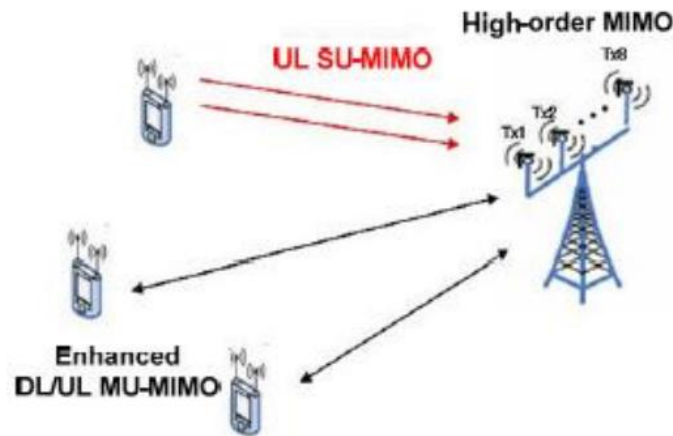


Figure 2.3 : SU-MIMO et MU-MIMO

Pour les systèmes MIMO, le canal est caractérisé par une matrice constituée d'un nombre de coefficients canal égal à $N_t \times N_r$ avec N_t et N_r sont respectivement le nombre d'antennes à l'émission et le nombre d'antennes à la réception. Il est géré donc par l'équation : $Y = Hx + n$ Avec Y , x , H et n sont respectivement le vecteur d'information reçu de taille N_r , le vecteur symbole émis de taille N_t , la matrice du canal de taille $N_r \times N_t$ et le bruit thermique au niveau du récepteur.

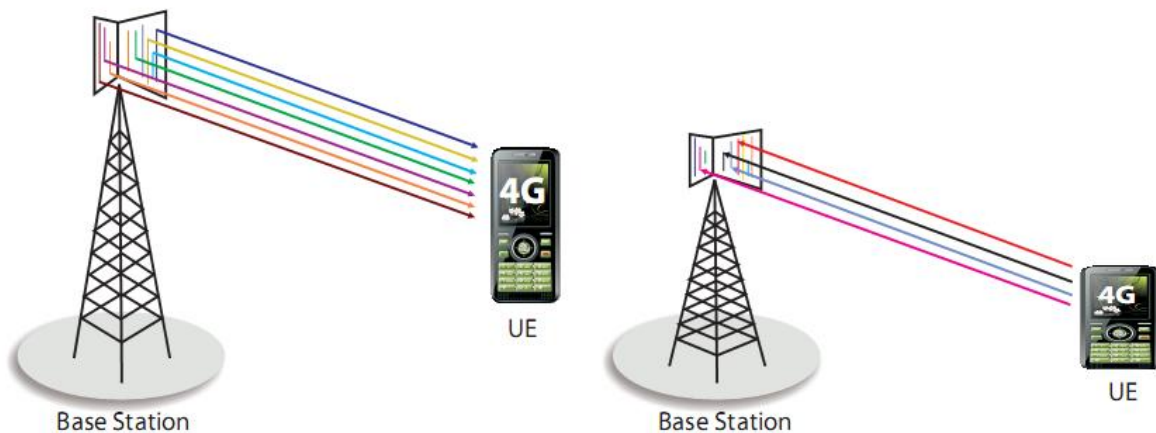


Figure 2.4 : MIMO TxR LTE-A (8 X 4 MIMO) à gauche DL direction à droite UL direction

1.2 Diversité spatiale

La diversité spatiale, aussi connue sous le nom de diversité d'antenne, ou diversité matricielle est l'une des techniques les plus anciennes. Elle est facile de s'implémenter et ne requière pas de ressources fréquentielles supplémentaires. L'objectif est d'avoir plusieurs antennes séparées d'une distance suffisante pour avoir une dé-corrélation de canal, donc il faut avoir un espacement suffisant. La distance nécessaire dépend de divers éléments, soit du terrain, de

l'environnement, de l'antenne elle-même, ses dimensions, etc. Lorsque le canal est connu, le transmetteur peut aussi utiliser ce type de diversité. Sinon, il en profitera via la diversité transformée et il y a aussi d'autres diversités : polarisation, angulaire, fréquentielle, parcours, temporelle, spatio-temporelle.

Dans le cas où l'eNodeB dispose de plus qu'une antenne, LTE peut bénéficier de la diversité spatiale vu que cette dernière améliore les performances du lien radio sur l'interface radio et combat significativement le phénomène d'évanouissement grâce à un codage spatio-fréquentiel (Space Frequency Block Code SFBC).

- **RX Diversité**

RX diversité utilise plus d'antennes sur le côté du récepteur que du côté de l'émetteur. Le scénario le plus simple se compose de deux RX et une antenne TX (SIMO, 1x2).

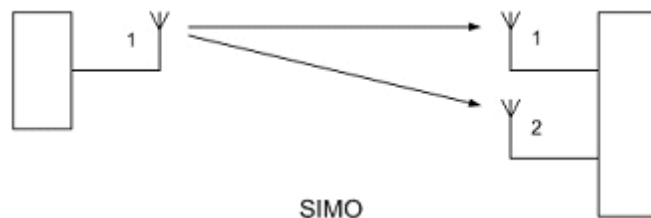


Figure 2.5 : MISO RX diversité

- **TX diversity**

TX diversité utilise plus d'antennes sur le côté émetteur que le côté récepteur c'est ce qu'on appelle la diversité TX. Le plus simple scénario utilise deux TX et une antenne RX (SIMO, 2x1). Dans ce cas, les mêmes données sont transmises de manière redondante sur deux antennes. Cette méthode a l'avantage que les multiples antennes et une redondance de codage est déplacé du UE mobile vers la base station, où ces technologies sont plus simples et moins coûteuses à mettre en œuvre. Pour générer un signal redondant, les codes spatio-temporels sont utilisés, voir la figure ci-dessous

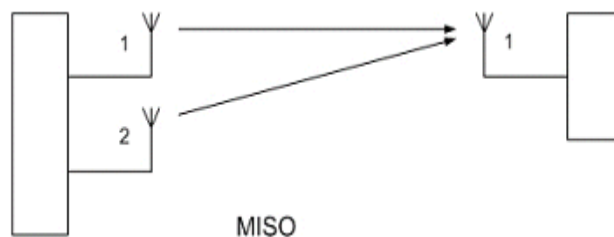


Figure 2.6: MISO TX diversité

On peut dire que la diversité spatiale MIMO c'est on transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. Cela permet d'augmenter

le ratio Signal/Bruit de la transmission. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les sous-canaux MIMO soient décorrélés les uns des autres.

1.3 Multiplexage Spatial OLSM et CLSM

Multiplexage spatial est une technique alternative consiste à générer des flux multiples, parallèles, et totalement séparés par contre dans le cas de diversité spatiale, la transmission est dite flux simple, car le rendement est d'un symbole par utilisation canal, et ceci génère un seul flux de symboles et maintient le même débit. Pour LTE-Ad version 10, nous avons un gain de multiplexage spatial allant de 1, passant par 2 et 4 jusqu'à 8 couches, on trouve donc MIMO 2 x 2, MIMO 4 x 4 et MIMO 8 x 8. Il y a deux modes de multiplexage spatial CLSM et OLSM :

- **CLSM (closed loop spatial multiplexing)**

MIMO à boucle fermée (Closed Loop MIMO) : L'UE après l'estimation du canal, envoie un message feedback vers l'eNodeB à travers le canal PUCCH, pour indiquer le rang de la matrice du canal (RI Rank Indicator), le pré-codeur adéquat (PMI best Compagnion) et le pré-codeur à éviter (PMI Worst Compagnion), à l'eNodeB pour que cette dernière prend la décision et informe l'UE du choix effectué.

- **OLSM (Open loop spatial multiplexing)**

MIMO à boucle ouverte (Open Loop MIMO): Dans ce cas l'eNodeB ne considère aucun feedback de la part de l'UE, ce mode est recommandé pour les scénarios des mobiles à vitesse élevée.

A noter que le multiplexage spatial n'est appliqué que pour le canal physique PDSCH, pour les autres canaux on applique une diversité de transmission.

On peut dire dans le cas du multiplexage spatial que chaque message est découpé en sous-messages. On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont réassemblés pour reformer le message entier d'origine. Comme pour la diversité spatiale, les sous-canaux de propagation doivent être décorrélés.

- **Beamforming**

La technologie des antennes est la clé pour augmenter la capacité du réseau. Elle a commencé avec des antennes sectorisées. Ces antennes illuminent 60 ou 120 degrés et fonctionnent comme une seule cellule. En GSM, la capacité peut être triplée tel que chaque secteur a couvert 120 degrés. Adaptation des réseaux d'antennes est intensifiée en utilisant le multiplexage spatial avec les faisceaux étroits. Les antennes intelligentes appartiennent à des réseaux d'antennes adaptatives, mais diffèrent de leur intelligente direction d'arrivée estimée. Smart antennes peuvent former un faisceau spécifique à l'utilisateur et un retour optionnel qui peut réduire la complexité du système, la formation de faisceau est la méthode utilisée pour créer le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes. Il peut être appliqué dans tous les systèmes de réseau d'antennes ainsi que dans les systèmes MIMO.

Les antennes intelligentes sont divisées en deux groupes:

- Les systèmes de réseaux phases (switched beamforming) avec un nombre fini de motifs prédéfinis fixes.
- Les systèmes de réseau adaptatif (adaptive beamforming) avec un nombre infini de modèles adaptés au scénario en temps réel.

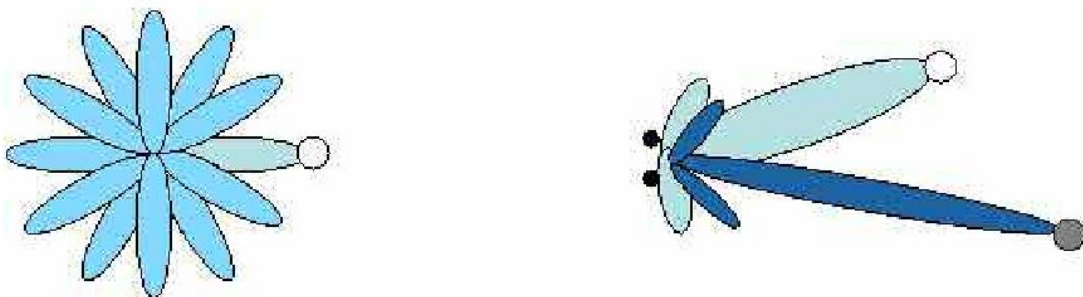


Figure 2.7: Switched beamformer et adaptive beamformer

Switched beamformers calcule électriquement l'estimation de la direction et commute sur le mode de faisceau. L'utilisateur utilise seulement la force de signal optimale le long du centre de faisceau par contre Adaptive beamformer traite ce problème d'une autre manière et ajuste le faisceau en temps réel à l'UE qui est en mouvement, La complexité et le coût de ce dernier système est plus élevé que le premier type.

On conclut que dans le cas du Beamforming on utilise le réseau d'antenne MIMO pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau). On peut ainsi

créer des lobes constructifs / destructifs et optimiser une transmission entre l'émetteur et la cible. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre les utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé).

2. Paramétrage et simulation de l'interface radio dans un environnement monocellulaire

2.1 Modes « SISO, TxD, OLSM, CLSM »

Tout d'abord la simulation est faite dans un environnement monocellulaire, La simulation du script après le paramétrage permet un moyen de tester les performances d'un seul utilisateur dans le cas de transmission sur un canal TU dé-corrélée pour plusieurs modes de transmission et configurations d'antenne (nombre d'antennes d'émission N_t , nombre d'antennes de réception N_r antennes). En second lieu on peut revenir aux notions des modes de transmission qui sont déjà expliqués (Single-Input Single-Output (SISO), la diversité de transmission (TxD), Multiplexage spatial en boucle ouverte (OLSM) et multiplexage Spatial en boucle fermée (CLSM)) utilisé dans cette simulation.

Siso : est une abréviation anglaise **Single Input Single Output**. Un système dit SISO est donc un système possédant une seule entrée d'antenne et une seule sortie d'antenne. Ce sont les systèmes les plus simples, on les qualifie aussi de mono variables

SNR (Signal to Noise Ratios) c'est le **rapport signal sur bruit** est un indicateur de la qualité de transmission d'une information, il s'exprime généralement en décibels (dB). On peut le définir aussi comme le rapport des puissances entre :

- le signal d'amplitude maximale, déterminé par la valeur maximale admissible pour que les effets des non-linéarités (distorsion du signal) restent à une valeur admissible.
- le bruit de fond, information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'une information à l'entrée.

la figure ci-dessous concernant la simulation du débit en fonction du SNR, après le paramétrage et la simulation du script, on obtient La figure ci-dessous selon les données et les valeurs des paramètres cités dans la tableau ci-dessous, on a le nombre de «UE » egale à 1 ,la bande passante est 1.4 Mhz et c'est la bande de base,... alors l'analyse de la figure dépend

des modes utilisés .Pour le mode SISO l'UE utilise une seule antenne réceptrice et la BS utilise aussi une seule antenne émettrice c.-à-d. (1x1),et pour le mode TxD (2x2) ,OLSM (2x2) et CLSM (4x2)..

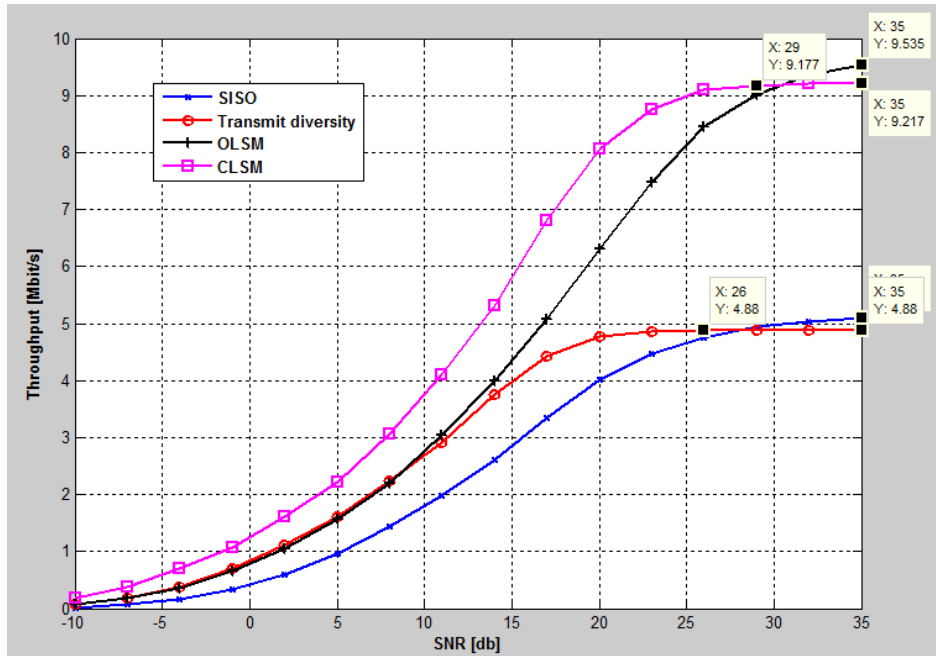


Figure 2.8 : Simulation du débit en fonction du SNR dans le cas des modes « SISO,TxD,OLSM,CLSM »

Paramètres	Valeurs
Number of UEs	1
Bandwidth	1.4MHz
HARQ Retransmissions	0
Channel type	TU uncorrelated
Filtering	Block Fading
Receiver type	Zero Forcing
Simulation length	1000 subframes
Transmit modes	SISO, TxD ($N_t \times N_r = 2 \times 2$), OLSM (2×2) and CLSM (4×2)

Tableau 2.1 : Les valeurs des paramètres utilisés dans la simulation

Mode	Antenne (ExR)	Débit max(Mbit/s)X SNR(db)
SISO	1x1	5.092x35
TxD	2x2	4.88x35
OLSM	2x2	9.535x35
CLSM	4x2	9.217x35

Tableau 2.2 : Résultats de simulation selon les modes de transmission « SISO,TxD,OLSM,CLSM »

Conclusion

D’après ce tableau ci-dessus et la figure ci-dessus on peut dire que chaque mode a des avantages et des inconvénients selon la figure, pourtant le débit maximal du mode SISO est plus grand que le débit simulé avec le mode TxD mais si on compare la stabilité des courbes on peut dire que le mode TxD est mieux que l’autre et ça revient aux caractéristiques de chaque mode, et de l’autre part le mode OLSM sa courbe donne un débit max plus grand que le débit du CLSM, alors que la stabilité obtenue avec le mode CLSM est plus stable que l’autre mode. En fin on peut dire que chaque mode est utilisable selon les cas et ça il a été déjà mentionné dans ce chapitre en haut, on prend par exemple le cas du mode OLSM, il est recommandé pour les scénarios des mobiles à vitesse élevée, pourtant dans notre cas on a pris comme valeur de paramètres de la vitesse du Ue la plus basse, c’est pour cela le mode CLSM est celui qui donne les meilleurs résultats, et comme ça on va faire notre simulation avec ce mode « CLSM » dans ce qui suit.

Remarque : La simulation sur Matlab prend beaucoup de temps peut durer plus de 12 heures, et ça dépend des valeurs des paramètres à simuler.

2.2 Paramétrage et simulation SUMIMO

Dans cette partie on s’intéresse au SUMIMO et dans le cas du mode multiplexage CLSM, qui est déjà expliqué dans le paragraphe «chapitre 2, 1.3 Multiplexage Spatial OLSM et CLSM ». Le script paramétré du test SUMIMO compare le débit des différents cas avec des configurations d’antennes différentes, encore une fois les paramètres de transmission sont adaptés conformément avec la qualité du canal connu et renvoyé par l’UE, Dans la figure ci-dessous, le débit SUMIMO pour les trois différentes configurations d’antennes sont affichés sur la figure et le tableau ci-dessous montre les valeurs des paramètres qu’on a pris comme exemple pour faire la simulation sans oublier que la vitesse du UE est basse.

Paramètres	Valeur
Number of UEs	1
Bandwidth	1.4MHz
HARQ	0
Retransmissions	TU uncorrelated
Channel type	Block Fading
Filtering	Zero Forcing
Receiver type	1000 subframes
Simulation length	CLSM 8 × 1, 8 × 4 and
Transmit modes	8 × 8
	Standard defined codebook

Tableau 2.3 : Valeurs des paramètres en mode CLSM

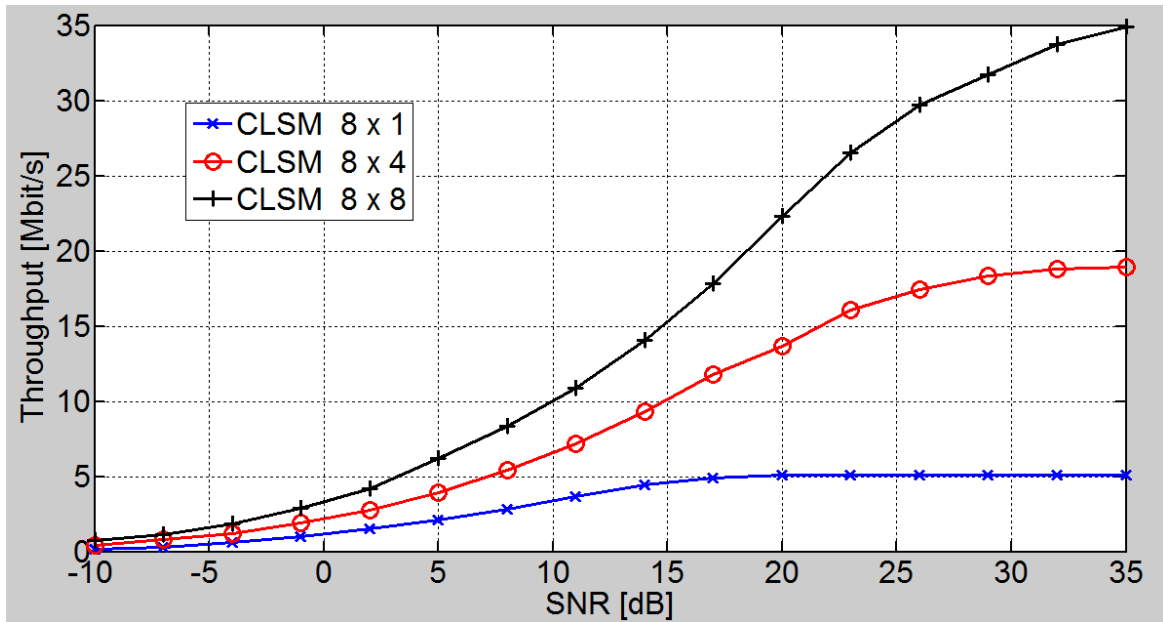


Figure 2.9 : SUMIMO Mode CLSM paramétrage et simulation

Dans ce mode de multiplexage CLSM, la figure ci-dessus montre bien la différence créée par le nombre d’antennes utilisées, à chaque fois le nombre d’antennes augmente alors le débit lui aussi augmente, et c’est pour cela et de ce qu’on a déjà cité dans le 2^{ème} chapitre la partie 1.1. MIMO, on a montré l’importance de la technique MIMO dans le réseau cellulaire, et la figure est très claire et montre que le nombre d’antennes joue un rôle très important pour l’augmentation du débit, plus le nombre d’antennes augmente plus le débit augmente, et surtout dans le cas où le SNR est plus grand.

2.3 Paramétrage et simulation MUMIMO

Dans cette partie du MUMIMO on a pris deux principales méthodes, la connaissance parfaite du canal(PCK), ou en utilisant la quantification vectorielle du canal (CVQ), La figure ci-dessous montre le débit cellulaire obtenu par rapport au SNR pour les deux méthodes de rétroaction considérées, en supposant un modèle de canal à évanouissement de Rayleigh en fréquence plate. Les paramètres de simulation les plus importants sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Paramètres	Valeur
Number of UEs	5
Bandwidth	1.4MHz
HARQ Retransmissions	0
Channel type	flat Rayleigh uncorrelated
Filtering	Block Fading
Receiver type	Zero Forcing
Simulation length	1000 subframes
Transmit modes	Non-standard defined precoding (ZF beamforming) 4×1 Perfect channel knowledge and RCVQ

Tableau 2.4: Valeurs des paramètres dans le cas du MUMIMO

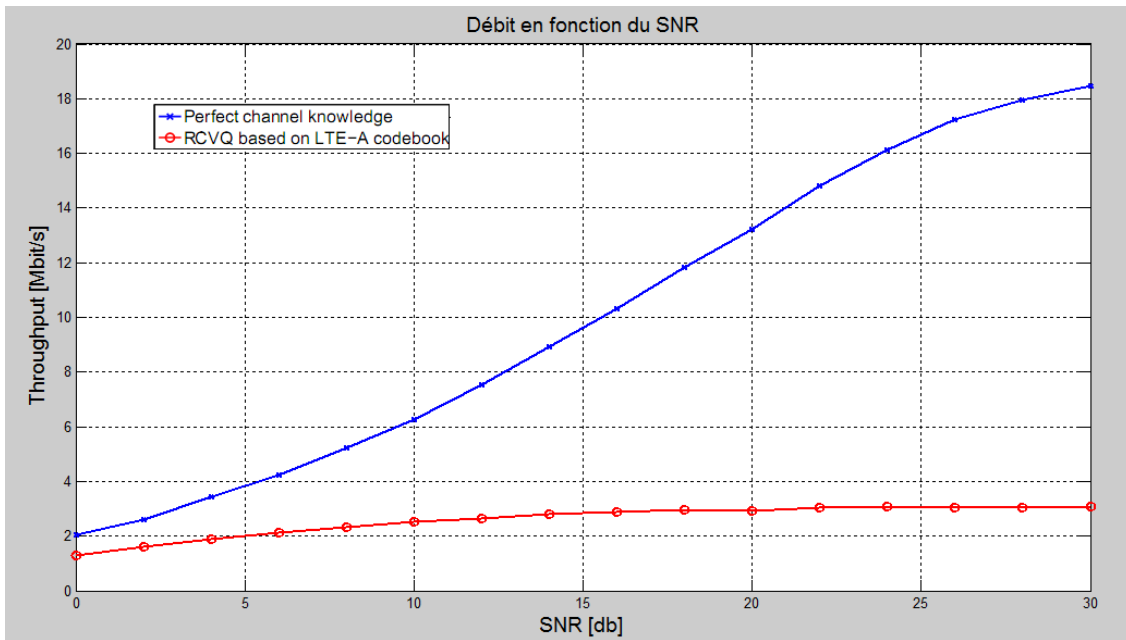


Figure 2.10 : MUMIMO simulation dans le cas RCVQ & PCK

D’après la figure ci-dessus et les valeurs des paramètres avec les quels on a obtenu ces courbes, qui représentent bien sûr deux méthodes PCK et RCVQ, alors on observe que le débit en fonction du SNR dans le cas du PCK est plus grand par rapport à la méthode RCVQ, et ça revient aux caractéristiques de chaque méthode, et on voit le débit augmente d’une façon presque linéaire dans le cas du PCK ,par contre la méthode du RCVQ qui a donné un débit bas ainsi elle a une stabilité du débit en fonction du SNR.

Remarque :

La méthode PCK (perfect channel knowledge) est une méthode n'est pas réalisée dans la réalité, par contre CVQ (Channel Vector Quantization) c'est la méthode qui représente la réalité et celle qui nous intéresse plus.

- **Le paramétrage et simulation MUMIMO en fonction de la variation des nombres des utilisateurs**

On a sur la figure à coté la variation du débit (les ordonnées) en fonction du SNR (les abscisses) avec les données suivantes : une bande passante : 1.4 Mhz, Nombre d'Ue : 5 et d'autres paramètres qui sont cités dans le tableau ci-dessus 2.4

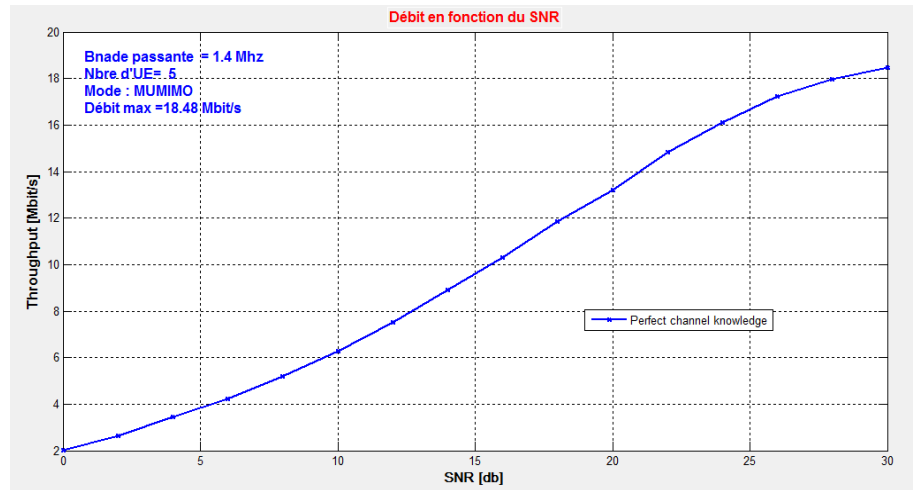


Figure 2.11 : MUMIMO méthode PCK avec 5 UE

Alors on obtient une augmentation rectiligne, et dans ce cas du 5Ue on a obtenu un débit max de **18,48 Mbit/s**. On conclut de la figure qu'avec cette méthode on obtient un bon résultat mais dans la réalité ça n'est pas réalisable.

La figure à coté, lui aussi correspond à la variation du débit en fonction du SNR et même valeurs des paramètres, mais elle diffère du nombre d'UE : 10, dans ce cas on a obtenu un débit max de **18.77 Mbit/s**.

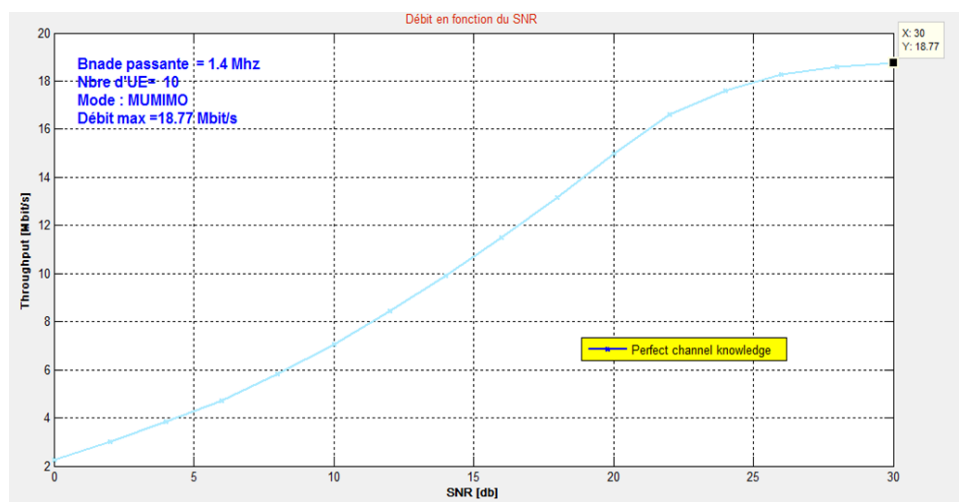


Figure 2.12 : MUMIMO méthode PCK avec 10 UE

La figure 2.13 montre la simulation avec 15 UE, on obtient dans ce cas un débit max : 18.75Mbit/s

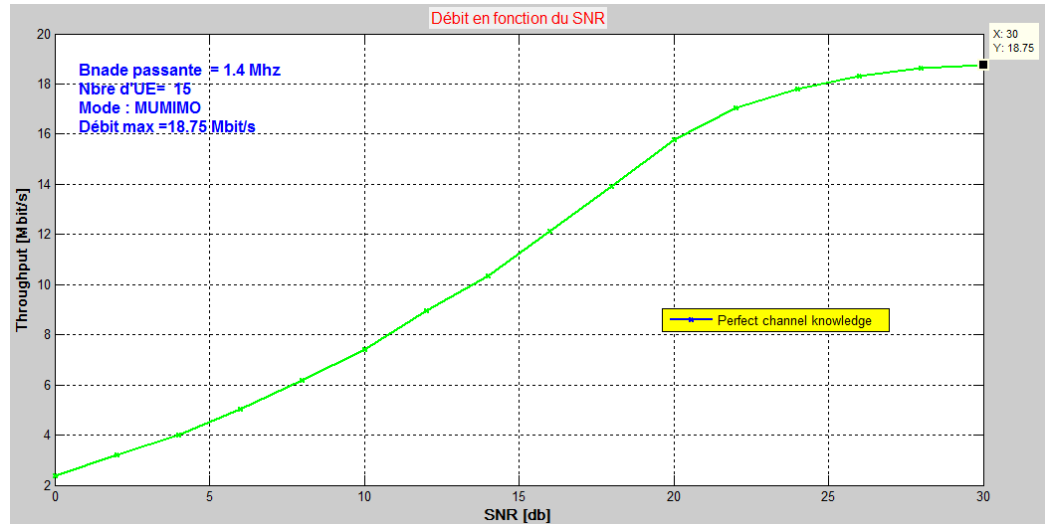


Figure 2.13 : MUMIMO méthode PCK avec 15 UE

La figure 2.14 montre lui aussi presque la même chose que la figure 2.13 même il y a un changement de nombre des utilisateurs.

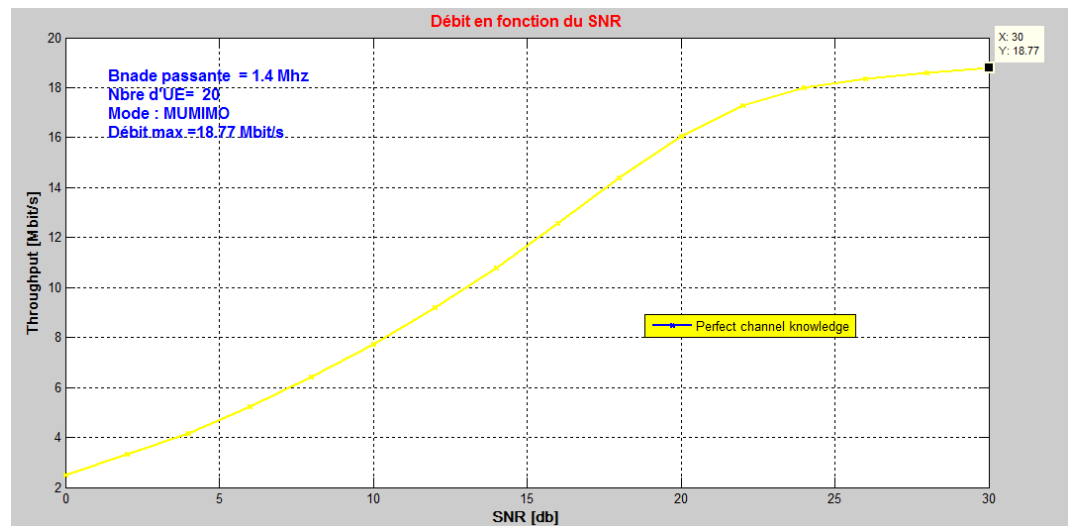


Figure 2.14 : MUMIMO méthode PCK avec 20 UE

Remarque :

A partir des figures ci-dessus qui sont sur cette page, la première est obtenue avec le nombre d'UE : 15 et la deuxième avec 20 UE on observe dans ce cas MUMIMO et pour cette méthode PCK (perfect channel knowledge) les résultats du débit se ressemble même avec le changement du nombre des utilisateurs. Alors on conclut que cette méthode est parfaite et on la considère comme une référence.

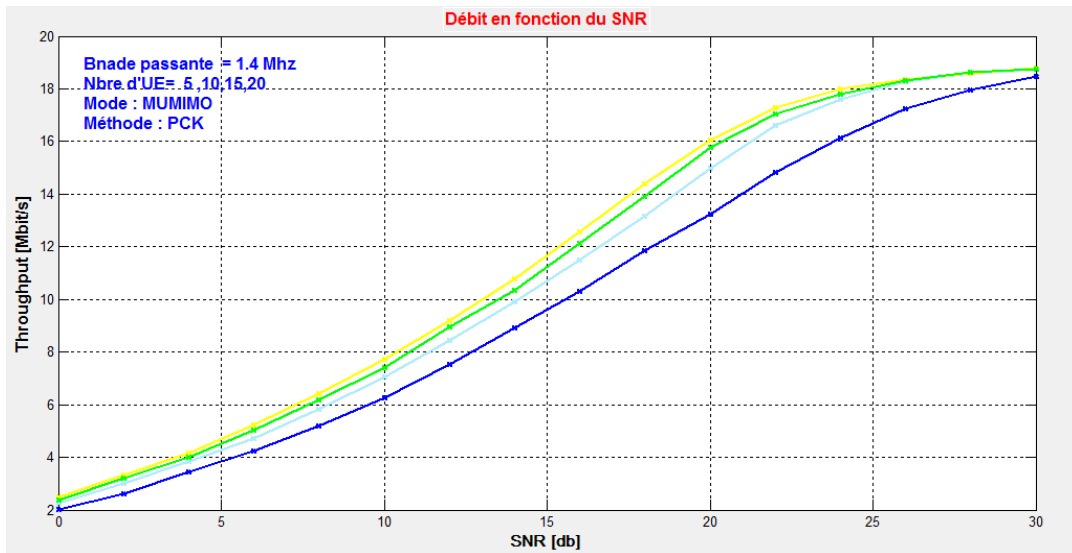


Figure 2.15 : MUMIMO méthode PCK avec différents nombre d'UE

La figure ci-dessus montre des courbes de débit en fonction du SNR de la méthode PCK, avec différent cas de nombre des utilisateurs tel qu'on a pris 5, 10, 15 et 20 UE, en tous les cas on voit que ces courbes sont proches l'une de l'autre ,alors on insiste sur ce qu'on a déjà dit et on la considère comme référence pour le MUMIMO en plus on va faire d'autres simulations avec la méthode RCVQ.

- **Le paramétrage et simulation avec la méthode RCVQ en fonction de la variation de nombre des utilisateurs**

La figure ci-dessous montre la variation du débit en fonction du SNR dans le cas du MUMIMO, particulièrement la méthode CVQ (Channel Vector Quantization). On voit que le débit max obtenu avec 5 UE est de 3.078 Mbit/s en la comparant avec la méthode PCK on trouve qu'il y a une grande différence entre elles, et cette différence est causée par beaucoup de facteurs, par exemple le bruit et l'évanouissement.

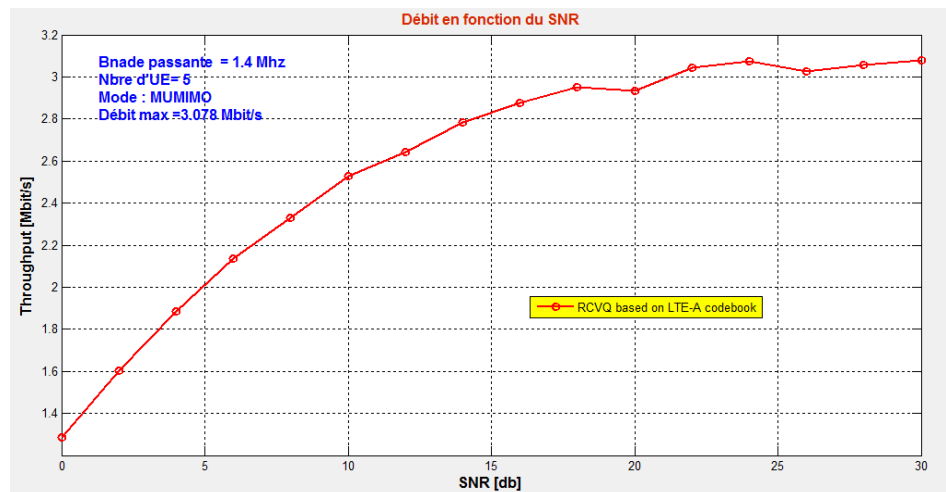


Figure 2.16 : MUMIMO méthode RCVQ avec 5 UE

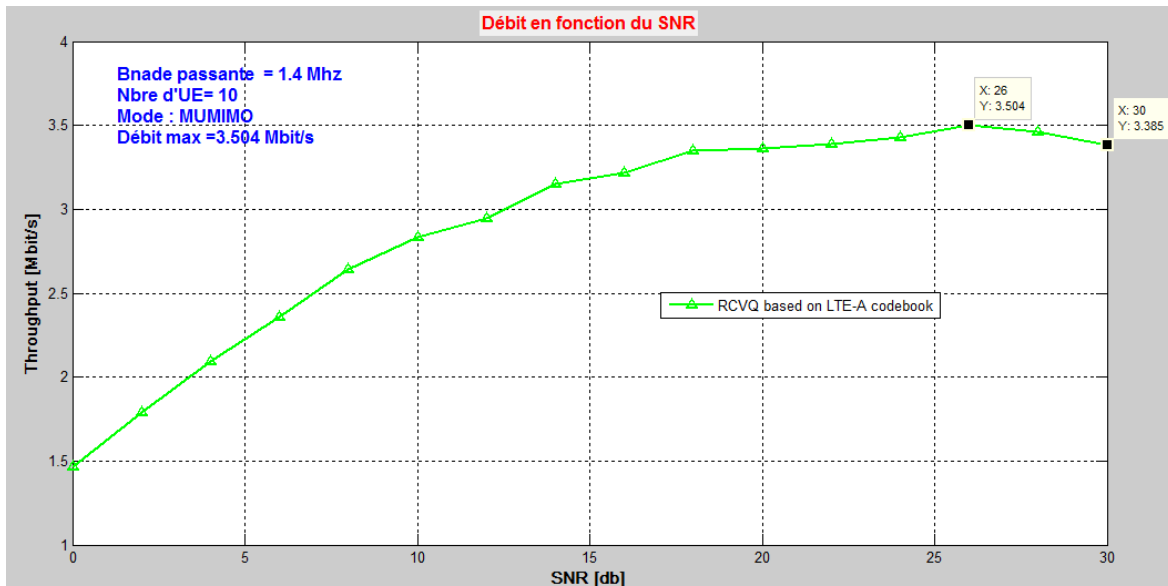


Figure 2.17 : MUMIMO méthode RCVQ avec 10 UE

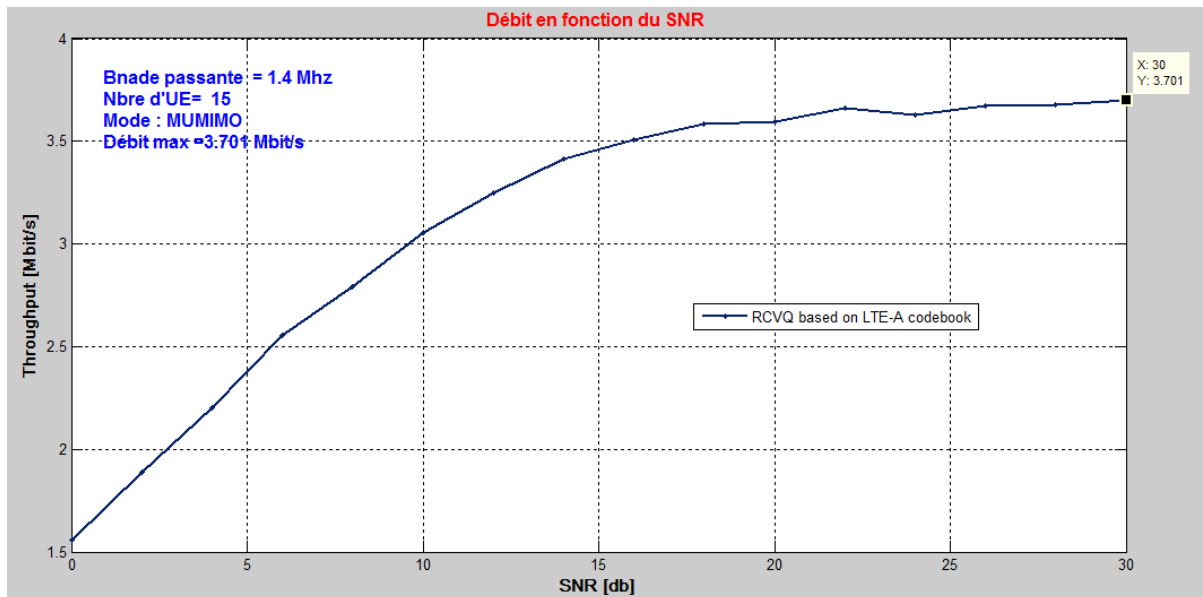


Figure 2.18 : MUMIMO méthode RCVQ avec 15 UE

Les deux figures 2.17 et 2.18, sont simulés avec les valeurs suivantes une bande passante : 1.4 Mhz, Mode MUMIMO et la méthode utilisée est la CVQ, la première figure est simulée avec 10 UE, elle a donné un débit max de **3.504 Mbit/s**, et la deuxième qui représente 15 UE a donné **3.701 Mbit/s**, on conclut dans le cas de cette méthode aussi l'augmentation du débit en fonction du nombre des utilisateurs (voir la remarque page 45).

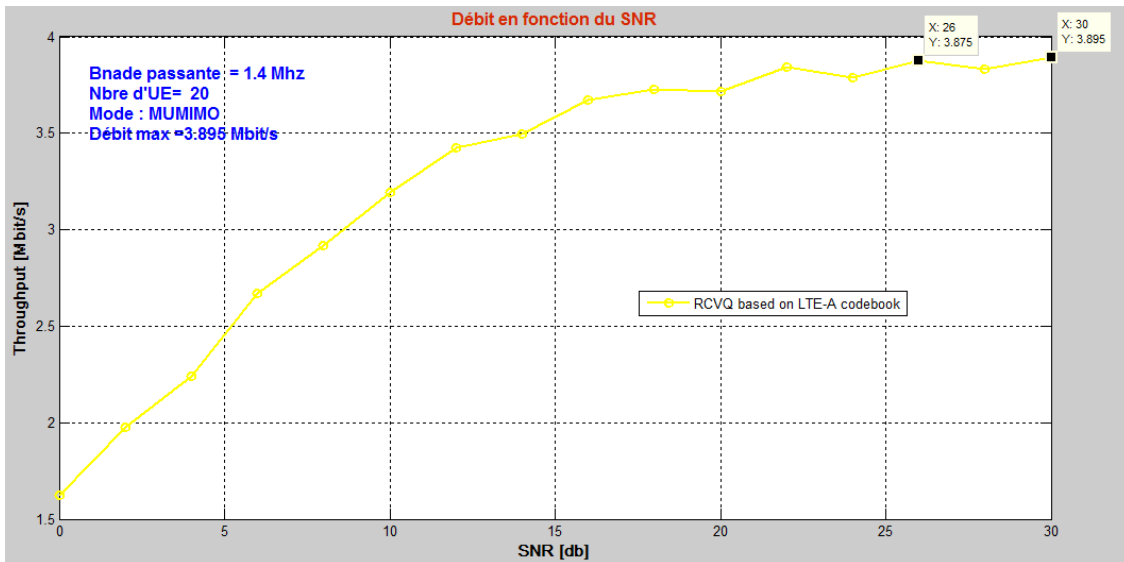


Figure 2.19: MUMIMO méthode RCVQ avec 20 UE

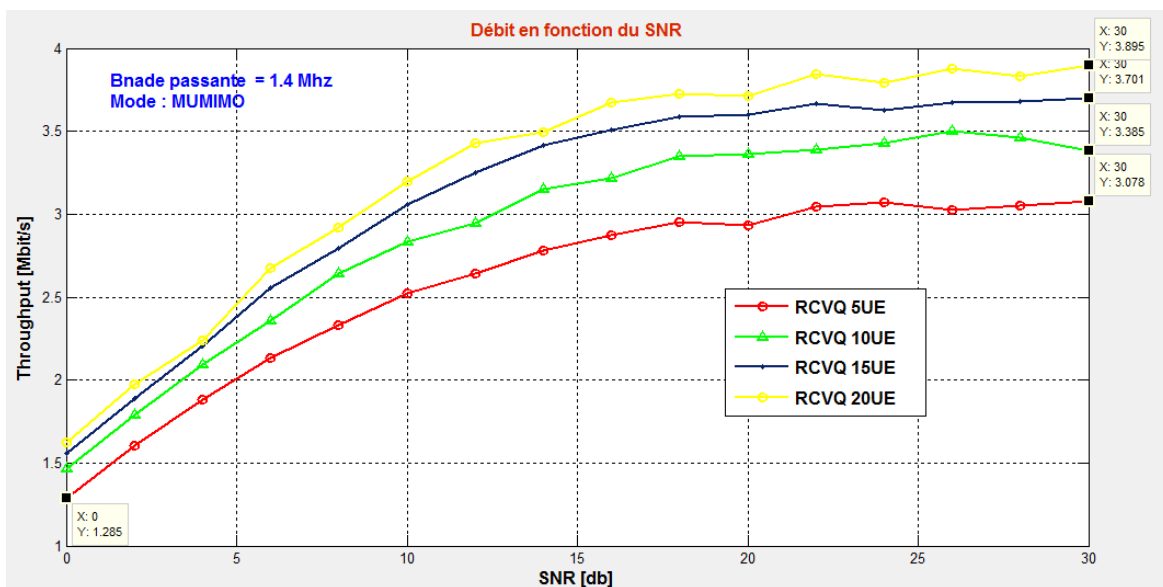


Figure 2.20 : MUMIMO méthode RCVQ avec différents nombre d'UE

On a essayé de rassembler les différents cas correspondants au nombre des utilisateurs, tel que chaque courbe représente un nombre on a 5, 10, 15, 20, correspond aux courbes qu'on a sur la figure 2.20 du bas vers le haut, en voyant que le débit augmente avec l'augmentation du SNR et le nombre des utilisateurs.

Remarque : on voit dans la figure ci-dessus et les autres figures dans le cas des méthodes PCKet CVQ ou on a utilisé la bande 1.4 Mhz on voit qu'il y a augmentation du débit en augmentant le nombre, le remarquable c'est que la bande utilisée est 1.4 la bande de base du

système, alors pour qu'on justifie l'augmentation on dit que la bande lui aussi augment même on la prise égale à 1.4 Mhz.

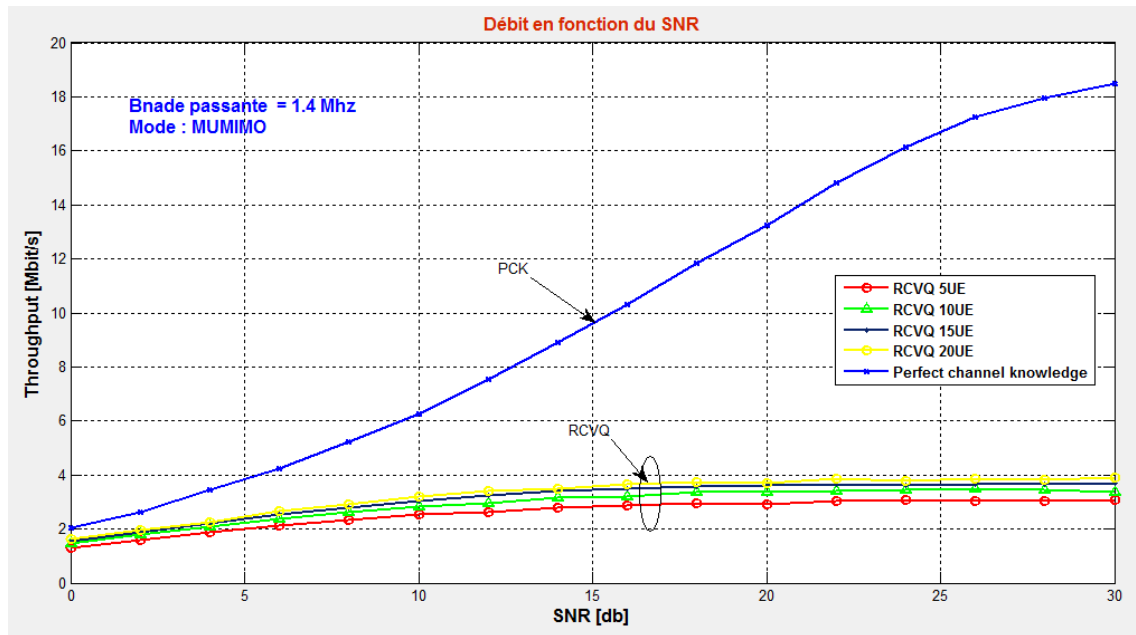


Figure 2.21 : MUMIMO comparaison de RCVQ et PCK

La figure 2.21 résulte tous les cas simulés dans ce qui précède de la méthode PCK et CVQ, on conclut que le débit obtenu avec la méthode CVQ est plus faible que celui obtenu avec la méthode parfaite PCK, et ça revient aux caractéristiques de chaque méthode et les conditions d'utilisation, alors ça nous donne une indication pour améliorer la méthode CVQ.

2.4 La variation du débit en fonction de la bande de fréquence

Dans cette partie on essaye de montrer la variation de la bande de fréquence et son rôle important dans l'augmentation du débit, c'est pour cela on va donner une analyse théorique en prouvant ça avec une simulation.

Selon ce qu'on a déjà cité dans à-propos les caractéristiques du LTE, on sait que ce dernier regroupe un bloc de données à transmettre **en 12 bandes de 15 kHz** (technique OFDM). Un bloc élémentaire en LTE utilise donc un spectre de **12*15kHz=180 kHz**. On l'appelle Bloc Ressource ou **RB**, les 12 bandes de 15 kHz.

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

12 bandes. Par conséquent, 7 symboles * 12 bandes = 84 symboles sont transmis en 0,5 ms 1 symbole peut transmettre 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM).

Le LTE, il permet d'exploiter des largeurs de bande de 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz, (100 Mhz en utilisant l'agrégation de porteuses dans le cas du LTE-Ad).

Une ressource bloc correspond à une bande de 180 kHz, si la communication utilise

- une bande de 1,4 MHz, alors 6 RB peuvent être exploitées
- une bande de 3 MHz, alors 15 RB peuvent être exploitées
- une bande de 5 MHz, alors 25 RB peuvent être exploitées
- une bande de 10 MHz, alors 50 RB peuvent être exploitées
- une bande de 15 MHz, alors 75 RB peuvent être exploitées
- une bande de 20 MHz, alors 100 RB peuvent être exploitées

Si l'opérateur a une bande de

- 15 MHz : Il possède 75 RB, il peut donc transmettre 75*84 symboles * 6 bits en 0,5 ms. Autrement dit, 37800 bits sont transmis en 0,5 ms. Le débit s'exprime en bit par seconde dont $37800/0.0005 = 75,6$ Mbits/s.
- 20 MHz : Il possède 100 RB, il peut donc transmettre 100*84 symboles * 6 bits transmis en 0,5 ms. Autrement dit, 50400 bits sont transmis en 0,5 ms. Le débit s'exprime en bit par seconde dont $50400/0.0005 = 100,8$ Mbits/s.

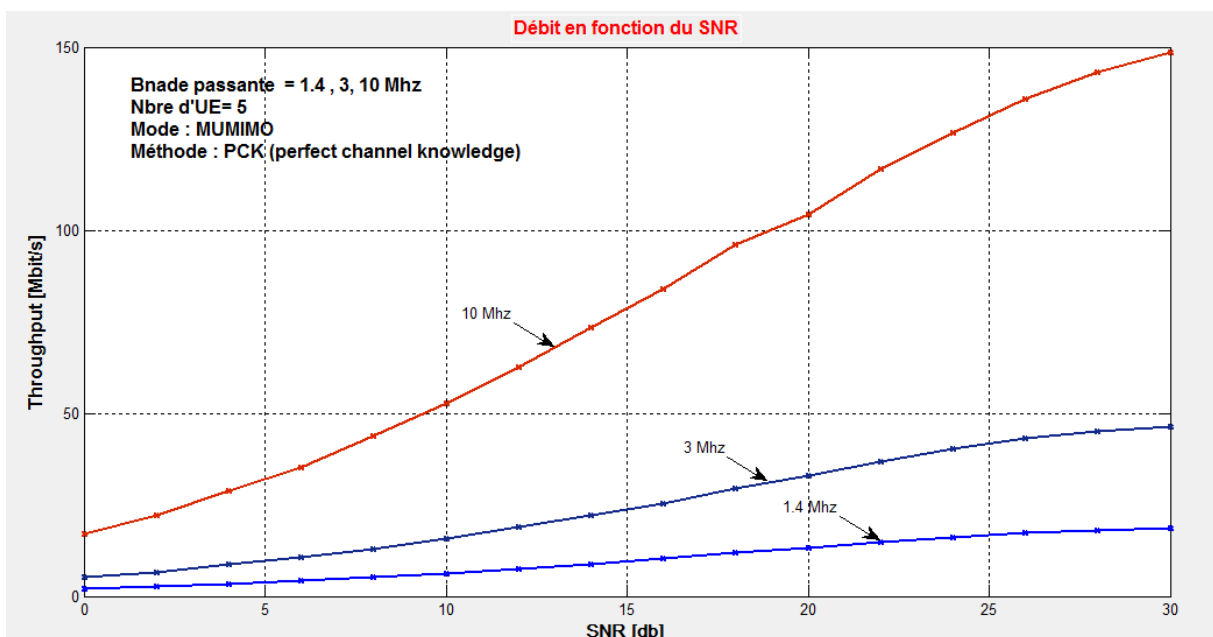


Figure 2.22 : MUMIMO, PCK la variation du débit en fonction de la bande passante

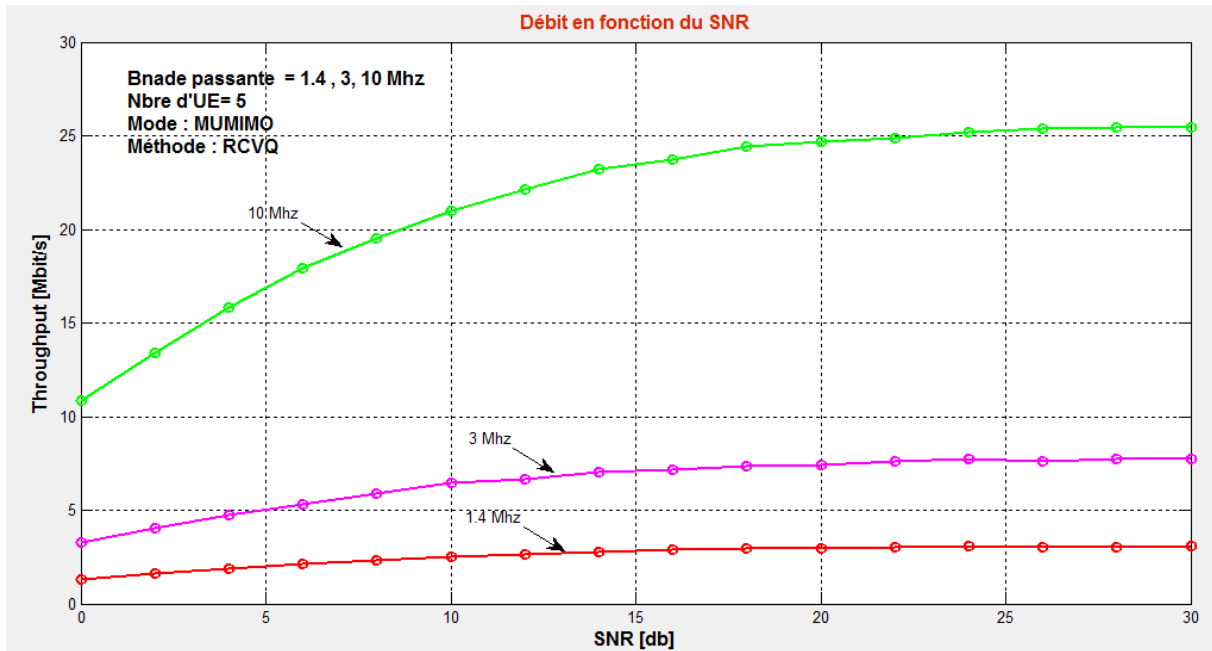


Figure 2.23 : la variation du débit en fonction des bandes de fréquences

En prenant le cas du MUMIMO et la méthode RCVQ, selon la figure 2.23 on observe que la bande de fréquence joue un rôle important dans l’augmentation du débit et la figure est claire tel que les trois courbes sur la figure correspond au band 1.4 Mhz, 3 Mhz et 10 Mhz du bas vers le haut.

Conclusion

Dans ce chapitre LTE-Ad on a étude et simulation de l’interface radio dans un environnement monocellulaire, on a parlé de différentes méthodes et techniques en montrant l’importance de chaqu’une, notamment MIMO, diversité spatial, Multiplexage spatial OLSM et CLSM ...

Donc chaqu’une de ces techniques a une importance et un effet sur le débit, ainsi notre objectif c’est d’avoir les résultats qui nous donnent des débit plus grand selon le SNR, cependant l’environnement cellulaire change en fonction des conditions, en plus chaque technique ou mode a une importance dépendante de telle conditionne, par exemple on prend le cas de l’augmentation du débit en fonction de la bande de fréquence et cette technique est plus améliorée avec l’utilisation de l’agrégation de porteuse de laquelle on va parler dans le 3ème chapitre et bien sur il y a d’autres techniques plus importantes.

Chapitre 3 :

LTE-Advanced et les améliorations apportées par 3GPP

Caractéristiques du LTE-Advanced

Avec le début des travaux sur le LTE Advanced, un certain nombre de conditions essentielles et des principales caractéristiques vont venir sont prochainement. Bien que n'étant pas encore fixée dans le cahier des charges, il y a beaucoup de haut niveau vise à la nouvelle spécification LTE Advanced. Celles-ci devront être vérifiées et beaucoup de travail reste à entreprendre dans les spécifications avant qu'ils ne soient tous fixés. Actuellement, une partie du titre principal du LTE Advanced et son objectif selon les caractéristiques ci-dessous, on a déjà cité ça mais pour faire un rappel.

- Débit max DL : 1 Gbps; montante - 500 Mbps.
- Spectre d'efficacité: 3 fois plus grande que LTE.
- Efficacité maximale du spectre: DL 30 bps / Hz; UL 15 bps / Hz.
- L'utilisation du spectre: la capacité à soutenir l'utilisation de la bande passante évolutive et de regroupement de fréquences où le spectre non contiguës doit être utilisé.
- Latence: plus longue durée moins de 50 ms et plus courte 5 ms un moyen pour la transmission de paquets individuels.
- Débit moyen de l'utilisateur pour être 3 fois supérieur à celui de la technologie LTE.
- Mobilité: La même que celle du LTE
- Compatibilité: LTE Advanced doit être capable d'inter-fonctionner avec LTE et les systèmes existants 3GPP.

1. Carrier Aggregation

Carrier Aggregation ou l'agrégation de porteuses est une caractéristique importante qui a donné un plus pour la normalisation du LTE-Advanced. Dans la CA multiples en amont ou en liaison descendante les porteuses dans les bandes de fréquences sont contiguës ou non contiguës peuvent être regroupés (voir Figure ci-dessous).Chacune des porteuses constitutives proprement dit sera rétro compatible pour accueillir version 8,9 et les UEs émettant des signaux de synchronisation et les informations de transmission du système via le canal de diffusion.

La façon la plus simple pour augmenter la capacité est d'ajouter plus de bande passante. Comme il est important de garder la compatibilité ascendante avec R8 et R9....

L'augmentation de la bande passante dans le LTE-Advanced est fournie par l'agrégation de porteuses de R8/R9. L'agrégation de porteuses peut être utilisée à la fois pour FDD et TDD.

Chaque porteuse agrégée est considérée comme un ensemble de porteuses. Cet ensemble peut avoir une largeur de bande de 1,4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz, et d'un maximum de cinq porteuses constitutives peuvent être regroupées. D'où la bande passante maximale est de 100MHz. Le nombre de porteuses agrégées peut être différent dans DL et UL, cependant le nombre de porteuses constitutives UL n'est pas plus grand que le nombre de porteuses constitutives DL. Les porteuses constitutives individuelles peuvent également être de différentes largeurs de bande (voir figure ci-dessous)

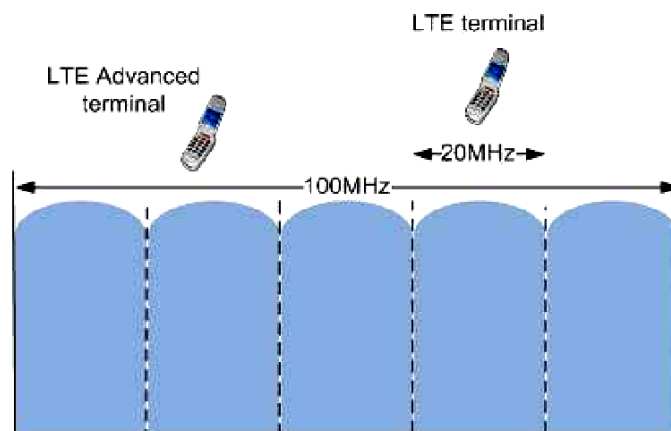


Figure 3.1: Technique Carrier Aggregation

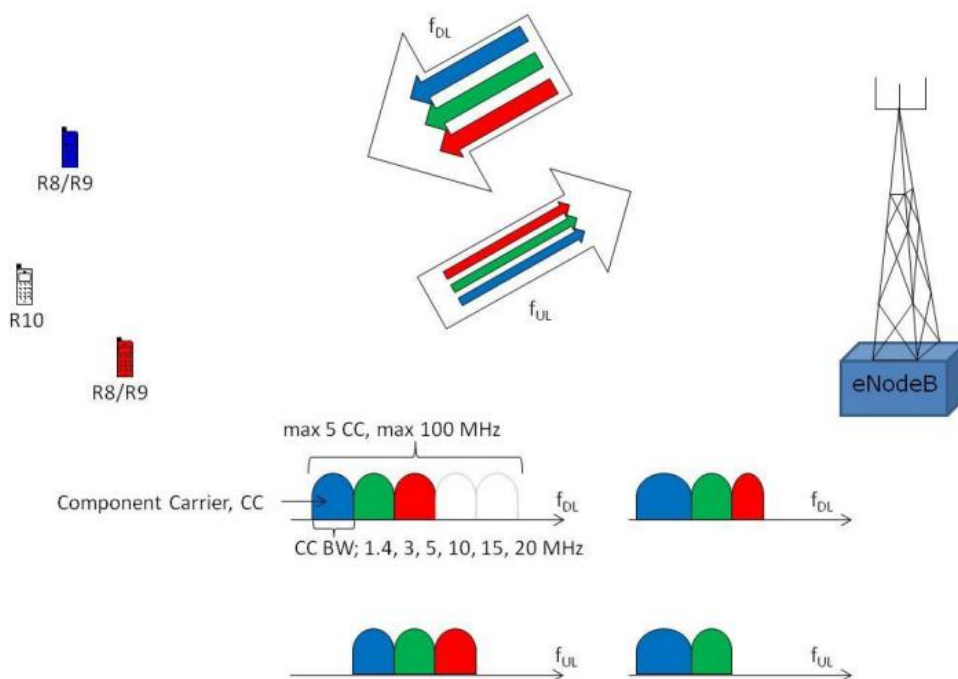


Figure 3.2 : Carrier Aggregation FDD

La R10 du UE peut être alloué des ressources DL et UL sur un maximum de cinq Component Carriers (CC) ces dernières peuvent être de différentes largeurs de bande. La meilleure façon d'organiser l'agrégation consiste à utiliser des porteuses constitutives contigus dans la même bande de fréquence, dite intra-bande contiguë. Cela pourrait ne pas être toujours possible, en raison de scénarios d'attribution des fréquences. Pour l'allocation non contiguë, il pourrait être soit intra-bande, c'est à dire les porteuses constitutives appartiennent à la même bande de fréquences de fonctionnement, mais sont séparées par un intervalle de fréquence, ou il pourrait être inter-bande, dans ce cas, les porteuses constitutives appartiennent à la fréquence de fonctionnement de différentes bandes, voir figure ci-dessous.

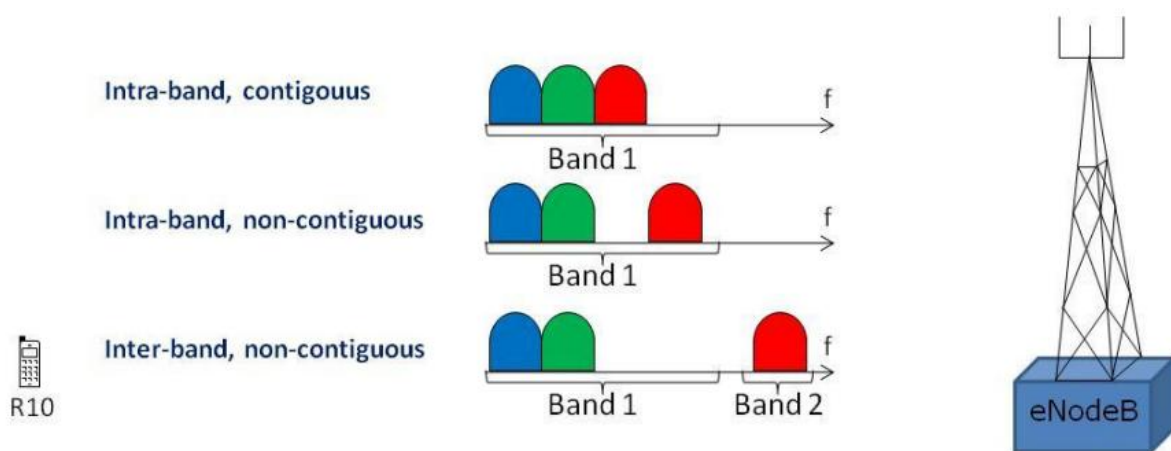


Figure 3.3: Carrier Aggregation Intra et inter-band alternatives

Quand l'agrégation de porteuse est utilisée il existe un certain nombre de cellules serveuses, un pour chaque component carrier. La couverture des cellules serveuses peut varier à la fois en raison du component carrier, mais aussi de la planification de la puissance utile pour la planification des réseaux hétérogènes. Différent component carriers peuvent être prévue pour assurer une couverture différente, à savoir la taille des cellules différentes. Dans le cas du groupe inter-agrégation de porteuses les supports de composants subiront différents pathloss, qui augmentent avec une fréquence croissante. Dans l'exemple illustré à la figure ci-dessous, l'agrégation de porteuses sur les trois component carriers de pièces peut être utilisé pour l'UE noir, le blanc UE n'est pas à l'intérieur de la zone de couverture du component carrier rouge.

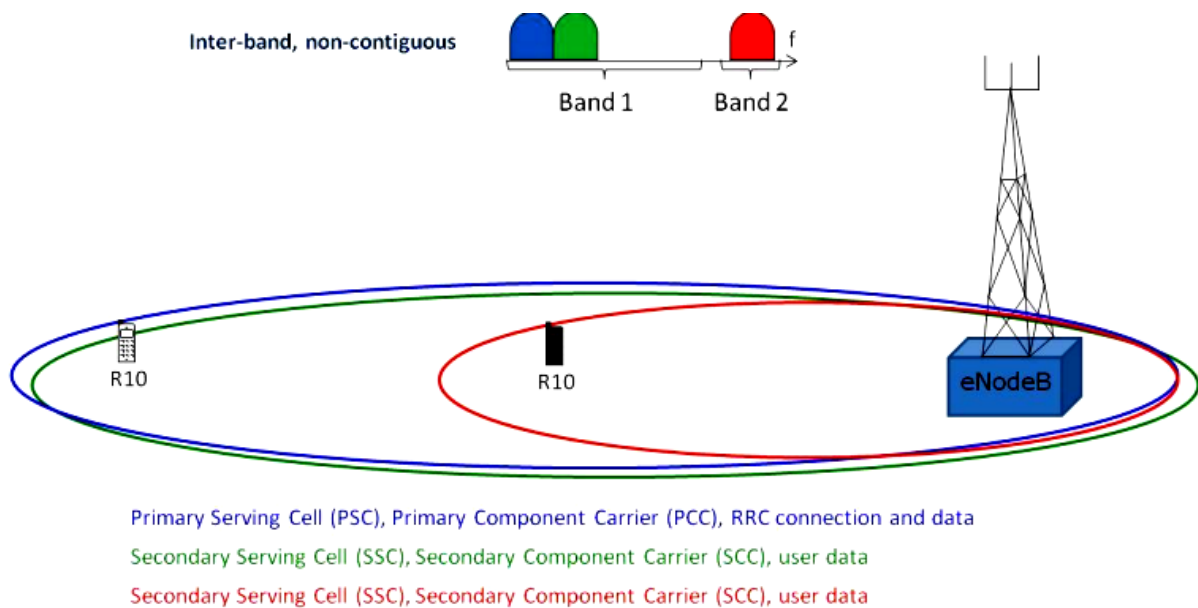


Figure 3.4 : Carrier Aggregation Serving Cells

2. CoMP (Coordinated Multipoint)

LTE CoMP ou Coordinated Multipoint est une installation qui est développée pour la LTE Advanced, la plupart des installations sont encore en développement et peut changer à mesure que les normes définissent les différents éléments du CoMP plus précisément. LTE CoMP est essentiellement une gamme de différentes techniques qui permettent la coordination dynamique de transmission et de réception sur une variété de différentes stations de base. L'objectif est d'améliorer la qualité globale de l'utilisateur ainsi que l'amélioration de l'utilisation du réseau.

Essentiellement, LTE Advanced CoMP transforme l'interférence inter-cellules, ICI, en signal utile, en particulier aux frontières de la cellule où les performances peuvent être dégradées. Au fil des années, l'importance de l'interférence inter-cellules, ICI a été reconnue, et diverses techniques utilisées depuis les jours de GSM pour en atténuer les effets. On a des techniques utilisées pour les interférences telles que sauts de fréquence. Alors la technologie a des méthodes avancées, beaucoup plus efficace luttent contre l'utilisation de l'interférence.

2.1 Les avantages du LTE COMP

LTE Advanced CoMP, coordonné multipoint est un ensemble complexe de techniques, il apporte de nombreux avantages à l'utilisateur ainsi que l'opérateur de réseau.

- permet une meilleure utilisation du réseau: En offrant des connexions vers plusieurs stations de base à la fois, utilisation des fonctions COMP, les données peuvent être transmises par les stations de base moins chargées pour une meilleure utilisation des ressources.
- Offre des performances améliorées de réception: Utilisation de plusieurs sites cellulaires pour chaque connexion signifie que la réception globale sera améliorée et le nombre d'appels interrompus devrait être réduit.
- l'accueil du site multiple augmente la puissance reçue: La réception conjointe de plusieurs stations de base ou d'autres sites utilisant des techniques multipoint coordonnées LTE permet la puissance totale reçue au combiné d'être augmenté.
- La réduction des interférences: En utilisant des techniques combinées spécialisés, il est possible d'utiliser l'interférence constructive plutôt que destructrice, réduisant ainsi les niveaux d'interférence.

2.2 Principe du LTE CoMP

Les bases CoMP de transmission et réception désignent en fait un large éventail de techniques qui permettent la coordination de la transmission et la réception avec plusieurs eNBs géographiquement et dynamiquement séparées. Son objectif est d'améliorer la performance globale du système, et l'utilisation des ressources de manière plus efficace et d'améliorer la qualité de service de l'utilisateur final.

Un des paramètres clés pour LTE dans son ensemble, et en particulier 4G LTE avancé est le taux de données élevés qui sont réalisables. Ces débits sont relativement faciles à maintenir à proximité de la station de base, mais que les distances augmentent, ils deviennent plus difficiles à maintenir.

Évidemment, les bords de la cellule sont les plus difficiles. Non seulement le signal inférieur en force à cause de la distance entre la station de base (eNB), mais aussi des niveaux d'interférence d'eNB voisins sont susceptibles d'être plus élevés que l'UE sera plus proche d'eux.

4G LTE CoMP, nécessite une coordination étroite entre un certain nombre d'eNBs géographiquement séparés. Ils coordonnent de façon dynamique pour fournir la planification et la transmission des articulations ainsi que la preuve de traitement commun des signaux reçus. De cette manière, un UE au niveau du bord d'une cellule est capable d'être desservie par

deux ou plusieurs eNBs pour améliorer les signaux de réception et transmission et augmenter le débit en particulier dans des conditions de bord de la cellule.

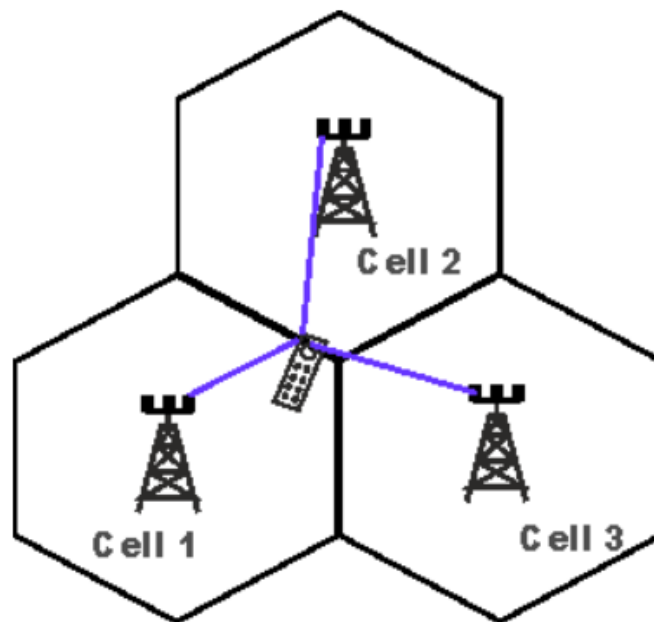


Figure 3.5 : Concept de LTE Advanced CoMP « Coordinated Multipoint »

4G LTE CoMP, se divise en deux grandes catégories:

- Le traitement mixte: le traitement survient lorsqu'il y a coordination entre plusieurs entités - stations de base – qui joue le rôle d'émetteur ou récepteur de ou à partir des UEs.
- Planification de coordonnée ou Beamforming: Cette technique souvent désignée comme CS / CB (coordinated scheduling / coordinated beamforming) est une forme de coordination où un UE émet avec une seule transmission ou un point de réception « station de base ». Toutefois, la communication est faite par un échange de contrôle entre plusieurs entités combinées.

Pour obtenir l'un de ces modes, le feedback est requise sur les propriétés du canal d'une manière rapide, par conséquent les changements peuvent être apportés. L'autre exigence est la coordination très étroite entre les eNBs pour faciliter la combinaison de données ou la commutation rapide des cellules.

Les techniques utilisées pour les coordonnée multipoint, CoMP sont très différentes pour la liaison montante et descendante. Cela résulte du fait que les eNBs sont dans un réseau, reliées à d'autres eNBs, alors que les combinées ou UEs sont des éléments individuels.

2.2.1 Downlink LTE CoMP

La liaison descendante LTE CoMP nécessite une coordination dynamique entre plusieurs eNBs géographiquement séparées pour faire la transmission à l'UE. Les deux formats CoMP a eu la liaison descendante:

- Les systèmes de traitement sont communs pour la transmission en liaison descendante dans ce cas, les données sont transmises à l'UE en même temps à partir d'un nombre de différentes eNB. L'objectif est d'améliorer la qualité du signal reçu et la force. Elle peut aussi avoir pour but d'annuler activement l'interférence de transmissions qui sont destinés aux autres UEs.

Cette forme de coordonnée multipoint accorde une grande demande sur le réseau, car les données à transmettre à l'UE a besoin d'être envoyé à chaque eNB qui va lui aussi la transmettre à l'UE. Cela peut facilement doubler ou tripler la quantité de données dans le réseau qui dépend du nombre d'eNBs responsables de l'envoi des données. En plus le traitement de données conjointes doivent être envoyé entre toutes les eNBs activess dans le domaine CoMP.

- Planification de coordonnée et ou la formation de faisceau beamforming: ce concept est décrit comme suit, les données d'un seul UE sont transmises d'un eNB et les décisions de planification ainsi que les faisceaux sont coordonnés pour contrôler l'interférence qui peut être générée.

L'avantage de cette approche est que les exigences de coordination au sein du réseau backhaul sont considérablement réduites pour deux raisons:

- UE n'a pas besoin d'avoir la liaison de plusieurs eNBs, et en plus doit être dirigé vers une eNB
- Seules les décisions de planification et les détails des faisceaux qui doivent être coordonnés entre plusieurs eNBs.

2.2.2 Uplink LTE CoMP

- La réception et le traitement conjoint: Le concept de base derrière ce format est d'utiliser des antennes sur différents sites. En coordonnant entre les différents eNBs il est possible de former un réseau d'antenne virtuelle. Les signaux reçus par les eNBs sont ensuite combinés et traités pour produire le signal de sortie final. Cette technique

permet aux signaux qui sont très faibles d'avoir la force, ou ceux qui sont masqués par des interférences dans certaines régions ont eu qu'un peu d'erreur.

Le principal inconvénient de cette technique est que de grandes quantités de données doivent être transférées entre les eNBs pour qu'il puisse fonctionner.

- Planification de coordonnée: Ce système fonctionne en coordonnant les décisions d'ordonnancement parmi les eNBs pour minimiser les interférences. Comme dans le cas de la liaison descendante, ce format offre une charge très réduite dans le réseau de backhaul car seules les données d'ordonnancement doit être transféré entre les différents eNBs qui coordonnent les uns avec les autres.

3. LTE Relais

Un relais sera effectivement faire la réception, démodulation, décodage des données, et la correction d'erreur, etc, pour ensuite retransmettre de nouveau le signal. De cette façon, la qualité du signal est améliorée grâce à un relais LTE, plutôt que de subir la dégradation d'un signal réduit par rapport au bruit lors de l'utilisation d'un répéteur.

Pour un relais LTE, les équipements utilisateurs communiquent avec le noeud de relais, qui à son tour communique avec une eNB donneur.

Le relais LTE est un relais fixe d'infrastructure sans connexion filaire backhaul, qui relaie les messages entre la station de base (BS) et des stations mobiles (MS) par la communication multi-sauts.

Il ya un certain nombre de scénarios où les relais LTE seront avantageux.

- Augmenter la densité du réseau: les noeuds du relais LTE peuvent être déployés très facilement dans des situations où l'objectif est d'accroître la capacité du réseau en augmentant le nombre d'eNBs pour assurer de bons niveaux de signal qui sont reçus par tous les utilisateurs. Les Relais LTE sont faciles à les installer car ils ne nécessitent pas de backhaul séparé et ils sont de petite taille leur permettant d'être installés dans de nombreux domaines pratiques, par exemple sur les réverbères, sur les murs, etc.

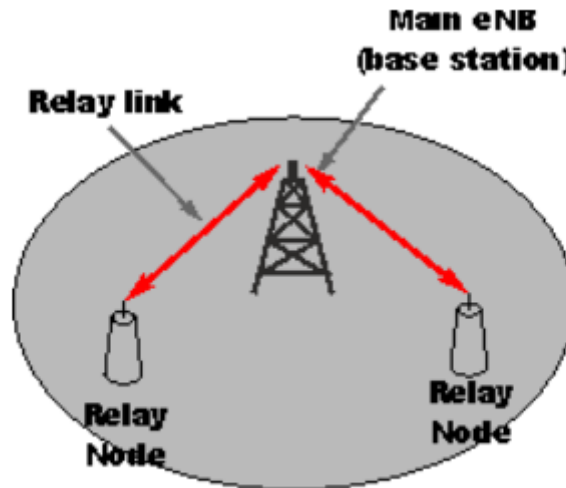


Figure 3.6 : Relais LTE utilisé pour augmenter la densité du réseau

- Extension de la couverture du réseau: Relais LTE peuvent être utilisés comme une méthode pratique de remplissage de petits trous dans la couverture. Sans avoir besoin d'installer une station de base terminée, le relais peut être installé rapidement afin qu'il remplisse la tache noire de couverture.

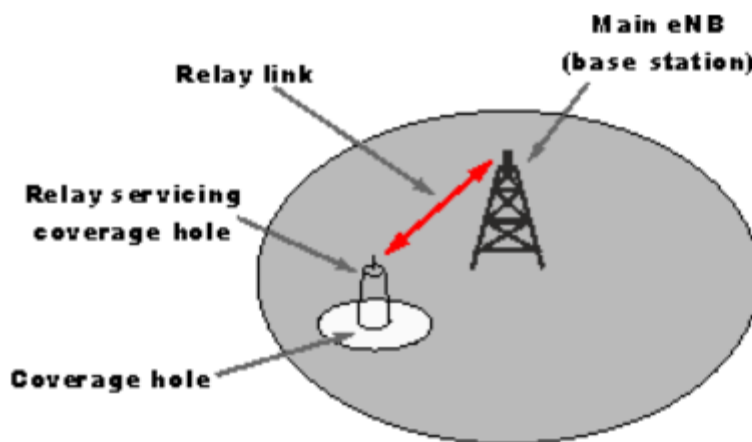


Figure 3.7 : LTE Relais extension de la couverture et remplissage des trous de la couverture

Relais nœuds LTE peuvent être poursuivis pour augmenter la couverture extérieure de la zone principale. Avec des antennes à gain élevé approprié et aussi si l'antenne a la liaison vers l'eNB donneur qui est placée dans un endroit approprié, il sera utilisable afin de maintenir de bonnes communications et fournir l'extension de la couverture.

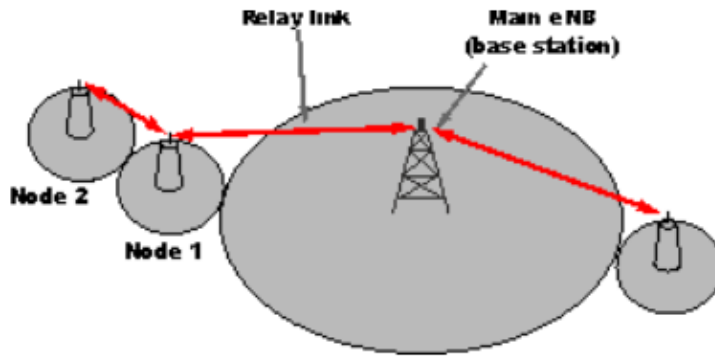


Figure 3.8 : LTE extension de la couverture

- Déploiement rapide du réseau: Sans avoir installer de backhaul, ou peut installer de grands antennes, relais LTE peuvent fournir une méthode très facile d'extension de la couverture au cours de la mise en place rapide d'un réseau. Il y a aussi la possibilité d'installer d'autres eNBs dans le cas de l'augmentation du volumes de trafic.

4. Concept du LTE device to device

Il y a un certain nombre d'avantages qui découlent de l'élaboration du dispositif LTE aux normes de l'appareil. Il pourrait apporter des avantages aux utilisateurs et aux opérateurs. La prestation de services locaux à haut débit de données est susceptible d'émerger comme l'utilisation des services multimédias riches devient plus banale que l'utilisation des ordinateurs mobiles tels que les tablettes, net-books, et les derniers Smartphones génération augmente. La plateforme LTE aurait l'avantage sur les autres, comme le Wifi et Bluetooth qui opèrent les dispositifs de protocoles d'appareils et qu'ils utilisent des spectres sans licence, et la performance est susceptible d'être mauvaise, en particulier lorsque de nombreux utilisateurs sont présents. La possibilité d'un dispositif LTE en vers les communications de l'appareil est que l'utilisation du spectre LTE est un environnement de brouillage contrôlé et pourrait être utilisé. Cela fournirait un environnement beaucoup plus efficace pour les communications à haut débit de données qui pourraient inclure des téléchargements de vidéo, musique, etc, Une autre possibilité est que le spectre sans licence pourrait être utilisé au côté de ce dernier sous une licence.

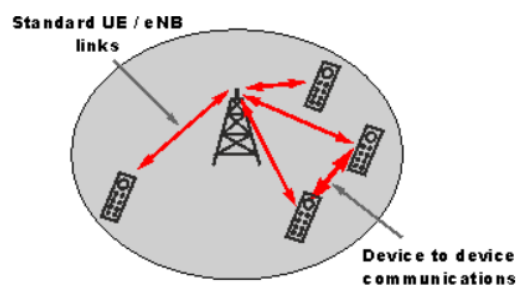


Figure 3.9 : LTE device to device

5. Les réseaux hétérogènes (HetNet)

Les réseaux hétérogènes, souvent appelés HetNet (Heterogeneous Network), ne mentionne pas une technologie spécifique, mais ils correspondent à la technique de déploiement multicouches. Autrement dit, plusieurs techniques d'accès, plusieurs formats de cellule, plusieurs types de couverture sont mis en œuvre dans la même zone de déploiement. Le besoin découle du fait que la plupart des zones de déploiement ont un certain degré d'hétérogénéité en termes d'exigences de couverture de débits, de délai, etc. En effet, une macro cellule permet de réaliser le plus grand rayon de couverture, une pico cellule ou femto cellule est caractérisée par une surface de couverture plus petite, donc elle sert moins d'abonnées ce qui obéit à la contrainte de capacité.

L'idée est donc de déployer plusieurs formats de cellule dans la même zone, pour se garantir à la fois :

- De la capacité : en mettant en place une couche hotspot composés de plusieurs cellules à tailles réduites (pico/femto) et des nœuds relais, ces derniers sont moins coûteuses, faciles à installer et elles permettent en plus d'assurer la couverture à l'intérieur des bâtiments des utilisateurs (bureaux, maisons, etc.)
- De la couverture : en utilisant une macro cellule capable d'étendre la couverture dans la zone entière. Un utilisateur peut se connecter à un réseau de type HetNet selon la technologie qui répond le plus à son besoin : ad hoc, Wifi, etc. HetNet est constitué donc d'une station macro qui coopère avec plusieurs petites cellules de tailles réduites d'une façon transparente dans le but d'augmenter la capacité et la couverture du réseau.

Conclusion

Dans ce troisième chapitre on a parlé des techniques, qui ont joué le rôle important de translateur vers un nouveau monde (LTE-Ad) satisfont les besoins du client et poursuivant les dernières technologies.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'étudier et simuler le débit dans l'environnement cellulaire après un paramétrage des scriptes. En utilisant dans ce travail de différentes techniques, telles que MIMO, OFDM, CoMP et l'agrégation de porteuses, etc. Ainsi que ce travail a le but de suivre l'évolution rapide du standard 3GPP LTE et qui tient compte de ces dernières nouvelles technologies.

Pour cela, nous avons étudié dans le premier chapitre le réseau LTE-Advanced, les innovations apportées par rapport LTE et les concepts de bases hérités de LTE, notamment l'interface air et la couche physique. La deuxième partie a été consacrée pour faire une étude du débit en fonctionnant du SNR en se basant sur un nombre de techniques, mode, et méthodes. Ce processus est caractérisé par son complexité et comprend plusieurs tâches, principalement la multitude des paramètres. Dans le troisième chapitre nous avons présenté les techniques les plus importantes qui ont fait une contribution à la standardisation du LTE-Ad.

Ce projet était l'occasion pour approfondir mes connaissances sur les réseaux mobiles de la quatrième génération, LTE/LTE-Advanced, ensuite l'étude, paramétrage et simulation de différents mode du LTE-Ad dans un environnement monocellulaire ,donc l'étape qui suit c'est de continuer notre travail et faire aussi une étude du l'environnement multicellulaire. Toute cette étude Constitue la solution la plus recherchée pour remédier au compromis (qualité de service) QoS, coût, face aux exigences des consommateurs envers des débits de données plus élevés et des tarifs réduits.

Annexe 1

Bandes de déploiement en LTE-Advanced

Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive/UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit /UE receive		Duplex Mode
	F _{UL_low}	F _{UL_high}	F _{DL_low}	F _{DL_high}	
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	865 MHz	875 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	1447.9 MHz	1475.9 MHz	1495.9 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
15	Reserved		Reserved		-
16	Reserved		Reserved		-

Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive/UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit /UE receive		Duplex Mode
	F _{UL_low}	F _{UL_high}	F _{DL_low}	F _{DL_high}	
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
20	832 MHz	862 MHz	791 MHz	821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	1462.9 MHz	1495.9 MHz	1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz	3500 MHz	3510 MHz	3600 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
41	3400 MHz	3600 MHz	3400 MHz	3600 MHz	TDD

Annexe 2

Techniques de modulations et de codage (MCS index) pour DL et UL

MCS Index	Downlink			Uplink		
	Modulation	Coding Rate	SNR, dB	Modulation	Coding Rate	SNR, dB
0	QPSK	0.1172	-6.475	QPSK	0.1000	-7.231
1	QPSK	0.1533	-5.182	QPSK	0.1250	-6.164
2	QPSK	0.1885	-4.131	QPSK	0.1550	-5.113
3	QPSK	0.2452	-2.774	QPSK	0.2050	-3.701
4	QPSK	0.3008	-1.649	QPSK	0.2500	-2.658
5	QPSK	0.3701	-0.469	QPSK	0.3100	-1.480
6	QPSK	0.4385	0.561	QPSK	0.3650	-0.544
7	QPSK	0.5137	1.564	QPSK	0.4300	0.440
8	QPSK	0.5879	2.479	QPSK	0.4900	1.263
9	QPSK	0.6631	3.335	QPSK	0.5550	2.085
10	16QAM	0.3320	3.335	QPSK	0.6150	2.794
11	16QAM	0.3691	4.140	16QAM	0.3075	2.794
12	16QAM	0.4238	5.243	16QAM	0.3525	3.789
13	16QAM	0.4785	6.285	16QAM	0.4000	4.771
14	16QAM	0.5400	7.403	16QAM	0.4500	5.748
15	16QAM	0.6016	8.478	16QAM	0.5025	6.727
16	16QAM	0.6426	9.168	16QAM	0.5350	7.313
17	64QAM	0.4277	9.168	16QAM	0.5700	7.931
18	64QAM	0.4551	9.846	16QAM	0.6300	8.963
19	64QAM	0.5049	11.060	16QAM	0.6925	10.010
20	64QAM	0.5537	12.250	16QAM	0.7525	10.994
21	64QAM	0.6016	13.398	64QAM	0.5017	10.994
22	64QAM	0.6504	14.534	64QAM	0.5417	11.961
23	64QAM	0.7021	15.738	64QAM	0.5850	12.995
24	64QAM	0.7539	16.934	64QAM	0.6283	14.017
25	64QAM	0.8027	18.067	64QAM	0.6700	14.991
26	64QAM	0.8525	19.196	64QAM	0.7100	15.920
27	64QAM	0.8887	20.032	64QAM	0.7417	16.652
28	64QAM	0.9258	20.866	64QAM	0.7717	17.343

Annexe 3

Paramètres utilisés par LTE-Ad

Transmission BW	1.4 MHz	2.5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	
Sub-frame duration	0.5 ms						
Sub-carrier spacing	15 kHz						
Sampling frequency	1.92 MHz (1/2 × 3.84 MHz)	3.84 MHz	7.68 MHz (2 × 3.84 MHz)	15.36 MHz (4 × 3.84 MHz)	23.04 MHz (6 × 3.84 MHz)	30.72 MHz (8 × 3.84 MHz)	
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048	
Number of occupied sub-carriers†, ††	76	151	301	601	901	1201	
Number of PRBs	6	12	25	50	75	100	
Number of OFDM symbols per sub frame (Short/Long CP)	7/6						
CP length (µs/samples)	Short	$(4.69/9) \times 6,$ $(5.21/10) \times 1^*$	$(4.69/18) \times 6,$ $(5.21/20) \times 1$	$(4.69/36) \times 6,$ $(5.21/40) \times 1$	$(4.69/72) \times 6,$ $(5.21/80) \times 1$	$(4.69/108) \times 6,$ $(5.21/120) \times 1$	$(4.69/144) \times 6,$ $(5.21/160) \times 1$
	Long	$(16.67/32)$	$(16.67/64)$	$(16.67/128)$	$(16.67/256)$	$(16.67/384)$	$(16.67/512)$

Références

- [1] <http://www.3gpp.org/lte-advanced>
- [2] 4G Mobile Broadband Evolution 3Gpp Release 10 ans Beyond HSPA+, SAE/LTE-Advanced
- [3] 3GPP TR 36.913 V9.0.0 (2009-12): http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.913.
- [4] LTE et les réseaux 4G (Yannick Bouguen, Eric hardouin, François-xavier wolff) EYROLLES
- [5] The Vienna LTE simulators – Enabling reproducibility in wireless communications research(<http://asp.eurasipjournals.com/content/2011/1/29>)
- [6] <http://www.3gpp.org/LTE-Advanced>
- [7] http://www.3gpp.org/IMG/pdf/2009_10_3gpp_IMT.pdf
- [8] 3GPP TSG RAN Tdoc RP-070466
- [9] <http://www.wireless-techbook.com/introduction-a-propos-de-systeme-lte/130-objectifs-de-conception-lte.html>
- [10] <http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/lte-long-term-evolution/4g-lte-advanced-relaying.php>
- [11] http://www.artizanetworks.com/lte_tut_adv_acceleration.html
- [12] <http://www.wireless-techbook.com/aperçu-du-wimax/7-architecture-de-reseau.html>
- [13] <http://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/lte>
- [14] Livre multi carrier digital communication theory and application of OFDM second edition Ahmad R.S.Bahai / Burton R. Saltzberg / Mustafa Ergen
- [15] LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory To Practice ,Edited by : Stefania sasia.Issam Toufik . Matthew Baker Second Edition
- [16] <Http://www.nt.tuwien.ac.at/ltesimulator>