

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderahmane MIRA - BEJAIA -  
Faculté de Technologie  
Département Génie Electrique



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

## Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté par :

M<sup>elle</sup> DEBBOU Dalila

**Pour l'obtention du Diplôme de Master Recherche**

*Filière : Electronique*  
*Spécialité : Télécommunication*

*Thème*

# **3GPP/LTE ETUDE DE L'INTERFACE AIR ET SIMULATION**

**Soutenu en public en date du :**

**Devant le Jury:**

**Dr K.MOKRANI**

**M .C U.A.M Béjaia**

**Président de Jury**

**Dr M.KHEREDINE**

**M.C U.A.M Béjaia**

**Examineur**

**Dr M. AZNI**

**M.C U.A.M Béjaia**

**Rapporteur**

**Promotion 2012-2013**

# Remerciement

En premier lieu, nous remercions Dieu de m'avoir donné le courage et la force pour mener à terminer ce travail.

Je remercie mon encadreur, M<sup>r</sup>Mohamed AZNI, pour l'aide et le soutien qu'il m'a apporté

Et nous remercions aussi M<sup>r</sup>Abdenour Aliche pour toutes ses remarques et ses conseils.

J'adresse également mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Je tiens aussi à présenter mes remerciements et ma gratitude à tous mes enseignants de l'Université A.Mira de Béjaïa, qui m'ont toujours enrichi de leurs savoirs.

Que toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, m'a aidé et encouragé pour faire aboutir ce travail, trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents pour leur patience et leur aide durant toutes ces longues années*

*A mes sœurs : Rezika, Saida, Nassima, Samiha, Koko, Hannan*

*A mes frères : Fahim , Nazih.*

*A mes grands-parents maternels*

*A mes ami(e)s surtout Farid, zahwa, Ghania, Saida, Souhila, Zwina , tassadit.  
A toute la promotion Telecom 2012/2013*

# SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GENERALE.....	01,02
Chapitre 1 : LES CONCEPTS DE 3GPP/LTE.....	03
1 Introduction.....	03
2 Résumé des exigences de 3GPP/LTE.....	03
3 Historique sur l'évolution de UMTS.....	05
4 Le contexte LTE.....	06
5 cahiers de charges 3GPP/LTE .....	06
6 l'architecture de LTE .....	07
6-1 Caractéristiques du réseau cœur SAE.....	07
6-2 Caractéristiques et entités du réseau EPS (Evolved Packet System).....	08
6-2-1 Entité eNodeB.....	10
6-2-2 Entité MME (Mobility Management Entity).....	10
6-2-3 Entité Serving Gateway.....	12
6-2-4 Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway).....	12
6-2-5 Entité HSS (Home Subscriber Server).....	13
6-2-6 Entité PCRF (Policy and Charging Rules Function).....	13
7 conclusion .....	14

---

Chapitre 2 : LES ASPECTS RADIO DE L'INTERFACE AIR DANS LTE.....	15
1 introduction .....	15
2 Les modes d'accès radio.....	15
3 Les Largeurs de bandes de transmission.....	16
4 Les bandes de fréquences utilisées.....	17
5 Technique d'accès multiple en Downlink : L'OFDMA.....	18
5-1 OFDM /OFDMA.....	18
5-1-1 Description de l'OFDM.....	18
5-1-2 Comparaison entre l'OFDM et le CDMA.....	20
5-1-3 L'OFDMA.....	22
5-2 Paramétrisation de l'OFDMA.....	23
6 Technique d'accès multiple en Uplink : SC-FDMA.....	27
6-1 SC-FDMA.....	27
6-2 Paramétrisation de SC-FDMA.....	28
7 Présentation des techniques d'antennes multiples : La diversité, MIMO et Beamforming :.....	30
7-1 MIMO.....	30
7-1-1 Les modes d'accès au canal radio.....	30
• Single Input Single Output.....	31
• Multiple Input Simple Output.....	31
• Simple Input Multiple Output.....	32

---

---

• Multiple Input Multiple Output (MIMO).....	32
7-1-2 Multiplexage spatial.....	33
7-2 La diversité de transmission.....	34
7-3 Beamforming.....	35
7-4 Combiner Beamforming et MIMO.....	35
8 Propagation à travers le canal radio.....	36
8-1 Propagation en espace (libre cas idéal).....	36
8-2 Propagation dans le cas réel.....	36
8-3 Phénomène de trajets multiples et sa résolution dans LTE.....	36
9 Conclusion .....	39
<b>Chapitre 3 : L'ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DE L'INTERFACE AIR</b>	<b>40</b>
<b>DANS LTE.....</b>	<b>.....</b>
1 introduction .....	40
2 L'E-UTRAN.....	40
3 L'architecture protocolaire globale de l'interface air dans LTE.....	42
4 Procédures de la couche 3.....	43
5 Couche 2.....	45
5-1 La Structure de la couche 2.....	45
5-2 Les canaux de transport.....	46
5-3 Les canaux logiques.....	46
5-4 La structure du bloc de transport (MAC Protocol Data Unit(PDU)).....	48

---

---

6	La couche physique.....	48
6-1	Aperçu sur l’interface physique.....	49
6-2	Les canaux physiques et modulation.....	50
6-3	Codage de canal et multiplexage.....	53
6-4	Procédures de la couche physique.....	55
6-5	Les mesures de la couche physique.....	57
6-6	Gestion des ressources radio.....	59
7	conclusions.....	60
<b>Chapitre 4 : SIMULATION.....</b>		<b>61</b>
1	Introduction.....	61
2	Objectifs.....	61
3	Logiciel utilisé.....	62
4	Simulation.....	62
4-1)	Schéma bloc d’une liaison descendante de la couche physique dans LTE.....	62
4-2)	Les taches des différents blocs.....	63
4-3)	Résultats, affichages et commentaires.....	64
5	Conclusion.....	70 -71
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>		<b>72</b>

---

# Liste des figures

Figure	Titre de la figure	Page
<b>Figure (1-1)</b>	Architecture LTE/SAE-.....	07
<b>Figure (1-2)</b>	Architecture globale du système 3GPP/LTE- .....	08
<b>Figure (1-3)</b>	Architecture E-UTRAN.....	10
<b>Figure (2-1)</b>	Le signal OFDM représenté dans le temps et la fréquence.....	20
<b>Figure (2-2)</b>	Planification de fréquence aux bords des cellules.....	21
<b>Figure (2-3)</b>	Allocation des sous-porteuses dans l'OFDM et l'OFDMA.....	23
<b>Figure (2-4)</b>	Structure de la trame type 1.....	24
<b>Figure (2-5)</b>	Structure de la trame type 2.....	24
<b>Figure (2-6)</b>	Grille de ressource en Downlink.....	26
<b>Figure (2-7)</b>	Mode de mappage des sous-porteuses.....	28
<b>Figure (2-8)</b>	Grille de ressource en uplink.....	29
<b>Figure (2-9)</b>	Les modes d'accès au canal radio.....	31
<b>Figure (2-10)</b>	Non-precoded 2x2 MIMO.....	33
<b>Figure (2-11)</b>	Multiplexage spatiale (simplifié)-.....	33
<b>Figure (2-12)</b>	Phénomène de multi-trajets causé par les réflexions du signal sur les obstacles	37
<b>Figure (2-13)</b>	OFDM Elimine l'IES via des périodes symbole plus longues et le CP...	38
<b>Figure (3-1)</b>	LTE/E-UTRA.....	40
<b>Figure (3-2)</b>	L'interfonctionnement entre l'eNodeB et l'EPC.....	41
<b>Figure (3-3)</b>	La pile des protocoles du plan utilisateur.....	41
<b>Figure (3-4)</b>	La pile des protocoles du plan de contrôle.....	42
<b>Figure (3-5)</b>	L'architecture protocolaire globale de l'interface air.....	42
<b>Figure (3-6)</b>	Etats E-UTRA et les procédures inter-RAT.....	43
<b>Figure (3-7)</b>	Les procédures de mobilités entre E-UTRA et CDMA2000.....	44
<b>Figure (3-8)</b>	Structure de la couche 2 en downlink.....	45
<b>Figure (3-9)</b>	Structure de la couche 2 en uplink.....	46
<b>Figure (3-10)</b>	Mapping entre les canaux logiques et les canaux de transport en DLPage	47
<b>Figure (3-11)</b>	Mapping entre les canaux logiques et les canaux de transport en UL...	47
<b>Figure (3-12)</b>	La structure du bloc de transport (MAC Protocol Data Unit).....	48
<b>Figure (3-13)</b>	Relation entre les spécifications de la couche physique.....	48

<b>Figure (4-1)</b>	Schéma bloc de la couche physique.....	63
<b>Figure (4-2)</b>	Affichage du train binaire émis.....	65
<b>Figure (4-3)</b>	Afficheur du signal modulé-.....	65
<b>Figure (4-4)</b>	Changements de l'ordre de modulation en fonction du SNR à la réception	65
<b>Figure (4-5)</b>	Spectres OFDM théorique et celui obtenu avec Matlab.....	66
<b>Figure (4-6)</b>	Schéma bloc de la chaîne de réception.....	67
<b>Figure (4-7)</b>	Les symboles reçus sous forme de constellations.....	67
<b>Figure (4-8)</b>	affichage du SNR à la réception.....	68
<b>Figure (4-9)</b>	Affichage du nombre de bits reçus, nombre d'erreurs, et du BER.....	68
<b>Figure (4-10)</b>	Courbes donnant TEB en fonction du SNR pour QPSK, 16QAM et 64QAM	69

# Liste des tableaux

Tableau	Titre du Tableau	Page
Tableau (1-1)	Débits en UL et DL.....	04
Tableau (1-2)	progression des normes de 3GPP.....	05
Tableau (2-1)	Configuration de la largeur de bande de Transmission.....	16
Tableau (2-2)	les différentes bandes de fréquences utilisées dans LTE.....	18
Tableau (2-3)	Comparaison entre l'OFDM et CDMA-.....	22
Tableau (2-4)	Configuration Uplink-Downlink pour LTE TDD-.....	25
Tableau (2-5)	Nombre de blocs de ressources pour différentes largeurs de bandes.....	26
Tableau (2-6)	Paramétrisation de la structure de trame en Downlink.....	27
Tableau (2-7)	Paramétrisation de la structure de trame en uplink (TDD et FDD).....	30
Tableau (3-1)	Les options de configuration par RRC.....	44
Tableau (3-2)	Les signaux physiques dans LTE.....	51
Tableau (3-3)	Les canaux physiques dans LTE.....	52
Tableau (3-4)	Les modulations de canaux et de signaux autorisés pour les liaisons DL et UL.....	52
Tableau (3-5)	Types de canaux de transport.....	53
Tableau (3-6)	Informations de contrôle.....	54
Tableau (3-7)	Mapping aux canaux physiques.....	54
Tableau (3-8)	Les mesures de la couche physique.....	59
Tableau (4-1)	SNR en fonction du TEB pour QPSK, 16QAM et 64QAM.....	69

## Liste des abréviations

---

<b>3G</b>	3rd Generation
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project
<b>AMC</b>	Adaptive modulation and coding
<b>ARQ</b>	Automatic repeat request
<b>BCCH</b>	Broadcast Control Channel
<b>BCH</b>	Broadcast Channel
<b>BTS</b>	Base transceiver station
<b>CCCH</b>	Common Control Channel
<b>CCDF</b>	Complementary Cumulative Density Function
<b>CCO</b>	Cell Change Order
<b>CDD</b>	Cyclic delay diversity
<b>CDMA</b>	Code division multiple access
<b>CFI</b>	Control format indicator
<b>Co-MIMO</b>	Cooperative MIMO
<b>CP</b>	Cyclic Prefix
<b>CPICH</b>	Common pilot channel
<b>C-plane</b>	Control Plane
<b>CPRI</b>	Common public radio interface
<b>CQI</b>	Channel quality indicator
<b>CRC</b>	Cyclic redundancy check
<b>C-RNTI</b>	Cell Radio Network Temporary Identifier
<b>CS</b>	Circuit Switched
<b>DCCH</b>	Dedicated Control Channel
<b>DCI</b>	Downlink control indicator
<b>DFT</b>	Discrete Fourier transform
<b>DFT-SOFDM</b>	Discrete Fourier transform spread OFDM
<b>DL</b>	Downlink : (base station to subscriber transmission)
<b>Downlink</b>	
<b>DL-SCH</b>	Downlink Shared Channel
<b>DRS</b>	Demodulation Reference Signal
<b>DRX</b>	Discontinuous Reception
<b>DSP</b>	Digital signal processing
<b>DTCH</b>	Dedicated Traffic Channel
<b>DTX</b>	Discontinuous Transmission
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcast
<b>DwPTS</b>	Downlink Pilot Timeslot
<b>E-DCH</b>	Enhanced dedicated channel
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
<b>eMBMS</b>	Evolved multimedia broadcast multicast service
<b>eNB</b>	evolved NodeB

---

---

<b>EPC</b>	Evolved Packet Core
<b>EPRE</b>	Energy per resource element
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>E-UTRA</b>	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
<b>E-UTRAN</b>	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>FRC</b>	Fixed reference channel
<b>FS1</b>	Frame structure type 1
<b>FS2</b>	Frame structure type 2
<b>GERAN</b>	GSM EDGE Radio Access Network
<b>GP</b>	Guard Period
<b>GSM</b>	Global System for Mobile communication
<b>HARQ</b>	Hybrid Automatic Repeat Request
<b>HI</b>	HARQ indicator
<b>HRPD</b>	High Rate Packet Data
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>HSPA</b>	High Speed Packet Access
<b>HSUPA</b>	High Speed Uplink Packet Access
<b>IFFT</b>	Inverse Fast Fourier Transformation
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LCID</b>	Logical channel identifier
<b>LO</b>	Local oscillator
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>MAC</b>	Medium Access Control
<b>MBMS</b>	Multimedia Broadcast Multicast Service
<b>MBSFN</b>	Multicast/broadcast over single-frequency network
<b>MCH</b>	Multicast channel
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output
<b>MISO</b>	Multiple input single output
<b>MME</b>	Mobility Management Entity
<b>MOP</b>	Maximum output power
<b>MPR</b>	Maximum power reduction
<b>MU-MIMO</b>	Multi User MIMO
<b>NACK</b>	Negative Acknowledgement
<b>NAS</b>	Non Access Stratum
<b>OBSAI</b>	Open base station architecture interface
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>OFDMA</b>	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
<b>PAPR</b>	Peak-to-Average Power Ratio
<b>PAR</b>	Peak-to-average ratio
<b>PBCH</b>	Physical Broadcast Channel
<b>PCCH</b>	Paging Control Channel

---

---

<b>P-CCPCH</b>	Primary common control physical channel
<b>PCFICH</b>	Physical Control Format Indicator Channel
<b>PCH</b>	Paging Channel
<b>PDCCH</b>	Physical Downlink Control Channel
<b>PDCP</b>	Packet Data Convergence Protocol
<b>PDN</b>	Packet Data Network
<b>PDSCH</b>	Physical Downlink Shared Channel
<b>PDU</b>	Protocol Data Unit
<b>P-GW</b>	PDN Gateway
<b>PHICH</b>	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
<b>PHY</b>	Physical Layer
<b>PMCH</b>	Physical multicast channel
<b>PMI</b>	Precoding Matrix Indicator
<b>PRACH</b>	Physical random access channel
<b>PS</b>	Packet Switched
<b>P-SCH</b>	Primary synchronization signal
<b>PUCCH</b>	Physical Uplink Control Channel
<b>PUSCH</b>	Physical Uplink Shared Channel
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying
<b>RACH</b>	Random Access Channel
<b>RAN</b>	Radio Access Network
<b>RA-RNTI</b>	Random Access Radio Network Temporary Identifier
<b>RAT</b>	Radio Access Technology
<b>RB</b>	Radio Bearer
<b>RB</b>	Resource block
<b>RF</b>	Radio Frequency
<b>RFDE</b>	RF design environment
<b>RIV</b>	Resource Indication Value
<b>RLC</b>	Radio Link Control
<b>RMC</b>	Reference measurement channel
<b>RNC</b>	Radio network controller
<b>ROHC</b>	Robust Header Compression
<b>RRC</b>	Radio Resource Control
<b>RRM</b>	Radio Resource Management
<b>RS</b>	Reference signal
<b>RSCP</b>	Received signal code power
<b>RSRP</b>	Reference signal received power
<b>RSRQ</b>	Reference signal received quality
<b>RSSI</b>	Received signal strength indicator
<b>RTT</b>	Radio Transmission Technology
<b>S1</b>	Interface between eNB and EPC

---

---

<b>SAE</b>	System Architecture Evolution
<b>SAP</b>	Service access point
<b>SC-FDMA</b>	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
<b>SDMA</b>	Spatial Division Multiple Access
<b>SDU</b>	Service Data Unit
<b>SFBC</b>	Space Frequency Block Coding
<b>S-GW</b>	Serving Gateway
<b>SIMO</b>	Single input multiple output
<b>SISO</b>	Single input single output
<b>SISO</b>	Single Input Single Output
<b>SNR</b>	Signal-to-noise ratio
<b>SR</b>	Scheduling Request
<b>SRS</b>	Sounding Reference Signal
<b>S-SCH</b>	Secondary synchronization signal
<b>SU-MIMO</b>	Single User MIMO
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TDMA</b>	Time division multiple access
<b>TD-SCDMA</b>	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
<b>TPC</b>	Transmit Power Control
<b>TR</b>	Technical report
<b>TrCH</b>	Transport channel
<b>TTI</b>	Transmission Time Interval
<b>UCI</b>	Uplink Control Information
<b>UE</b>	User Equipment
<b>UL</b>	Uplink (subscriber to base station transmission)
<b>UL-SCH</b>	Uplink Shared Channel
<b>UMB</b>	Ultra-mobile broadband
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>U-plane</b>	User plane
<b>UpPTS</b>	Uplink Pilot Timeslot
<b>UTRA</b>	UMTS Terrestrial Radio Access
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VoIP</b>	Voice over IP
<b>VSA</b>	Vector signal analyzer
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>X2</b>	Interface between eNBs

---

## INTRODUCTION GENERALE

Le monde des technologies mobiles offre une innovation permanente. Ainsi, les déploiements de la 3,5G (HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)) sont à peine initiés, que les organismes de normalisation planchent déjà sur la génération suivante. Le 3GPP travaille sur le concept du Long Terme Evolution (LTE) afin d'offrir un système de communication dont les temps de latences seraient faibles, un débit plus important et une meilleure efficacité spectrale en introduisant de nouveaux schémas de codages radios très sophistiqués. Ce système devrait inter opérer avec les systèmes existants : ce qui apporte une grande difficulté aux fabricants de portables qui devront développer des modèles multimodes capables de « s'accrocher » à tout type d'accès radio sans décharger trop rapidement leurs batteries, le tout pour un coût restant accessible pour le grand public.

Le but du système LTE ou super 3G est d'arriver à une technologie radio d'accès évoluée offrant des services de haut débit (100Mbits/s en réception et 50Mbits/s en émission), tout en satisfaisant les contraintes technologiques présentes. C'est pourquoi, il a été proposé pour diverses raisons que sur la voie descendante, la technique d'accès OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) soit utilisée. En revanche sur la voie montante, on utilisera la technique SC-FDMA (*Single Carrier FDMA*).

Dans le cadre de notre projet de fin d'études nous proposons d'étudier l'interface air dans LTE et pour cela, nous avons structuré notre travail comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une présentation des concepts généraux de la 3G-LTE, les exigences fixées par le groupe 3GPP pour cette technologie, un historique sur l'évolution de l'UMTS, le contexte LTE et ses spécificités techniques et pour clôturer ce chapitre, nous présenterons l'architecture générale du système tout en définissant les différentes entités le constituant et une brève description de leurs rôles.

Dans le second chapitre, nous décrirons les aspects radio de l'interface Air. Nous présenterons d'abord les modes d'accès radio, les largeurs de bandes de transmission ainsi que les bandes de fréquences utilisés dans LTE puis on passera à l'étude des techniques d'accès multiples utilisées en Downlink (OFDMA) et en Uplink (SC-FDMA) ainsi que les techniques

d'antennes multiples et on terminera par l'étude de la propagation à travers le canal radio, les problèmes rencontrés et les solutions proposées par 3GPP pour LTE.

Ensuite, dans le troisième chapitre, nous étudierons l'architecture protocolaire de l'interface Air dans LTE, en présentant les piles des protocoles des trois premières couches. En fin de ce chapitre on passera à la description des procédures de la couche 3 et les structures de la couche 2 en UL et en DL ; les canaux logiques et les canaux de transport et on terminera par l'étude détaillée de la couche physique.

Quand au dernier chapitre, nous présenterons notre simulation qui consiste à modéliser une liaison de bout en bout de la couche physique en Downlink incluant le codage /décodage du canal, les modulations bande de base (QPSK, 16QAM, 64QAM) et l'OFDM appliquée à MIMO. Après modélisation on génère une séquence binaire aléatoire et on suivra son évolution jusqu'à sa réception au niveau de l'équipement utilisateur puis faire une évaluation des résultats obtenus.

## Chapitre I

### LES CONCEPTS DE 3GPP/LTE

#### 1 Introduction

L'UMTS (Universel Mobile Télécommunications System), basée sur le W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) a été déployée à travers le monde entier, ce qui reflète son succès. Pour s'assurer que ce système garde sa compétitivité dans le futur, en novembre 2004 3GPP (3rd Génération Partnership Project) a entamé un projet pour définir et normaliser l'évolution à long terme de la technologie cellulaire UMTS. Les spécifications relatives à cet effort sont formellement connues sous les noms d'E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) et E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) qu'on appelle brièvement LTE (Long Term Evolution). La 1<sup>ère</sup> version de LTE a été publiée dans la version n° 8 (release 8) des spécifications de 3GPP.

Les exigences principales de 3GPP pour LTE sont la réduction du coût par bit, l'augmentation de la prestation de services - plus de services à moindre coût avec une meilleure expérience utilisateur, une utilisation flexible des nouvelles et existantes bandes de fréquences, une architecture réseau plus simplifiée, la réduction de la consommation d'énergie par les terminaux mobiles. Ces exigences seront détaillées ultérieurement.

La technologie LTE semble aujourd'hui s'imposer comme la norme de la future 4G. Cette 4G, aujourd'hui standardisée et promettant des débits théoriques supérieurs à 100 Mb/s en voie descendante et plus de 50 Mb/s en voie ascendante a été lancée commercialement en décembre 2011.

Il faut dire que technologiquement, la norme LTE est prête. Elle a été standardisée et les équipements radio destinés aux opérateurs mobiles sont désormais dans les catalogues. Des réseaux pilotes ont été lancés.

Une première commercialisation d'une offre mobile en 4G (LTE) a été lancée sur les villes de Stockholm (Suède) et Oslo (Norvège) le 15 décembre 2009 par l'opérateur téléphonique TeliaSonera.

#### 2 Résumé des exigences de 3 GPP/LTE

Pour répondre aux exigences fixées pour LTE décrites dans TR 25.913, LTE vise à atteindre les objectifs suivants

- ✓ **Débit de données** Amélioration des débits dans les liaisons montantes et descendantes comme mentionné dans le tableau (1-1). Noter que la liaison descendante est spécifiée pour des configurations d'antennes SISO (Single Input Single Output) et MIMO (Multiple Input Multiple Output) en fixant 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) comme technique de modulation, tandis que la liaison montante est spécifiée seulement pour SISO mais avec différentes techniques de modulations.

- ✓ **Largeur de Bande** une largeur de Bande extensible de 1.4 à 20 MHz dans la liaison montante et descendante.
- ✓ **Efficacité spectrale** une efficacité spectrale meilleure que HSPA (High Speed Packet Access) avec une amélioration de 3 à 4 fois dans la voie descendante et de 2 à 3 fois dans la voie montante et ceci est rendu possible grâce à l'utilisation de l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).
- ✓ **Faible latence** moins de 5ms pour les petits paquets IP (Internet Protocol).
- ✓ **Mobilité** : Optimisation des performances pour les mobiles ayant des vitesses entre 0 et 15 Km/h et gère avec de hautes performances les mobiles ayant des vitesses entre 15 et 120Km/h et il est fonctionnel pour les vitesses entre 120 et 350 Km/h, et les vitesses entre 350 et 500 Km/h sont en phase d'étude.
- ✓ **Coexistence** Coexistence avec les normes antérieures toute en évoluant vers un réseau tout-IP : la coexistence avec les systèmes existants d'UTRAN/GERAN et les systèmes non-3GPP, les terminaux multimodes doivent supporter les Handover entre UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et GERAN ainsi que entre UTRAN et inter-RAT(Radio Access network ). Le temps d'interruption pour un Handover entre E-UTRAN et UTRAN/GERAN doit être inférieur à 300ms pour les services à temps réels et moins de 500ms pour les autres services.
- ✓ **Couverture de cellule importante dans les zones urbaines et rurales** Comme la technologie LTE pourra opérer sur des bandes de fréquences diverses et notamment basses comme celle des 700 MHz, il sera possible de considérer des cellules qui pourront couvrir un large diamètre.
- ✓ **Support du multicast** notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast.

Débit de données max. en Downlink (64QAM)			
Configuration de l'antenne	SISO	2x2 MIMO	4x4 MIMO
Débit de données max.	100	172.8	326.4
Débit de données max. en Uplink (une seule antenne (SISO))			
Type de modulation	QPSK	16QAM	64QAM
Débit de données max.	50	57.6	86.4

-Tableau (1-1)-Débits en UL et DL-[réf.1]

### 3 Historique sur l'évolution de l'UMTS

LTE représente le futur de la norme UMTS puisqu'elle évolue d'une architecture qui supporte des communications à commutation de circuits et à commutation de paquets vers un système tout-IP. A cet effet, le développement de l'interface Air dans LTE s'est fait en parallèle avec le projet 3GPP/SAE (System Architecture Evolution) pour définir l'architecture globale du système et le réseau cœur EPC (Evolved Packet Core).

Le tableau (1-2) illustre la progression des normes 3GPP en commençant par la release-99 qui représente le W-CDMA jusqu'aux versions 9/10 (release-9/10) qui représentent la LTE évoluée ou IMT-Advanced (4G). Pour atteindre des débits de données plus élevés en downlink et en uplink, les opérateurs UMTS ont amélioré leurs réseaux 3G avec HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) qui a été spécifiée dans la version-5 (release 5) de 3GPP, et HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) spécifiée dans 3GPP-release 6.

Le nom formel utilisé dans le cahier des charges pour l'HSUPA est E-DCH (Enhanced Dedicated Channel). HSDPA et HSUPA sont désignés collectivement par le nom HSPA et ils continuent d'évoluer dans les versions 7 et 8 (releases 7 and 8) sous le nom de HSPA+.

La version 8 (release 8) donne des spécifications sur LTE et SAE ainsi que de nouvelles améliorations aux actuelles technologies HSPA+ et l'EDGE. En septembre 2007, les caractéristiques de la couche physique de LTE ont été publiées dans la version 8.0.0.

Et la finalisation des autres spécifications a eu lieu au premier semestre de 2008 et des spécifications de conformités de l'UE (Équipement Utilisateur) ont commencées à apparaître vers la fin de 2008.

Rel (Révision)		Introduction commerciale	principales Caractéristiques de la révision (release)
1999  2010	Rel-99	2003	W-CDMA (FDD & TDD)
	Rel-4	Expérimental	TDD (TD-SCDMA)
	Rel-5	2006	HSDPA
	Rel-6	2007	HSUPA (E-DCH)
	Rel-7	2008+	HSPA+ (64 QAM DL, MIMO, 16 QAM UL). LTE et SAE
	Rel-8	HSPA+ 2009 LTE 2010+	LTE-Interface Air OFDMA SAE-Nouveau réseau cœur IP Evolution EDGE
	Rel-9/10	2011-2014	Evolution de LTE, IMT-Advanced (4G)

-Tableau (1-2)- progression des normes de 3GPP-

## 4 Le contexte LTE

3GPP/LTE est l'un des cinq grands standards sans fils, parfois appelé « 3.9G ». Les quatre autres standards 3.9G sont :

- ✓ 3GPP HSPA+ (High Speed Packet Access).
- ✓ 3GPP EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) Evolution.
- ✓ 3GPP2 Ultra-Mobile Broadband (UMB).
- ✓ Mobile WiMAX™ (IEEE 802.16e).

Tous ces standards ont des objectifs similaires en termes d'amélioration de l'efficacité spectrale, avec des systèmes ayant la plus grande largeur de bande et fournissant le plus haut débit de données pour l'utilisateur. L'efficacité spectrale est réalisée principalement par l'utilisation des techniques de modulation d'ordre supérieur (64QAM), des techniques d'accès OFDMA en DL et SC-FDMA en UL, et les technologies d'antennes multiples qui s'étend de la technique de diversité de transmission et de réception de base à la technique de diversité spatiale MIMO la plus avancée.

Parmi les normes 3.9G, EDGE Evolution et HSPA+ sont des extensions directes des technologies existantes. Le WiMAX Mobile est basé sur la norme IEEE 802.16d. UMB et LTE sont considérés toutes les deux comme de « **nouvelles** » normes.

## 5 Cahier de charges de 3GPP/LTE

La version 7 (release 7) du cahier de charges 3GPP inclut la phase d'étude de LTE. Comme résultats de cette étude, des exigences ont été publiées dans TR 25.913 pour LTE en termes d'objectifs, de capacité, les performances du système, le déploiement, l'architecture E-UTRAN et la migration, la gestion des ressources radio, et la complexité de coût et de services.

E-UTRAN, E-UTRA, et l'EPC ont été définies dans « 36-séries » (documents techniques contenant toutes les spécifications) dans la release 8 de 3GPP :

- Les 36.100, couvrent les spécifications radio et les tests de conformité de l'eNB (evolved NodeB).
- Les séries 36.200, couvrent les spécifications de la couche 1 (couche physique).
- Les séries 36.300, couvrent les spécifications des informations de la couche 1 et 2 (signalisation dans l'interface air).
- Les séries 36.400, couvrent les spécifications de signalisation dans le réseau.
- Les séries 36.500, couvrent les spécifications sur les tests de conformité de l'UE.
- Les séries 36.600, contiennent des informations générales.

Le travail sur le cahier de charges est en cours de nombreux documents techniques sont mis à jour par trimestre. Les dernières versions des documents 36-séries peuvent être trouvées sur le site [http://www.3gpp.org/ftp/specs/archives/36 series/](http://www.3gpp.org/ftp/specs/archives/36%20series/).

## 6 L'architecture LTE/SAE

Le réseau s'appelle EPS (Evolved Packet System). Il est constitué d'un nouveau réseau d'accès et d'un nouveau réseau cœur appelé SAE (System Architecture Evolution).

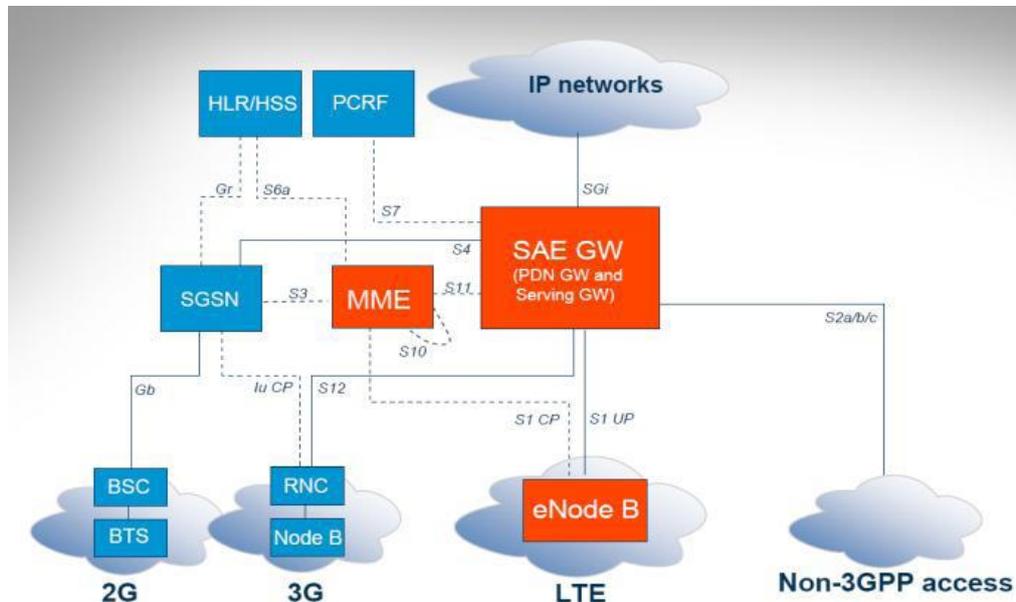


Figure (1-1)-Architecture LTE/SAE-[réf.2]

### 6-1 Caractéristiques du réseau cœur SAE

SAE (System Architecture Evolution) est le nom du projet EPC (Evolved Packet Core) est le nom du réseau cœur évolué.

- ✓ **EPC est un réseau cœur paquet tout IP.** A la différence des réseaux 2G et 3G où l'on distinguait les domaines de commutation de circuit (CS, Circuit Switched) et de commutation de paquet (PS, Packet Switched) dans le réseau cœur, le nouveau réseau ne possède qu'un domaine paquet appelé EPC. Tous les services devront être offerts sur IP y compris ceux qui étaient auparavant offerts par le domaine circuit tels que la voix, la visiophonie, le SMS, tous les services de téléphonie, etc.
- ✓ **EPC fonctionne en situation de roaming en mode « home routed » ou en mode « local breakout ».** Lorsqu'un client est dans un réseau visité, son trafic de données est :  
Soit routé à son réseau nominal qui le relaye ensuite à la destination (home routed)  
Soit directement routé au réseau de destination sans le faire acheminer à son réseau nominal (local breakout). Le mode local breakout est particulièrement intéressant pour les applications temps réel telles que la voix qui ont des contraintes de délai fortes.

- ✓ **EPC interagit avec les réseaux paquets 2G/3G et CDMA-2000 en cas de mobilité.** Il est possible de faire acheminer le trafic de l'EPC vers l'accès LTE, CDMA-2000 (paquet), 2G (paquet) et 3G (paquet) et ainsi garantir le handover entre ces technologies d'accès.
- ✓ **EPC supporte les Default bearers et Dedicated bearers.** Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau EPC, ce dernier lui crée un default bearer qui représente une connectivité permanente (maintenue tant que l'utilisateur est rattaché au réseau) mais sans débit garanti. Lorsque l'utilisateur souhaitera établir un appel qui requiert une certaine qualité de service telle que l'appel voix ou visiophonie, le réseau pourra établir pour la durée de l'appel un dedicated bearer qui supporte la qualité de service exigée par le flux de service et surtout qui dispose d'un débit garanti afin d'émuler le mode circuit.
- ✓ **EPC supporte le filtrage de paquet** (deep packet inspection par exemple pour la détection de virus) **et une taxation évoluée** (taxation basée sur les flux de service). En effet la LTE fournit des mécanismes de taxation très sophistiqués permettant de taxer le service demandé par le client sur la base du volume, de la session, de la durée, de l'événement, du contenu, etc.

## 6-2 Caractéristiques et entités du réseau EPS (Evolved Packet System)

Pour minimiser la complexité du réseau, l'architecture globale convenue pour la 3G-LTE est représentée dans le schéma suivant

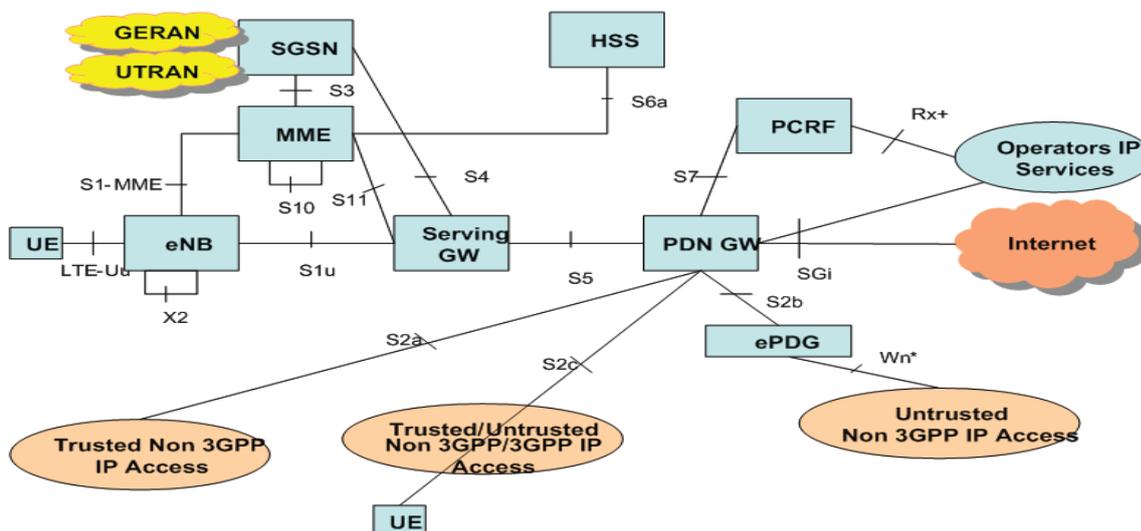


Figure (1-2)-Architecture globale du système 3GPP/LTE-[réf.2]

L'EPS (Evolved packet System) représente l'ensemble du réseau à savoir le réseau d'accès et le réseau cœur. Il a les caractéristiques suivantes :

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

### Les grandes fonctions assurées par l'EPS sont les

- ❖ **Fonctions de contrôle d'accès réseau** : Elles permettent d'authentifier l'utilisateur lorsque ce dernier s'attache au réseau, met à jour sa tracking area, et demande des ressources pour ses communications. Elles permettent aussi de réaliser la taxation de l'utilisateur en fonction de l'usage des ressources et en fonction des flux de service émis et reçus. Elles permettent enfin de sécuriser les flux de signalisation et les flux média des usagers en les encryptant entre l'UE et l'eNodeB.
- ❖ **Fonctions de gestion de la mobilité** Elles permettent à l'UE de s'attacher, de se détacher et de mettre à jour sa tracking area.
- ❖ **Fonctions de gestion de session** Elles permettent d'établir des default bearers et des dedicated bearers afin que l'UE dispose de connectivités IP pour ses communications.
- ❖ **Fonctions de routage de paquets et de transfert** Elles permettent d'acheminer les paquets de l'UE au PDN GW ainsi que du PDN GW à l'UE.
- ❖ **Fonctions de gestion de ressource radio** Elles permettent l'établissement et la libération de RAB (Radio Access Bearer) entre l'UE et le Serving GW à chaque fois que l'UE souhaite devenir actif pour communiquer.

### Le réseau EPS consiste en les entités suivantes

- ✓ eNodeB (evolved nodeb).
- ✓ Mobility Management Entity (MME)
- ✓ Serving Gateway
- ✓ Packet Data Network Gateway (PDN GW)
- ✓ Home Subscriber Server (HSS)
- ✓ Policy and Charging Rules Function (PCRF)

### 6-2-1 Entité eNodeB

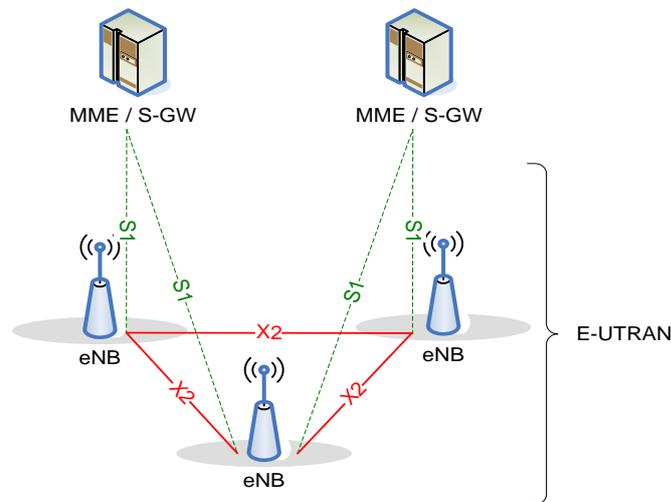


Figure (1-3)-Architecture E-UTRAN-[Réf.5]

L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentes les entités NodeB et RNC, l'architecture EUTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.

Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNodeBs adjacentes. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover). Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE. La figure précédente décrit l'architecture E-UTRAN avec ses eNodeB et les interfaces X2 (entre les eNodeB) et S1 (entre eNodeB et entités du réseau cœur MME/Serving GW).

### 6-2-2 Entité MME (Mobility Management Entity)

#### Les fonctions de l'entité MME incluent

- ✓ **Signalisation EMM et ESM avec l'UE.** Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de

localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Des messages utilisant ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME.

- ✓ **Authentification** Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.
- ✓ **Joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (incluant paging)** C'est l'entité MME qui est responsable du paging lorsque l'UE est dans l'état IDLE et que des paquets à destination de l'UE sont reçus et mis en mémoire par le Serving GW.
- ✓ **Gestion de la liste de Tracking Area** L'UE est informé des zones de localisation prises en charge par le MME, appelées Tracking Area. L'UE met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une Tracking Area qui n'est pas prise en charge par son MME.
- ✓ **Sélection du Serving GW et du PDN GW** C'est au MME de sélectionner le Serving GW et le PDN GW qui serviront à mettre en œuvre le Default Bearer au moment du rattachement de l'UE au réseau.
- ✓ **Sélection de MME lors du handover avec changement de MME** Lorsque l'utilisateur est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge par un MME à une autre zone qui est sous le contrôle d'un autre MME, alors il est nécessaire que le handover implique l'ancien et le nouveau MME.
- ✓ **Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G** Si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.
- ✓ **Roaming avec interaction avec le HSS nominal**  
Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau, le MME s'interface au HSS nominal afin de mettre à jour la localisation du mobile et obtenir le profil de l'utilisateur.
- ✓ **Fonctions de gestion du bearer incluant l'établissement de dedicated bearer.**  
C'est au MME d'établir pour le compte de l'utilisateur les default bearer et dedicated bearer nécessaires pour la prise en charge de ses communications.
- ✓ **Interception légale du trafic de signalisation.** L'entité MME reçoit toute la signalisation émise par l'UE et peut l'archiver à des fins de traçabilité.

### 6-2-3 Entité Serving GW (Serving Gateway)

Les fonctions de l'entité Serving GW incluent

- ✓ **Point d'ancrage pour le handover inter-eNodeB.** Lors d'un handover inter-eNodeB, le trafic de l'utilisateur qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le Serving GW doit désormais être relayé du nouvel eNodeB au Serving GW.
- ✓ **Point d'ancrage pour le handover LTE et les réseaux 2G/3G.** Il relaie les paquets entre les systèmes 2G/3G et le PDN-GW. Lors d'une mobilité entre LTE et Les réseaux 2G/3G paquet, le SGSN du réseau 2G/3G s'interface avec le Serving GW pour la continuité du service de données.
- ✓ **Mise en mémoire des paquets entrants lorsque l'UE destinataire est dans l'état ECM-IDLE** et initialisation de la procédure de demande de service initiée par le réseau.
- ✓ **Interception légale** Le Serving GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- ✓ **Routage des paquets et relai des paquets.** Le Serving GW route les paquets sortant au PDN GW approprié et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.
- ✓ **Comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs.** Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements.
- ✓ **Marquage des paquets dans les sens montant et descendant**, e.g. positionnant le DiffServ Code Point sur la base du QCI (QoS Class Identifier) du bearer EPS associé. Cela permet d'associer des priorités aux flux de données au sens DiffServ.

### 6-2-4 Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway)

Les fonctions de l'entité PDN GW incluent :

- ✓ **Interface vers les réseaux externes** (Internet et intranet). Le PDN GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6.
- ✓ **Allocation de l'adresse IP de l'UE.** Le PDN GW assigne à l'UE son adresse IP dès l'attachement de l'UE lorsque le réseau établit un default bearer permanent à l'UE. Le PDN GW peut allouer une adresse IPv4 ou IPv6.

- ✓ **Interception légale.** Le PDN GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- ✓ **Marquage des paquets dans les sens montant et descendant**, e.g., positionnant le DiffServ Code Point sur la base du QCI (QoS Class Identifier) du bearer EPS associé. Cela permet d'associer des priorités aux flux de données au sens DiffServ.
- ✓ **Taxation des flux de service montants et descendants** (ex. sur la base des règles de taxation fournies par le PCRF) ou sur la base de l'inspection de paquets définie par des politiques locales).

### 6-2-5 Entité HSS (Home Subscriber Server)

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

A la différence de la 2G et de la 3G où l'interface vers le HLR est supportée par le protocole MAP (protocole du monde SS7), l'interface S6 s'appuie sur le protocole DIAMETER (protocole du monde IP).

Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS appartenant au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE, IMS).

### 6-2-6 Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function)

#### L'entité PCRF réalise deux fonctions

- ✓ Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un default bearer ou un dedicated bearer est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'utilisateur fait transiter sur son default bearer des flux WAP et des flux de streaming, il sera possible au PDN-GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP sur la base du volume alors que le flux de streaming sera taxé sur la base de la durée.
- ✓ Elle permet de demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des dedicated bearers sur la base de QoS souhaitée par l'utilisateur. Par exemple, Si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS, un message SIP sera envoyé au P-CSCF qui dialoguera avec le PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session. Le PCRF dialogue alors avec le PDN-GW pour créer le dedicated bearer correspondant.

## 7 Conclusion

Ce chapitre a introduit de façon générale les concepts de 3GPP/LTE. L'évolution de 3GPP pour le système 3G mobile a défini le réseau à long terme de l'évolution d'UTRAN (LTE) et de l'évolution d'architecture de système (SAE). Ces normes définissent un réseau tout-IP comme base pour le LTE/SAE.

## Chapitre 2

# LES ASPECTS RADIO DE L'INTERFACE AIR DANS LTE

## 1 Introduction

La LTE Décrire l'utilisation de l'OFDM et des techniques à multiples antennes dans les technologies 4G et de comparer les opérations OFDM avec celles du CDMA. Expliquer l'architecture réseau du 3G-LTE pour supporter l'Internet mobile. Identifier les aspects des réseaux 3G-LTE suivants : architecture, fonctionnalités, capacité, réseau d'accès radio (Radio Access Network). Décrire finement l'interface air LTE FDD et TDD et ses performances, le support pour le haut débit.

## 2 Les modes d'accès radio

L'interface air dans LTE supporte les deux modes FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex), chacun avec son propre structure de trame. D'autres modes d'accès pourraient être définis, et FDD half-duplex a été choisi. Le FDD half-duplex permet le partage de ressources matérielles entre le downlink et l'uplink puisque l'uplink et le downlink ne sont jamais utilisés simultanément. Cette technique est utilisée dans certaines bandes de fréquences et permet également de réduire de moitié le coût des débits potentiels.

L'interface air dans LTE supporte aussi le service MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service), une technologie relativement nouvelle pour le contenu de radiodiffusion telle que la TV numérique en utilisant les connections point-to-multi-point. Les spécifications 3GPP pour le MBMS sont apparues la première fois pour l'UMTS dans la release 6. LTE spécifiera un service eMBMS (evolved MBMS) plus avancé qui fonctionnerait en utilisant le MBSFN (Multicast/Broadcast over Single-Frequency Network). Le MBSFN permet à travers l'air de combiner les transmissions de plusieurs cellules au niveau de l'équipement utilisateur, en utilisant le préfixe cyclique (PC) qui élimine la différence entre les retards de propagation.

Pour l'UE, les transmissions apparaissent comme s'elles viennent d'une seule grande cellule.

Cette technique rend le LTE très efficace pour la transmission MBMS. Le service eMBMS est défini dans la version 9 (release 9) des spécifications 3GPP.

### 3 Les largeurs de bandes de transmission

LTE doit respecter le marché sans-fil international, la disponibilité et les réglementations régionales du spectre. A cet effet, les spécifications incluent des largeurs de bandes de canal variables choisies entre 1.4 à 20MHz, avec un espacement de 15kHz entre les sous-porteuses.

Si le nouveau eMBMS (Evolved multimedia broadcast multicast service) est utilisé, un espacement de 7.5kHz entre les sous-porteuses est aussi possible. L'espacement entre les sous-porteuses est constant indépendamment de la largeur de bande du canal. 3GPP a défini l'interface air de LTE comme étant à « largeur de bande agnostique » qui permet à l'interface air de s'adapter à des largeurs de bandes de canal différentes avec un impact minimal sur le fonctionnement du système.

Les données en downlink ou uplink sont organisées en un ensemble de blocs élémentaires appelés RB (Bloc de Ressources). Un RB a une largeur de 180kHz qui dure pendant un time-slot de 0.5ms. Dans la norme LTE, un RB contient 12 sous-porteuses espacées de 15kHz et pour l'eMBMS le RB contient 24 sous-porteuses espacées de 7.5kHz pendant 0.5ms.

Le nombre maximum de RB que peut supporter chaque largeur de bande de transmission est donné dans le tableau ci-dessous

Largeur de bande du canal (MHz)	1.4	3.0	5	10	15	20
Configuration de la largeur de bande de transmission (RB).	6	15	25	50	75	100

Tableau (2-1)-Configuration de la largeur de bande de Transmission-[Réf.6]

### 4 Les bandes de fréquences utilisées

LTE a hérité toute les bandes de fréquences définies pour l'UMTS, qui est une liste qui continue de s'élargir. Actuellement, il y en a 13 bandes FDD et 8 bandes TDD. Il existe un chevauchement significatif entre certaines bandes, mais ceci ne simplifie pas nécessairement les conceptions puisqu'il peut y avoir des exigences de performances pour une bande

spécifique basées sur les besoins régionaux. Il n'y a aucun consensus qui fixe la bande sur laquelle sera déployer LTE au début puisque la réponse est fortement dépendante des variables locales. Ce manque de consensus est une complication significative pour les fabricants d'équipements ce qui diffère avec le lancement du GSM et du W-CDMA qui ont été spécifiés pour une seule bande. Ce qui est maintenant fermement établi est qu'on ne peut plus dire qu'une bande particulière est réservée pour une technologie d'accès donnée.

**Le tableau suivant montre les différentes bandes de fréquences utilisées dans LTE**

E-UTRA band	Uplink (UL)	Downlink (DL)	UL-DL band separation	Duplex mode
	UE transmit eNB receive	eNB transmit UE receive		
	$F_{UL\_low} - F_{UL\_high}$	$F_{DL\_low} - F_{DL\_high}$	$F_{DL\_low} - F_{UL\_high}$	
1	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz	130 MHz	FDD
2	1850 – 1910 MHz	1930 – 1990 MHz	20 MHz	FDD
3	1710 – 1785 MHz	1805 – 1880 MHz	20 MHz	FDD
4	1710 – 1755 MHz	2110 – 2155 MHz	355 MHz	FDD
5	824 – 849 MHz	869 – 894 MHz	20 MHz	FDD
6	830 – 840 MHz	875 – 885 MHz	35 MHz	FDD
7	2500 – 2570 MHz	2620 – 2690 MHz	50 MHz	FDD
8	880 – 915 MHz	925 – 960 MHz	10 MHz	FDD
9	1749.9 – 1784.9 MHz	1844.9 – 1879.9 MHz	60 MHz	FDD
10	1710 – 1770 MHz	2110 – 2170 MHz	340 MHz	FDD
11	1427.9 – 1452.9 MHz	1475.9 – 1500.9 MHz	23 MHz	FDD
...				
13	777 - 787 MHz	746 - 756 MHz	21 MHz	FDD
14	788 - 798 MHz	758 - 768 MHz	20 MHz	FDD
...				
33	1900 – 1920 MHz	1900 – 1920 MHz	N/A	TDD
34	2010 – 2025 MHz	2010 – 2025 MHz	N/A	TDD
35	1850 – 1910 MHz	1850 – 1910 MHz	N/A	TDD
36	1930 – 1990 MHz	1930 – 1990 MHz	N/A	TDD

37	1910 – 1930 MHz	1910 – 1930 MHz	N/A	TDD
38	2570 – 2620 MHz	2570 – 2620 MHz	N/A	TDD
39	1880 – 1920 MHz	1880 – 1920 MHz	N/A	TDD
40	2300 – 2400 MHz	2300 – 2400 MHz	N/A	TDD

Tableau (2-2)- les différentes bandes de fréquences utilisées dans LTE- [Réf.6]

## 5 Technique d'accès multiple en downlink

Les transmissions en downlink et uplink dans LTE sont basées sur l'utilisation des technologies d'accès multiples: particulièrement, l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour la liaison descendante, et SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) pour la liaison montante.

### 5-1 OFDM/OFDMA

#### 5-1-1 Description de l'OFDM

L'OFDM divise une bande de fréquence en plusieurs sous-canaux espacés par des zones libres de tailles fixes. Par la suite, un algorithme, la Transformée de Fourier Rapide Inverse (Inverse Fast Fourier Transform, IFFT), véhicule le signal par le biais des différents sous-canaux. C'est également cet algorithme qui s'occupe de la recombinaison du message chez le récepteur. Le but est alors d'exploiter au maximum la plage de fréquences allouées tout en minimisant l'impact du bruit grâce aux espaces libres séparant chaque canal. Cette modulation apparaît alors comme une solution pour les canaux qui présentent des échos importants (canaux multi trajets). Un canal multi trajet présente, en effet, une réponse fréquentielle qui n'est pas plate (cas idéal) mais comportant des creux et des bosses, dus aux échos et réflexions entre l'émetteur et le récepteur. Un grand débit impose une grande bande passante et si cette bande passante couvre une partie du spectre comportant des creux (dus aux trajets multiples), il y a perte totale de l'information pour la fréquence correspondante. Le canal est alors dit « sélectif » en fréquence. Pour remédier à ce désagrément, l'idée est de répartir l'information sur un grand nombre de porteuses, créant ainsi des sous-canaux très étroits pour lesquels la réponse fréquentielle du canal peut être considérée comme constante. Ainsi, pour ces sous canaux, le canal est non sélectif en fréquence, et s'il y a un creux, il n'affectera que certaines fréquences. L'idée est d'utiliser la diversité apportée pour lutter contre la sélectivité

fréquentielle et temporelle du canal. En diffusant l'information sur un nombre important de porteuses, on s'affranchit alors de la sélectivité du canal.

Un des grands avantages des schémas de la modulation OFDM est d'avoir partagé la complexité de l'égalisation entre l'émetteur et le récepteur, contrairement aux schémas de transmissions mono-porteuses. Ceci permet d'avoir des récepteurs simples et peu coûteux.

➤ **Les avantages des différentes variantes de l'OFDM sont nombreux**

- Une utilisation efficace des ressources fréquentielles en comparaison avec les solutions classiques de multiplexage fréquentiel. Ceci est dû au fait que dans l'OFDM, les canaux se chevauchent tout en gardant une orthogonalité parfaite.
- Les techniques multi-porteuses sont robustes au bruit impulsif puisque chaque porteuse est affectée d'un bruit indépendant des autres porteuses. Contrairement aux modulations mono porteuses où le bruit peut affecter un certain nombre de symboles transmis, la perte d'un symbole dû à un bruit important n'affecte pas les autres symboles.
- Les techniques OFDM ont une très grande flexibilité dans l'allocation de bit/débit dans des contextes multiutilisateurs. En effet, en fonction de la valeur du gain instantané du canal, chaque sous-porteuse peut-être codée indépendamment des autres porteuses.

Le diagramme dans la figure ci-dessous prise du TS 36.892<sup>9</sup> illustre les caractéristiques essentielles d'un signal OFDM en fonction de la fréquence et du temps. Dans le domaine fréquentiel, de multiples sous-porteuses adjacentes sont indépendamment modulées par les données, puis dans le domaine temporel, les intervalles de garde sont ajoutés entre les symboles pour éviter les interférences entre les symboles au récepteur causés par les retards dus aux multi-trajets.

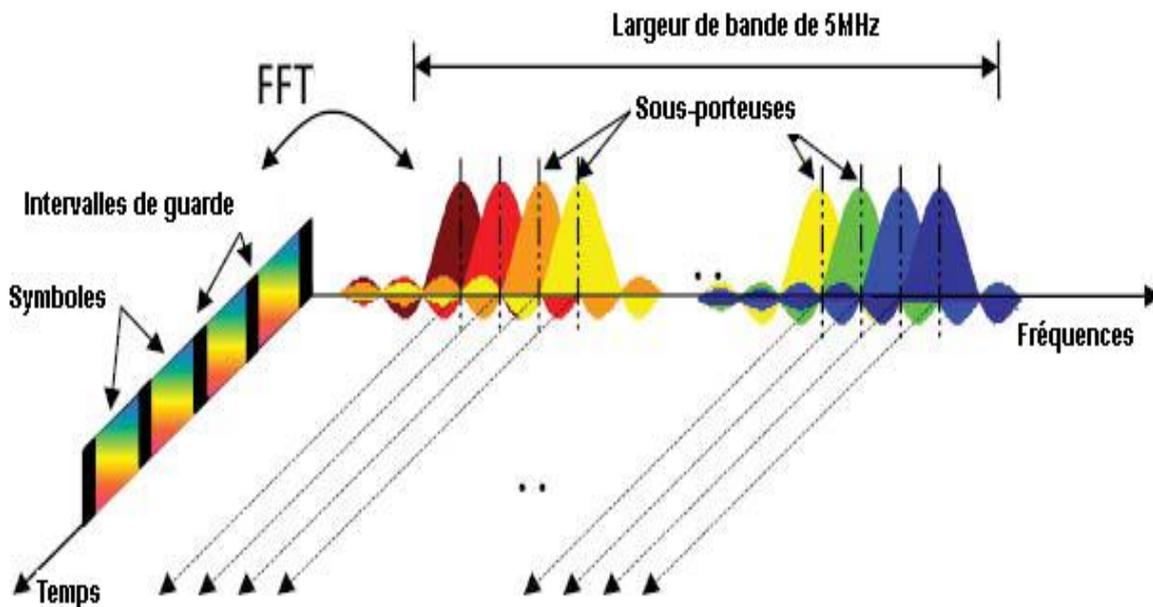


Figure (2-1)-Le signal OFDM représenté dans le temps et la fréquence-[Réf.9]

Bien qu'OFDM ait été utilisées pendant plusieurs années dans les systèmes de communication, son utilisation dans les systèmes mobiles est plus récente. Au début, l'Institut Européen de Normalisation des Télécommunications (ETSI) a pensé à utiliser l'OFDM pour le GSM à la fin des années 1980, cependant, la capacité de traitement exigée par l'OFDM pour effectuer les nombreuses opérations FFT était à cette époque très coûteuse et exigeante.

En 1998, 3GPP a sérieusement pensé à utiliser l'OFDM pour l'UMTS, mais encore une fois, il a opté pour le CDMA. De nos jours, le coût du traitement numérique des données a été considérablement réduit et l'OFDM est maintenant considérée comme une méthode de transmission sans-fil commercialement viable.

### 5-1-2 Comparaison entre l'OFDM et le CDMA

Comparé à la technologie CDMA utilisée dans l'UMTS, l'OFDM offre de nombreux avantages distincts :

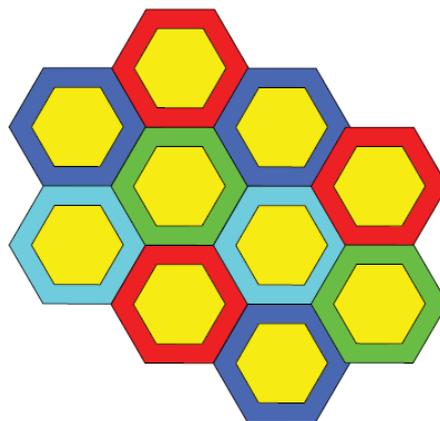
- Les égalisateurs de canal OFDM sont beaucoup plus facile à implémenter que ceux de CDMA.
- OFDM peut être rendu complètement résistante aux retards dus aux trajets-multiples. Ceci est possible car les longs symboles utilisés pour l'OFDM peuvent être séparés par un intervalle de garde connu sous le nom de préfixe cyclique (CP). Le CP est une

copie de la fin d'un symbole insérée au début. En prélevant le signal reçu au temps optimum, le récepteur peut enlever l'interférence du domaine temporel entre les symboles adjacents causée par le retard dû aux trajets-multiples.

- OFDM est mieux adapté à la technologie MIMO. La représentation du signal dans le domaine fréquentiel permet un pré-codage facile pour faire correspondre le signal aux caractéristiques de phase et de fréquence du canal radio à trajets-multiples.

Cependant, l'OFDM a quelques inconvénients. Les sous-porteuses sont tellement proches qu'il peut y avoir des erreurs de fréquences et des bruits de phase. Pour la même raison, OFDM est également sensible à l'effet Doppler, qui cause des interférences entre les sous-porteuses. L'OFDM pure crée aussi des signaux, crête-à-moyen élevés, et c'est pour cela que 3GPP a opté pour la technique SC-FDMA en uplink.

Il est connu que l'OFDM sera plus difficile à fonctionner aux bords des cellules que CDMA. Le CDMA utilise des codes de brouillages pour éviter les interférences aux bords des cellules, tandis qu'OFDM n'a pas une telle caractéristique. Par conséquent, une certaine forme de planification de fréquences aux bords des cellules est nécessaire. Le schéma suivant donne un exemple de la façon dont ceci pourrait être fait, la couleur jaune représente la bande entière du canal et les autres couleurs montrent un plan pour la réutilisation des fréquences pour éviter les interférences aux bords des cellules.



**Figure (2-2)-Exemple d'une planification de fréquence pour éviter les interférences aux bords des cellules-**

Les différences principales entre l'OFDM et le CDMA sont récapitulées dans le tableau suivant

Attributs	CDMA	OFDM
Largeur de bande	Système à largeur de bande entière	Système à largeur de bande variable.
Période du symbole	Très courte- inversement à la largeur de bande du système.	Très longue- défini par l'espacement entre les sous-porteuses et indépendante de la largeur de bande du système
Séparation des utilisateurs	Codes orthogonaux	Temps et fréquence

**Tableau (2-3)-Comparaison entre l'OFDM et CDMA-**

Avec la norme OFDM, les transmissions étroites d'un UE spécifique peuvent subir des effacements et des interférences à bandes étroites. C'est pourquoi, en downlink, 3GPP a choisi l'OFDMA qui contient les éléments du TDMA.

### 5-1-3 L'OFDMA

Contrairement à la technique OFDM où chaque sous-porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, l'OFDMA peut assigner une sous-porteuse à plusieurs utilisateurs à des intervalles de temps différents.

On imagine aisément que la performance d'un canal secondaire alloué à un utilisateur sera différente de celle d'un autre utilisateur, puisque les qualités de canal y sont différentes, en fonction des conditions de propagation individuelles. Ceci veut dire qu'un canal qui a de mauvaises performances avec un utilisateur peut se révéler favorable à un autre. La technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) exploite cette caractéristique, du fait qu'elle permet d'allouer des canaux secondaires différents selon les utilisateurs dans une fenêtre temporelle à configuration variable pour la transmission d'un certain nombre de symboles OFDM.

Dans la voie descendante, chaque salve est encodée (par exemple avec un code à convolution, LDPC ou turbo CTC) et modulée (QSPK, 16QAM, 64QAM) individuellement par le support physique de la station de base. Ceci pourrait par exemple signifier, que la salve DL n°1 est modulée en 16QAM avec codage à convolution, alors que la salve n°5 est modulée en 64QAM avec codage turbo CTC, de sorte que le volume de bits transférés par

symbole OFDMA sur le canal logique secondaire varie fortement entre ces deux salves. La localisation de la salve dans la trame OFDMA ainsi que le type de codage utilisé par le terminal (utilisateur) est indiquée dans la DL-MAP, qui sert de « table des matières » à la trame elle-même et est transmise en premier.

OFDMA permet à des sous-ensembles des sous-porteuses d'être alloués dynamiquement parmi les différents utilisateurs sur le canal comme le montre la figure ci-dessous, le résultat est un système plus robuste avec une capacité accrue.

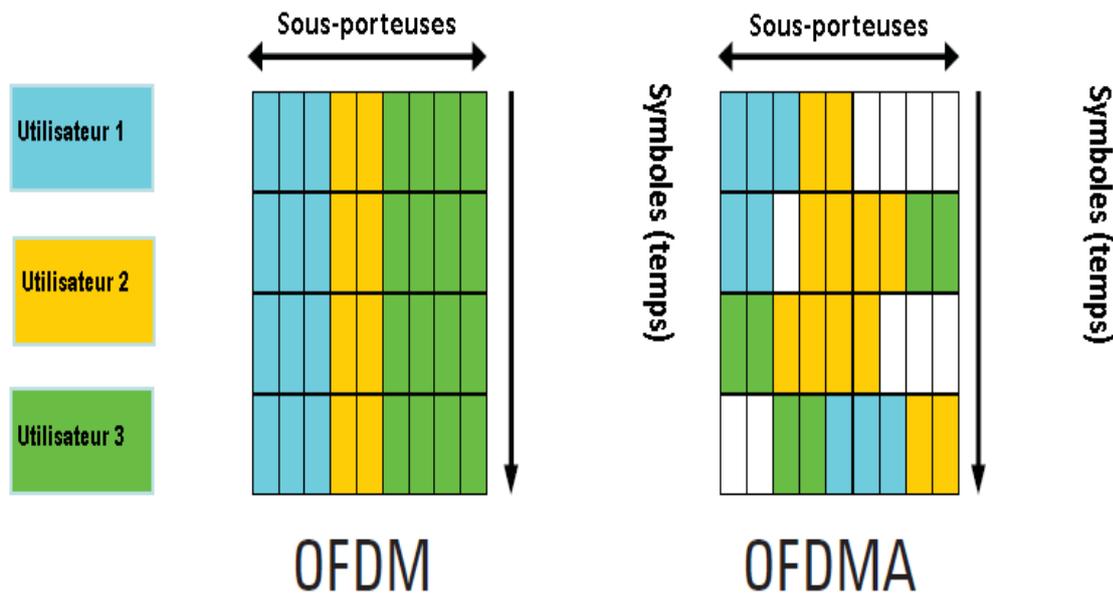


Figure (2-3)-Allocation des sous-porteuses dans l'OFDM et l'OFDMA-

## 5-2 Paramétrisation de l'OFDMA

Deux types de trames ont été définies pour l'E-UTRAN : une structure de trame type 1 définie pour le mode FDD, et trame de type 2 définie pour le mode TDD.

Pour la structure de trame de type 1, la trame radio de 10ms est divisée en 20 IT ( $T_{slot}$ ) de 0.5 ms chacun. Une sous-trame est constituée de deux slots consécutifs, alors, une trame radio contient 10 sous-trames, ceci est illustré dans la figure ci-dessous ( $T_s$  exprime l'unité de temps de base qui correspond à 30.72MHz).

Une frame radio,  $T_{frame} = 307200 \times T_s = 10 \text{ ms}$

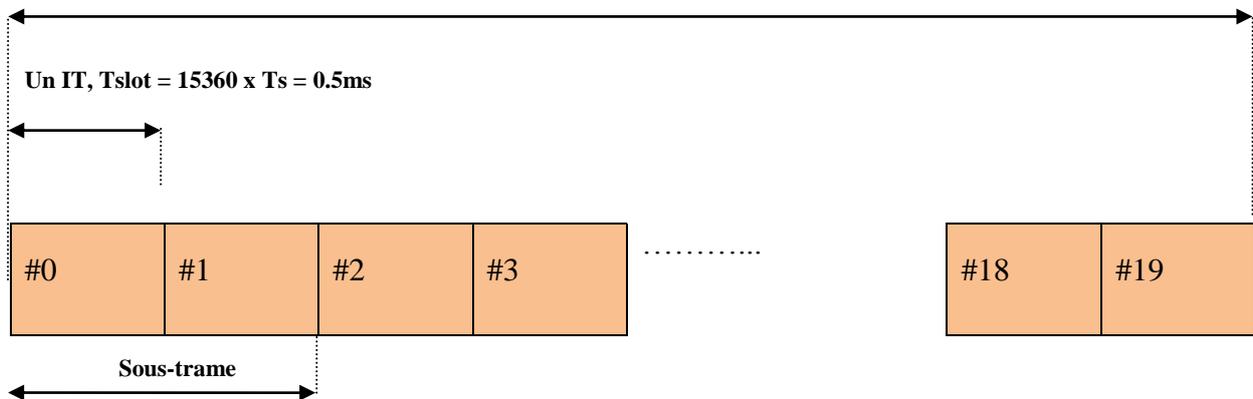


Figure (2-4)-Structure de la trame type 1-[Réf.10]

Pour la structure de trame de type 2, la trame radio de 10ms contient deux demi trames de 5ms chacune. Chaque demi-trame est divisée en 5 sous-trames de 1ms comme la montre la figure ci-dessous. Toutes les sous-trames qui ne sont pas spéciales sont définies comme ayant des slots d'une longueur de 0.5ms dans chaque sous-trame. Les sous-trames spéciales comprennent 3 champs DwPTS (Downlink Pilot Timeslot), GP (Guard Periode : Période de Garde) et UpPTS (Uplink Pilot Timeslot). Ces champs sont déjà connus dans TD-SCDMA et ils sont maintenus dans LTE TDD. Chacun des champs DwPTS, GP et UpPTS a sa propre longueur configurable et une longueur totale de 1ms.

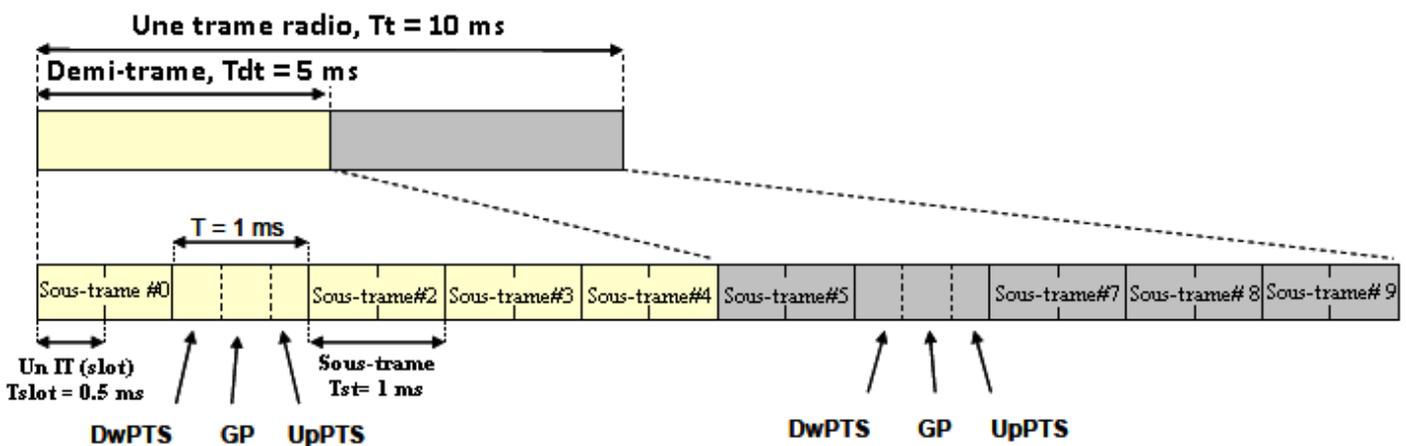


Figure (2-5)-Structure de la trame type 2-[Réf.10]

Sept (07) configurations Uplink-Downlink sont supportées, avec une périodicité du point de commutation (switched-point periodicity) downlink à uplink de 5ms ou 10ms. Dans le cas d'une périodicité du point de commutation de 5ms, la sous-trame spéciale existe dans les deux demi-frames. Dans le cas d'une périodicité du point de commutation de 10ms, la sous-trame spéciale existe seulement dans la première demi-trame. Les sous-frames 0 à 5 et DwPTS sont toujours réservées pour la transmission downlink. UpPTS et la sous-trame qui vient juste après la sous-trame spéciale sont toujours réservées pour la transmission uplink. Le tableau ci-dessous montre une configuration uplink-downlink où :

« D » : Sous-trame réservée pour la transmission downlink ; « U » : Sous-trame réservée pour la transmission uplink ; « S » : Sous-trame spéciale.

Configuration uplink-downlink	périodicité du point-de commutation Downlink-à-uplink	Numéro de la sous-trame									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Tableau (2-4)-Configuration Uplink-Downlink pour LTE TDD-[Réf.10]

La figure ci-dessous montre la structure de la grille de ressources en Downlink pour FDD et TDD.

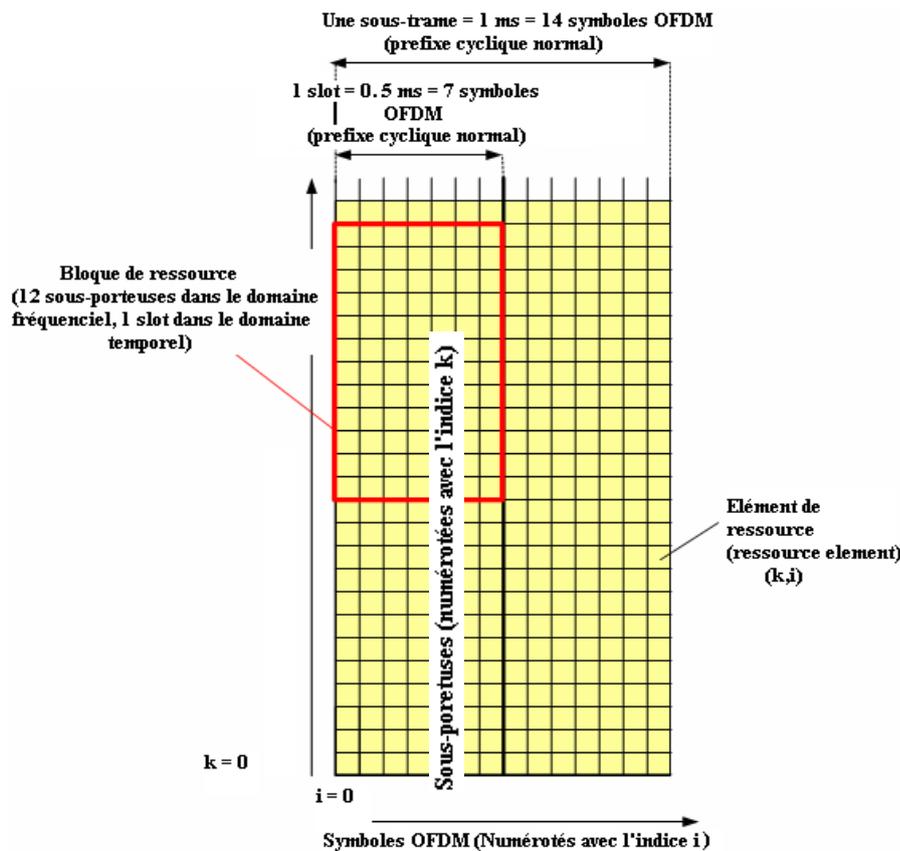


Figure (2-6)-Grille de ressources en Downlink-[Réf.10]

Les sous-porteuses en LTE sont séparées par des espaces constants de 15kHz dans le domaine fréquentiel, 12 sous-porteuses pour un bloc de ressource (RB), la taille d'un RB est la même pour toutes les largeurs de bandes. Le tableau ci-dessous montre le nombre de RB pour les différentes largeurs de bandes utilisées dans LTE.

Largeur de bande du canal (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Nombre de Blocs de ressource	6	15	25	50	75	100

Tableau (2-5)-Nombre de blocs de ressources pour différentes largeurs de bandes-[Réf.6]

A chaque symbole OFDM, un préfixe cyclique est ajouté comme temps de garde. En downlink, un time-slot contient 6 ou 7 symboles OFDM, selon la configuration du préfixe

cyclique, soit en normal ou en étendu respectivement. Le préfixe cyclique étendu est capable de couvrir de grandes cellules avec un retard plus important du canal radio.

Configuration	La taille du bloc de ressource	Nombre de symboles	La longueur de préfixe cyclique en $\mu$ s.
Préfixe cyclique normal ( $\Delta f=15$ kHz)	12	7	5.2 pour le premier symbole et 4.7 pour les autres symboles
Préfixe cyclique étendu ( $\Delta f=15$ kHz)	12	6	16.7

Tableau (2-6)-Paramétrisation de la structure de trame en Downlink-[Réf.10]

## 6 Technique d'accès multiple en uplink : SC-FDMA

### 6-1 SC-FDMA

Le taux élevé PAR (Peak-to-Average) lié à l'OFDM a mené 3GPP à chercher une autre méthode de transmission pour la liaison montante dans LTE. SC-FDMA a été choisie parce qu'elle combine les techniques de low-PAR des systèmes de transmission à une seule porteuse, tels que GSM et CDMA, avec les caractéristiques de l'OFDMA qui sont : la résistance au problème de multi-trajets et la flexibilité dans l'allocation des fréquences. Une description mathématique d'un symbole SC-FDMA dans le domaine temporel est donnée dans le document TS 36.211<sup>10</sup>, voici une brève description : les symboles de données dans le domaine temporel sont convertis au domaine fréquentiel, en utilisant la transformée de Fourier discrète (DFT), puis dans le domaine fréquentiel, ils sont mappés à l'emplacement désiré dans la largeur de bande globale du canal avant d'être convertis de nouveau au domaine temporel, en utilisant la transformée de Fourier rapide inverse (IFFT). Finalement, le CP (préfixe cyclique) est inséré. Puisque SC-FDMA utilise cette technique, parfois on l'appelle Discrete Fourier Transform Spread OFDM ou DFT-SOFDM.

Le SC-FDMA utilise l'accès FDMA entrelacé (IFDMA) ou FDMA localisé (LFDMA), un émetteur génère des symboles de modulation pour des types de données différents

(par exemple, des données de trafic, la signalisation, et les pilotes). Deux modes de transmission sont alors possibles : le mode localisé et le mode distribué.

--Le mode localisé : Aucun zéro n'est inséré entre les échantillons de sortie de la DFT, ceux-ci étant donc transposés sur des sous-porteuses consécutives.

--Le mode distribué : Un certain nombre de zéros est inséré entre chaque échantillon de sortie de la DFT, offrant une plus grande diversité fréquentielle.

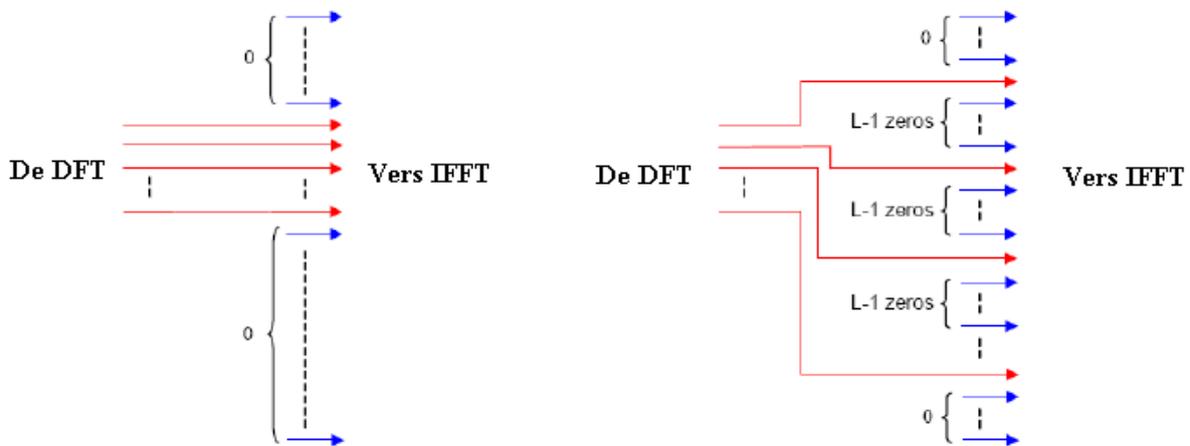


Figure (2-7)-Mode de mappage des sous-porteuses-

L'envoi de données en OFDM s'effectuant parallèlement sur plusieurs sous-porteuses, le PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) résultant est élevé.

Au contraire, le SC-FDMA consiste en l'envoi de données en série sur une même porteuse, permettant de ce fait d'obtenir un PAPR moindre.

## 6-2 Paramétrisation

La structure de trame dans LTE en uplink est similaire à celle en downlink. Dans la structure de trame type 1, une trame radio en uplink est constituée de 20 slots de 0.5ms chacun, et une sous-trame est composée de deux slots, la structure de slot est montée dans la figure ci-dessous. La structure de trame type 2 est composée aussi de dix sous-trames. Parmi ces dix sous-trames, il ya une ou deux sous-trames spéciales. Elles contiennent les champs : DwPTS, GP, et UpPTS.

Chaque slot véhicule 7 symboles SC-FDMA, dans le cas d'une configuration d'un préfixe cyclique normale, et 6 symboles SC-FDMA dans le cas d'une configuration d'un préfixe étendu. Le symbole numéro 3 de SC-FDMA (le 4<sup>ème</sup> symbole dans un slot) véhicule le signal de référence pour la démodulation du canal.

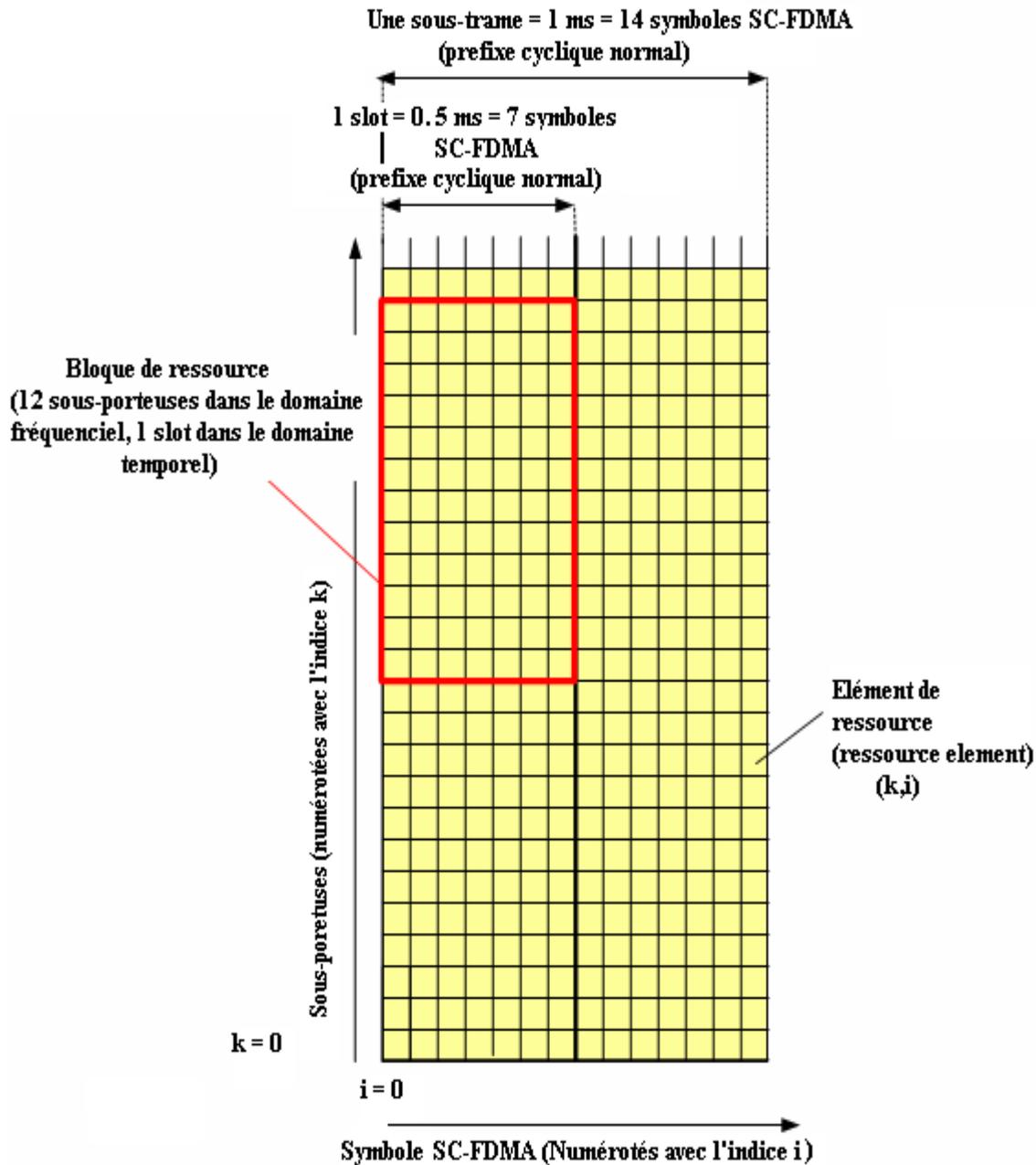


Figure (2-8)-Grille de ressource en uplink-[Réf.10]

Le tableau suivant nous donne un aperçu des paramètres de configuration

Configuration	Le nombre de symboles.	La longueur de préfixe cyclique en $\mu\text{s}$ .
Préfixe cyclique normal ( $\Delta f=15$ kHz)	7	5.2 pour le premier symbole et 4.7 pour les autres symboles
Préfixe cyclique étendu ( $\Delta f=15$ kHz)	6	16.7

Tableau (2-7) -Paramétrisation de la structure de trame en uplink (TDD et FDD)-[Réf.10]

## 7 Présentation des techniques d'antennes multiples : la diversité, MIMO et Beamforming

Les techniques d'antennes multiples est un composant clé dans LTE, elles sont de trois types principaux : la diversité, MIMO et Beamforming. Ces techniques sont employées pour améliorer la robustesse du signal et augmenter la capacité de système et les débits de données utilisateurs. Chaque technique a ses propres performances et coût.

### 7-1MIMO

Les systèmes Multiple Input et Multiple Output représente une part importante dans LTE parce qu'elles permettent d'atteindre les exigences ambitieuses en terme de débit de données et d'efficacité spectrale. MIMO se rapporte à l'utilisation d'antennes multiple des deux côtés émetteur et récepteur. Pour la liaison descendante, une configuration MIMO 2x2 est considérée comme une configuration de base c. à-d deux antennes d'émission du coté station de base et deux antennes de réception du coté utilisateur. Des configurations 4x4 sont aussi prévues. Différents gains peuvent être atteints suivant le mode MIMO utilisé.

#### 7-1-1 Les modes d'accès au canal radio

La figure ci-dessous montre les différents modes d'accès au canal radio :

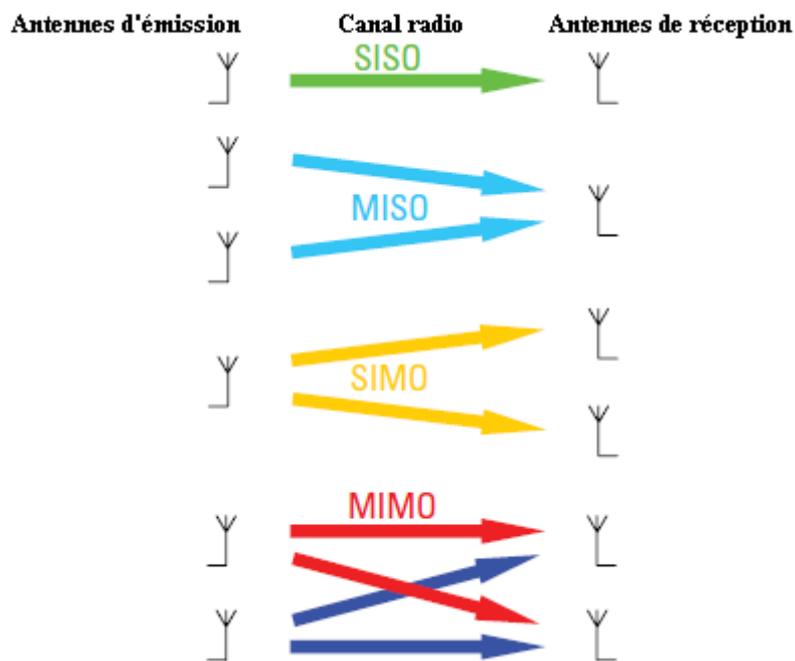


Figure (2-9)-Les modes d'accès au canal radio-

### 1 Single Input Single Output

**SISO** c'est le mode d'accès au canal radio le plus basique dans lequel une seule antenne d'émission et une seule antenne de réception sont utilisées. SISO est le mode de base auquel sont comparées les techniques d'antennes multiples.

### 2 Multiple Input Single Output

**MISO** est légèrement plus complexe que SISO. Dans ce mode on utilise deux ou plusieurs émetteurs et un seul récepteur. (La figure ci-dessus a montrée seulement deux émetteurs et un seul récepteur comme exemple). MISO est équivalent à la technique de diversité de transmission. Les mêmes données sont envoyées par les deux antennes d'émission mais codées de telle sorte que le récepteur puisse identifier chaque émetteur. La diversité de transmission augmente la robustesse du signal contre l'évanouissement et peut améliorer les performances dans les conditions low signal-to-noise radio (SNR). Cependant, elle n'augmente pas les débits de données mais elle utilise moins de puissance.

### 3 Single Input Multiple Output

**SIMO** est équivalent à la technique de diversité de réception. Etant similaire à la diversité d'émission, elle convient particulièrement pour les conditions low SNR où un gain théorique de 3 dB est possible quand deux récepteurs sont utilisés. Comme avec la diversité de transmission, il n'y a pas de changement dans le débit de données du moment où un seul flux de données est transmis, mais la couverture aux bords de la cellule est améliorée dû à la diminution du SNR utilisable.

### 4 Multiple Input Multiple Output

Le dernier mode est **MIMO**, qui exige deux émetteurs ou plus et deux récepteurs ou plus. Ce mode n'est pas seulement la superposition de MISO et SIMO puisque des flux multiples de données sont maintenant transmis simultanément avec la même fréquence au même temps profitant tellement des différents chemins dans le canal radio. Pour qu'un système soit décrit comme MIMO, il doit y avoir autant de récepteurs qu'il y ait de flux de données transmis. Le nombre de flux transmis ne devrait pas être confondu avec le nombre d'antennes.

Soit le cas de diversité de transmission MISO dans lequel il ya deux émetteurs mais seulement un seul flux de données. Ajouter la diversité de réception SIMO ne transforme pas ceci en MIMO, même si on a deux antennes émettrices et deux antennes réceptrices impliquées.  $SIMO+MISO \neq MIMO$ . Il est toujours possible d'avoir plus d'émetteurs que de flux de données mais pas l'inverse. Si N flux de données sont transmis à partir d'un nombre d'antennes inférieur à N, les données ne peuvent pas être entièrement décodées. Cependant, en séparant spatialement les N flux de données à travers au moins N antennes, N récepteurs pourront reconstruire entièrement les flux de données initiaux. Un autre élément essentiel pour le fonctionnement de MIMO est que les transmissions par chaque antenne doivent être identifiables d'une manière unique de sorte que chaque récepteur puisse déterminer quelle combinaison de transmission a été reçue. Cette identification est habituellement faite par des signaux pilotes, qui utilise des configurations orthogonales pour chaque antenne. La diversité spatiale du canal radio signifie que MIMO a le potentiel d'augmenter le débit de données. La forme la plus basique de MIMO assigne un flux de données à chaque antenne et la figure ci-dessous le montre.

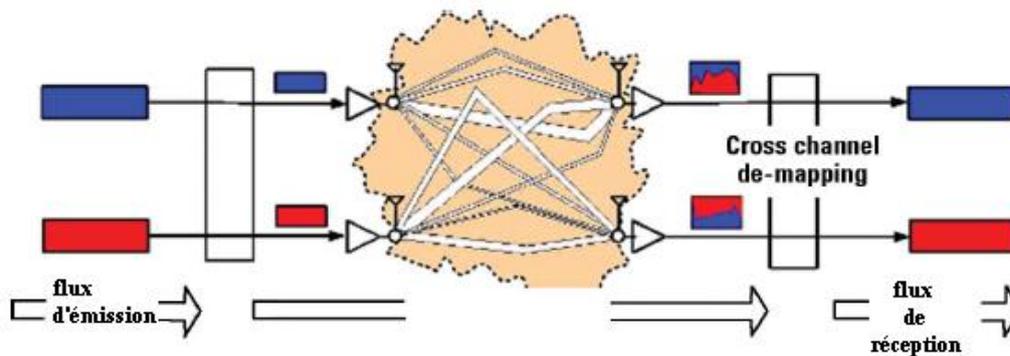


Figure (2-10)-Non-precoded 2x2 MIMO-

### 7-1-2 Multiplexage spatiale (modes MIMO)

Le multiplexage spatial permet de transmettre différents flux de données simultanément sur le même bloc de ressource en exploitant la dimension spatiale du canal radio. Ces flux de données peuvent appartenir à un seul utilisateur (Single User MIMO/SU-MIMO) ou à différents utilisateurs (Multi User MIMO/MU-MIMO) pendant que SU-MIMO augmente le débit de données d'un seul utilisateur, MU-MIMO permet d'augmenter la capacité globale. Le multiplexage spatial est possible seulement si le canal radio du mobile le permet.

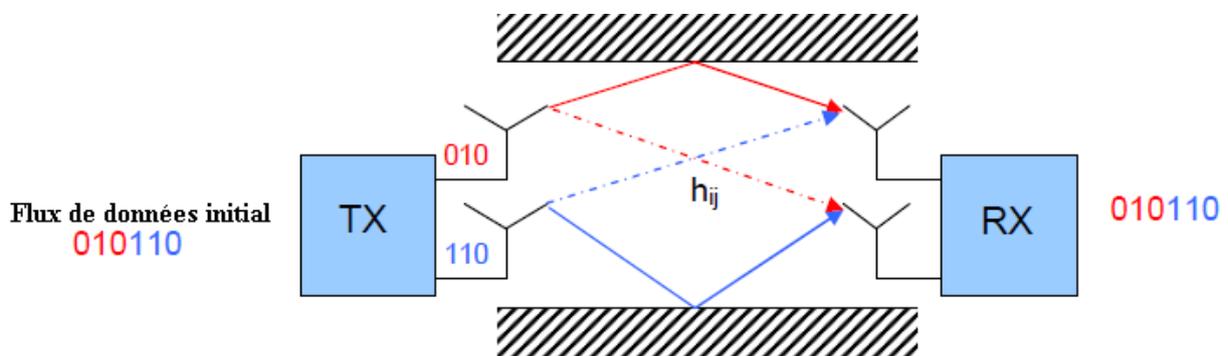


Figure (2-11) -Multiplexage spatiale (simplifié)-

La figure ci-dessus montre une illustration simplifiée du multiplexage spatiale. Dans cet exemple chaque antenne Tx transmet un flux de données différent. Ceci est le cas basique du multiplexage spatial.

Chaque antenne de réception devrait recevoir les flux de données transmis par toutes les antennes. Le canal (pour un retard donné) peut ainsi être décrit par la matrice de canal  $H$  suivante

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_t} \\ h_{21} & h_{22} & & h_{2N_t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_r1} & h_{N_r2} & \dots & h_{N_rN_t} \end{bmatrix}$$

Dans cette description générale,  $N_t$  est le numéro des antennes de transmission,  $N_r$  est le numéro des antennes de réception, ayant pour résultat une matrice  $N_r \times N_t$  pour le scénario de la spécification de base dans LTE. Les coefficients  $h_{ij}$  de la matrice s'appellent les coefficients de canal de l'antenne de transmission  $j$  vers l'antenne de réception  $i$ , ainsi on a décrit tous les chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur. Le nombre de flux de données pouvant être transmis en parallèle à travers le canal MIMO est donné par  $\min\{N_t, N_r\}$  et est limité par le rang de  $H$ . La qualité de transmission se dégrade d'une manière significative dans le cas où les éléments de la matrice ne sont pas suffisamment élevés. Ceci peut se produire au cas où les deux antennes ne sont pas suffisamment dé-corrélées, par exemple, dans un environnement où il y a peu de dispersion ou quand les antennes sont très proches l'une de l'autre. Le rang de la matrice du canal  $H$  est donc un critère important pour déterminer si le multiplexage spatial peut se faire avec une bonne performance. Noter que la figure ci-dessus montre seulement un exemple. Dans les implémentations pratiques MIMO, les flux de données sont souvent équilibrés et ajoutés, de sorte que chaque antenne transmette réellement une combinaison des flux.

## 7-2 La diversité de transmission

Au lieu d'augmenter le débit de données ou la capacité, MIMO peut être utilisée pour exploiter la diversité et améliorer la robustesse de la transmission de données. La diversité de transmission est déjà connue dans WCDMA release 99 et fera encore partie de LTE. Chaque antenne de transmission transmet essentiellement le même flux de données, alors le récepteur reçoit des répliques du même signal. Ceci augmente le taux S/B du côté récepteur et ainsi la robustesse de la transmission de données spécialement dans les scénarios d'évanouissement. Typiquement, un codage spécifique à chaque antenne est appliqué au signal avant la transmission pour augmenter les effets de diversité. Le changement entre les deux modes

MIMO, diversité de transmission et le multiplexage spatial, est possible selon les conditions du canal.

### 7-3 Beamforming

Beamforming utilise les mêmes techniques d'antennes et de traitement du signal que MIMO, mais au lieu d'exploiter la dé-corrélation dans le chemin radioélectrique, Beamforming vise à exploiter la corrélation de sorte que le diagramme de rayonnement de l'émetteur soit orienté vers le récepteur. Ceci est fait en appliquant de courts délais de retard à un réseau d'antennes calibrées en phase. L'efficacité de Beamforming varie en fonction du nombre d'antennes. Avec seulement deux antennes, un faible gain est observé, mais avec quatre antennes les gains sont plus importants et plus utiles. La transformation d'un système MIMO en un système Beamforming se fait simplement en changeant les matrices de pré-codage. Dans les systèmes pratiques, la conception de l'antenne (Antenna Design) doit être prise en considération et les choses ne sont pas aussi simples. Il est possible de concevoir des antennes pour être corrélé ou non-corrélé, par exemple, en changeant la polarisation. Cependant le changement entre les configurations corrélées et non-corrélées peut être problématique si la conception physique des antennes est optimisée pour l'une ou l'autre. Puisque Beamforming est lié à la position physique de l'équipement utilisateur (UE), le débit requis pour la synchronisation des antennes est beaucoup plus inférieur que ceux exigés pour supporter le pré-codage dans MIMO. Ainsi Beamforming a des entêtes de signalisation inférieure à celles de MIMO.

### 7-4 Combiner Beamforming et MIMO

La forme la plus avancée des techniques d'antennes multiples est probablement la combinaison de Beamforming avec MIMO. Dans ce mode, les techniques pourraient être utilisées sur des ensembles d'antennes où chaque ensemble comporte un réseau Beamforming. Etant donné que Beamforming avec seulement deux antennes a des gains limités, il n'ya pas d'avantage en combinant Beamforming et MIMO à moins qu'il y est beaucoup d'antennes. Ceci limite l'utilisation pratique de cette technique du point de vue coût.

## 8 Propagation

Les systèmes de radiocommunication utilisent le canal hertzien comme support physique pour transmettre l'information, le signal transmis traverse, au cours de sa propagation, différents types de canaux et subit plusieurs phénomènes tels que l'évanouissement, la diffraction, la réfraction, ainsi que le phénomène de trajets multiples, cela rend nécessaire l'étude de la propagation et chercher une solution pour protéger l'information et de la récupérer à la réception en utilisant des techniques adaptées.

### 8-1 Propagation en espace (libre cas idéal)

Selon l'environnement de propagation, les influences du canal diffèrent. Le modèle d'espace libre permet d'avoir une première approche. Dans le cas d'une liaison en vue directe, connue aussi sous le terme LOS (Line Of Sight) entre l'émetteur et le récepteur, une ellipse appelée zone de Fresnel permet de cerner la validité du modèle espace libre dans un canal. Effectivement, si cette zone n'est pas dégagée, le modèle n'est plus valable.

### 8-2 Propagation dans le cas réel

Les situations les plus courantes de propagation des systèmes de radiocommunication sont loin d'être en espace libre. Les obstacles de différentes formes géométriques et de diverses caractéristiques physiques perturbent la propagation. Ces perturbations se traduisent par des fluctuations de la puissance du signal reçu en fonction de la distance.

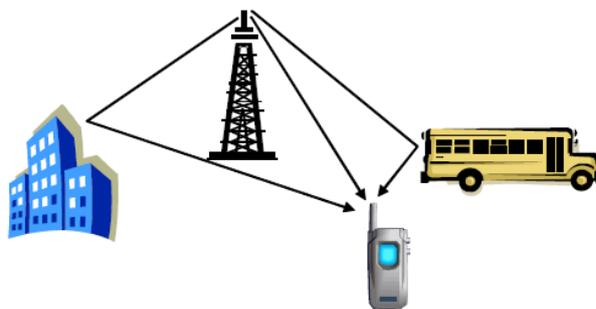
Les pertes en fonction de la distance et les effets de masquage sont les phénomènes à l'origine de ces variations. La densité de puissance se réduit au fur à mesure que l'onde s'éloigne de sa source jusqu'à atteindre l'antenne réceptrice. L'influence des obstacles rencontrés par l'onde varie selon leurs configurations.

Le phénomène de trajets multiples est l'un des phénomènes les plus perturbateurs, mais dans LTE ce phénomène n'est plus un problème.

### 8-3 Phénomène de trajets multiples et sa résolution dans LTE

Dans les communications à haut débit, les transmissions sont limitées par des contraintes physiques : le bruit dû aux imperfections des systèmes et la nature physique des composants affectent la transmission du signal émis. La déformation du signal au cours de la propagation est également une autre contrainte physique. Elle impose une bonne séparation temporelle des

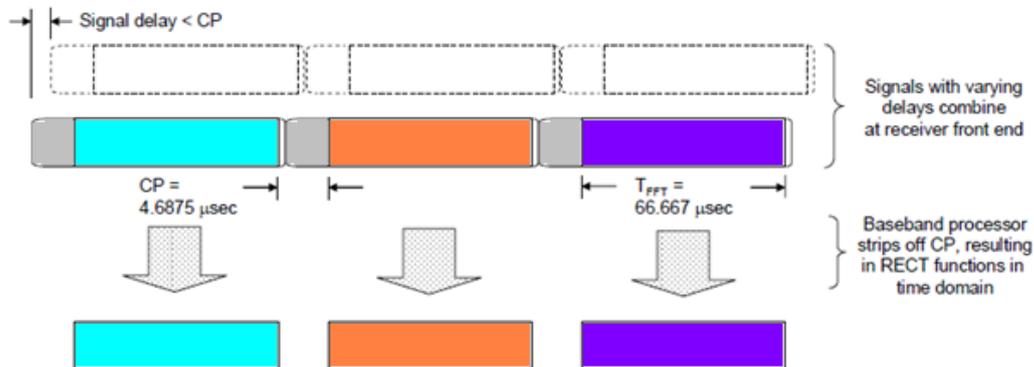
informations émises afin qu'elles restent bien séparées à la réception. La transmission d'un train de symboles s'accompagne presque inévitablement d'une dispersion des données dans le temps. Elle est à l'origine de l'interférence entre symboles. Les signaux réfléchis par les immeubles, les voitures ou le sol provoquent un phénomène nommé « affaiblissement par trajets multiples »: selon la longueur des différents chemins parcourus, le signal dévié arrive à l'émetteur plus ou moins longtemps après le signal principal, donc déforme plus ou moins celui-ci (voir figure ci-dessous). L'importance de ce phénomène dépend de la fréquence (les pertes sont plus faibles pour les basses fréquences et plus importantes pour les hautes fréquences) et varie lorsque le récepteur se déplace : il est bien connu des automobilistes, qui entendent le son de leur auto-radio s'affaiblir par endroits ou qui captent moins bien les stations dans les tunnels. Ce phénomène d'évanouissement ou « fading » résulte des variations aléatoires des phases du signal dans le temps (après réflexion sur un obstacle). Elles peuvent engendrer des signaux s'ajoutant de façon destructive en réception. Le signal résultant sera alors très faible ou nul. Les signaux multiples peuvent aussi s'ajouter de manière constructive, le signal résultant sera alors plus puissant que le trajet direct. Il faut noter que les multi-trajets n'ont pas que des inconvénients puisqu'ils permettent que la communication soit possible même lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vision directe! C'est en particulier en exploitant cette particularité que des communications trans-continentales peuvent avoir lieu.



**Figure (2-12)- Phénomène de multi-trajets causé par les réflexions du signal sur les obstacles-**

Dans LTE, l'utilisation des techniques MIMO et l'OFDM permet de résoudre ce problème. Pour comprendre comment l'OFDM se comporte avec IES (interférence entre symboles) induites par trajets multiples, considérons la représentation dans le domaine temporel d'un symbole OFDM montré dans la figure ci-dessous. Le symbole OFDM est constitué de deux composantes principales: le CP et une période FFT. La durée du CP est déterminée par le plus haut degré prévu de delay spread pour l'application visée. Lorsque les signaux transmis

arrivent au niveau du récepteur par deux chemins de différentes longueurs, ils sont décalés dans le temps comme le montre la figure ci-dessous.



**Figure (2-13)- L'OFDM Elimine l'IES via des périodes symbole plus longues et le préfixe cyclique**

Au sein de la période de CP, il est possible d'avoir une distorsion portée par un symbole précédent. Toutefois, avec un CP d'une durée suffisante, les symboles précédant ne rejaillissent pas sur la période FFT, il n'y a que des perturbations causées par les « copies » échelonnées dans le temps, du symbole actuel. Une fois la réponse impulsionnelle du canal est déterminée (par transmission périodique des signaux de référence connus), les distorsions peuvent être corrigées en appliquant un décalage de base d'amplitude et de phase sous-porteuse par sous-porteuse.

A Noter que toutes l'information pertinente pour le récepteur est contenue dans la période FFT. Une fois que le signal est reçu et numérisé, le récepteur supprime tout simplement le CP. Le résultat est une impulsion rectangulaire qui, au sein de chaque sous-porteuse, est d'une amplitude constante sur la période de la FFT. Et concernant les systèmes MIMO, ils permettent de combattre efficacement les évanouissements et les interférences en exploitant la diversité produite par le canal MIMO (constitué de sous canaux), en renvoyant la même donnée à travers plusieurs émetteurs.

## 9 Conclusion

L'usage de la technique OFDM n'est pas une exclusivité pour la norme LTE, Wimax, WiFi et DVB étaient les premiers.

L'interface radio est basée sur la transmission multiple sur des porteuses orthogonales OFDM. Sur la voie montante, il s'agit d'une variante appelée SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiplex Access).

## Chapitre 3

### L'ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DE L'INTERFACE AIR DANS LTE

#### 1 Introduction

Le 3GPP Long Term Evolution (LTE) représente une avancée majeure dans la technologie cellulaire. LTE est conçue pour répondre transporteur a besoin de données à grande vitesse et le transport des médias ainsi que le soutien vocal de grande capacité ainsi dans la prochaine décennie. Il comprend des données à haute vitesse, unicast multimédia et les services de diffusion multimédia. Bien que la technique spécifications ne sont pas encore finalisés, des détails importants sont apparus. Le LTE PHY est un moyen très efficace de transmettre les données et les informations de contrôle entre une base renforcée Grace (eNodeB) et équipement utilisateur (UE) mobile. Le LTE PHY emploie certaines technologies de pointe qui sont nouveaux pour les applications cellulaires

#### 2 L'E-UTRAN

L'E-UTRAN décrit la nouvelle architecture réseau comme illustrée ci –dessous. Il contient un nouvel élément réseau qui est l'eNB qui fournit deux plans de terminaison (plan utilisateur (PDCP/RLC/MAC/PHY) et plan contrôle (RRC).

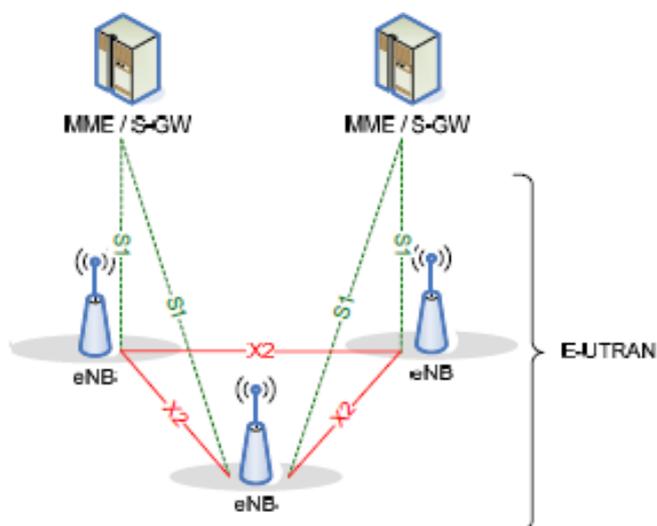


Figure (3-1)-LTE/E-UTRAN

Une nouvelle interface appelée X2 relie les eNodeB permettant une communication directe entre elles sans avoir besoin d'un RNC (Radio Network Controller). L'E-UTRAN est connecté à l'EPC à travers l'interface S1 qui connecte les eNodeB à l'MME/S-GW à travers une liaison many-to-many.

La figure ci-dessous illustre l'interfonctionnement entre l'eNodeB et l'EPC.

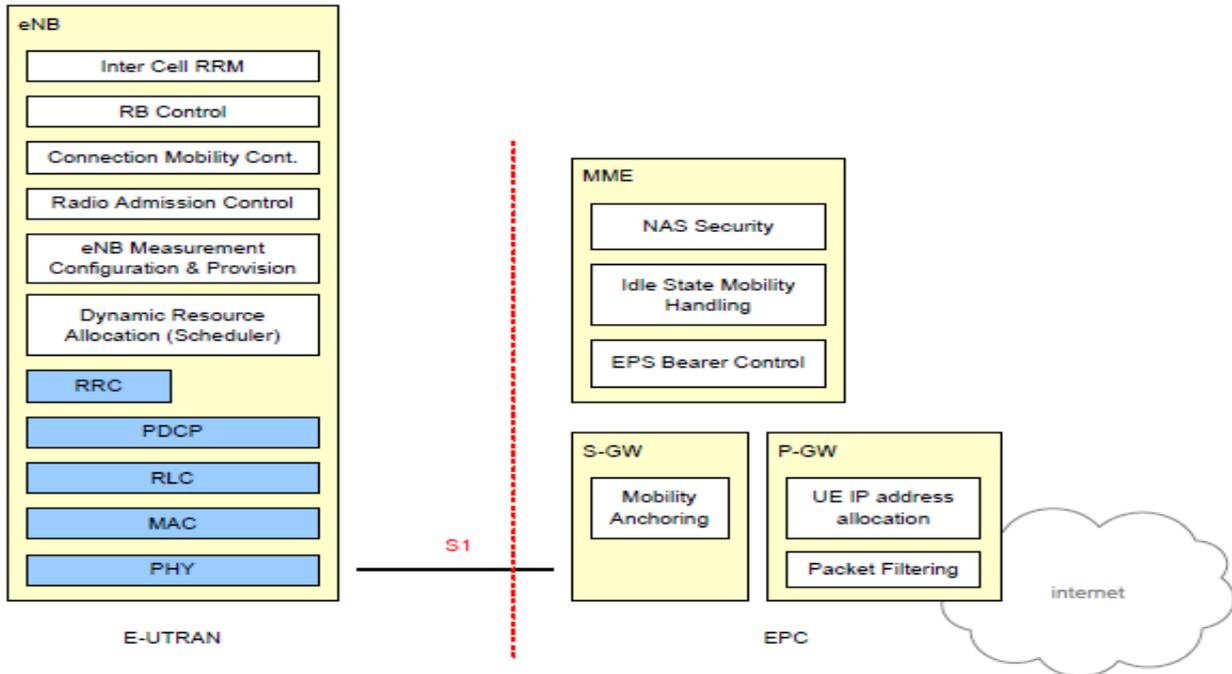


Figure (3-2)-L'interfonctionnement entre l'eNodeB et l'EPC

La fonctionnalité a augmentée considérablement dans l'E-UTRAN comparé à WCDMA release 99. La station de base contient des fonctions pour le contrôle radio (radio bearer control), contrôle d'admission, contrôle de mobilité, planification uplink et downlink, ainsi que la configuration des mesures.

La pile des protocoles du plan utilisateur dans LTE est montrée dans la figure ci-dessous

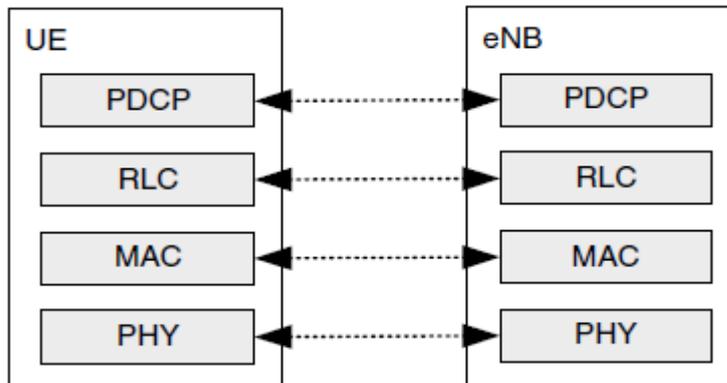


Figure (3-3)-La pile des protocoles du plan utilisateur

La pile des protocoles du plan de contrôle dans LTE est montrée dans la figure ci-dessous

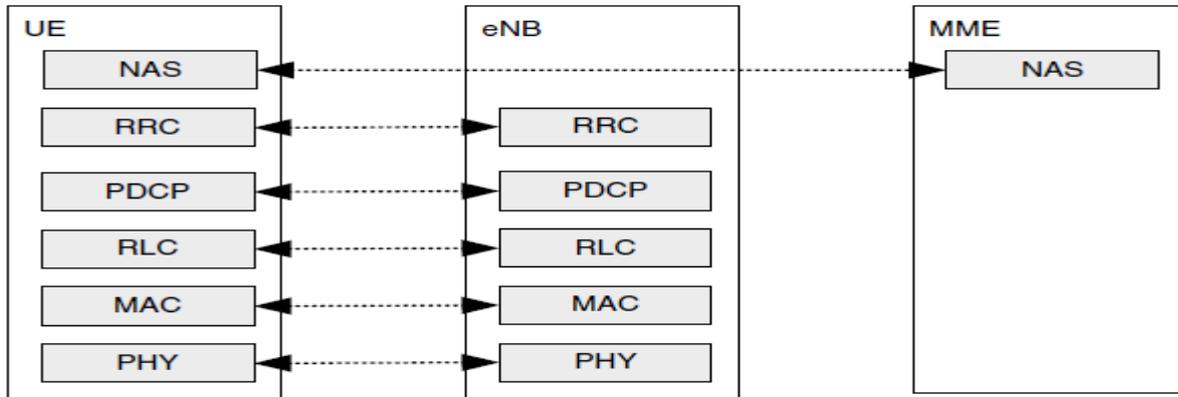


Figure (3-4)-La pile des protocoles du plan de contrôle

### 3 L'architecture protocolaire globale de l'interface air dans LTE

La figure ci-dessous, prise du document TS 36.201<sup>11</sup> montre l'architecture protocolaire globale de l'interface air dans LTE. La couche 1 fournit des services de transports de données aux couches supérieures. On accède à ces services par des canaux de transport via la sous-couche MAC. La couche physique fournit des canaux de transport à la sous-couche MAC de la couche 2, et la sous-couche MAC fournit des canaux logiques à la sous-couche RLC de la couche 2. Les canaux de transport sont caractérisés par la façon dont l'information est transférée à travers l'interface radio, tandis que l'information logique est caractérisée par le type d'information. Les cercles, dans le diagramme ci-dessous, entre les différentes couches ou sous-couches indiquent les SAP (Services Access Points). La couche physique fait interface aussi avec la couche 3 (RRC Layer).

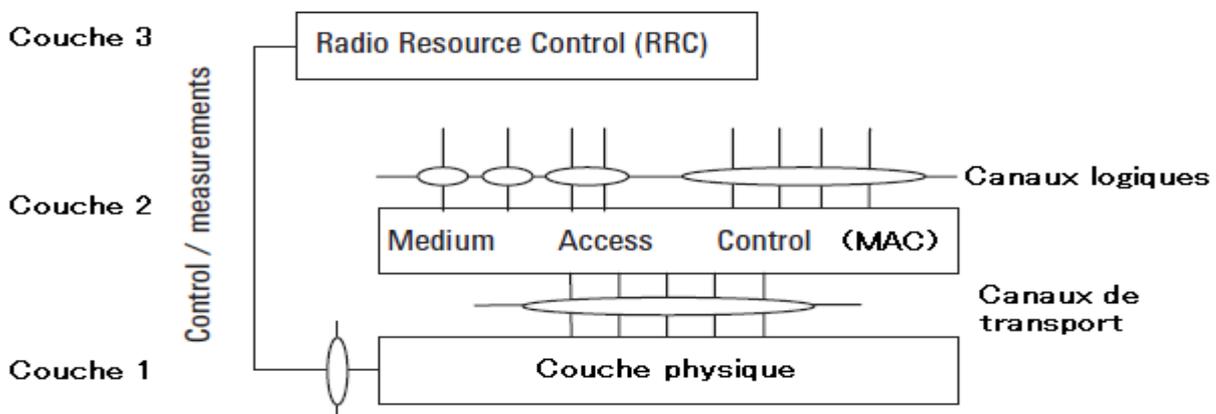


Figure (3-5)-L'architecture protocolaire globale de l'interface air dans LTE

### 4 Procédures de la couche 3

Le protocole RRC (Radio Ressource Control) est responsable du contrôle des procédures de la couche 3 à travers l'interface air incluant par exemple ce qui suit :

- Diffusion des informations système.
- Contrôle de la connexion RRC c.à.d. le paging, établissement/ reconfiguration/ mise à jour des connexions RRC, attribution des identités d'UE.
- Activation initiale de la sécurité pour la protection du chiffrement et de l'intégrité.
- Contrôle de la mobilité, aussi pour les handovers inter-RAT.
- Contrôle de la qualité de service.
- Contrôle de configuration des mesures.

RRC est aussi responsable de la configuration des couches inférieures.

Dans la première phase de déploiement, la couverture LTE sera certainement limitée aux villes et hot spots. Il est très important d'assurer la mobilité entre LTE et les technologies antérieures dans le but d'assurer la continuité du service. Ces technologies incluent GSM/GPRS, WCDMA/HSPA, et CDMA2000.

Les figures ci-dessous montrent les supports de mobilité entre ces technologies et LTE et indiquent les procédures utilisées pour se déplacer entre elles.

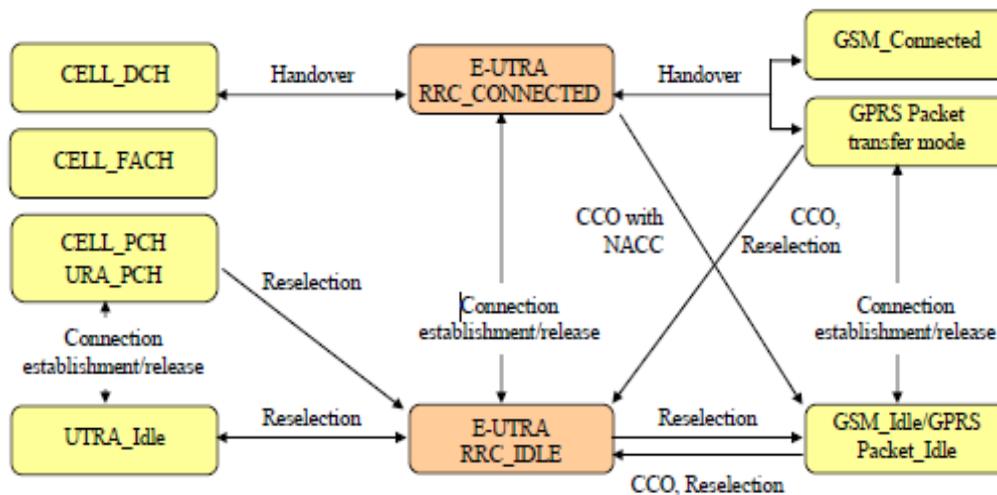


Figure (3-6)-Etats E-UTRA et les procédures inter-RAT, CCO=Cell Change Order

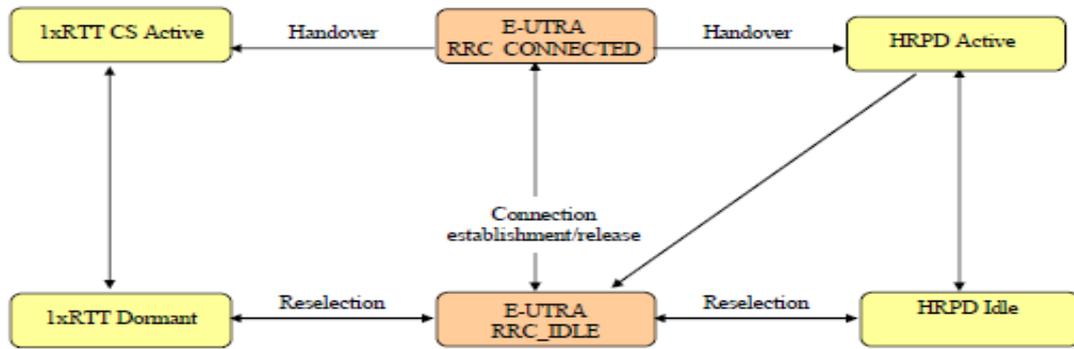


Figure (3-7)-Les procédures de mobilités entre E-UTRA et CDMA2000, HRPD=High Rate Packet Data

RRC est responsable de la configuration des couches inférieures. Par exemple, le tableau ci-dessous liste les éléments de la couche physique qui sont configurés par les messages RRC. Ceci montre que la Paramétrisation de la couche physique peut être optimisée par RRC pour des scénarios et des spécifications spécifiques

L'élément de la couche physique	Les options de configuration par RRC
PDSCH	Configuration de puissance, puissance du signal de référence.
PHICH	Durée (courte/longue), paramètre pour tirer le nombre de groupes de PHICH.
MIMO	Mode de transmission.
PUSCH	Mode de saut (inter sous-trame ou intra-/inter sous-trame), les sous bandes disponibles.
PUCCH	Ressources disponibles, permission de transmission simultanée d'ACK/NACK et CQI.
Contrôle de puissance en uplink	Les paramètres spécifiques de configuration de puissance de l'UE.
Paramètres TDD-spécifique	Configuration de la sous-trame en downlink et en uplink.

Tableau (3-1)-Les options de configuration par RRC-

## 5 Couche 2

### 5-1 La structure de la couche 2

Les schémas ci-dessous montrent la structure de la couche 2 en uplink et en downlink. Les points d'accès-services entre la couche physique et la sous-couche MAC fournissent les canaux de transports. Les points d'accès-services entre la sous-couche MAC et la sous-couche RLC fournissent les canaux logiques. Les radio-bearers sont définies dans la sous-couche PDCP. Le multiplexage de plusieurs canaux logiques sur le même canal de transport est possible et E-UTRAN fournit des fonctionnalités ARQ et HARQ. La fonctionnalité ARQ fournit la correction des erreurs par des retransmissions dans le mode acknowledged dans la couche 2. La fonctionnalité HARQ assure la livraison entre les entités correspondantes (peer entities), le HARQ est un protocole N-channel stop-and-wait avec des retransmissions asynchrones en downlink et des retransmissions synchrones en uplink. Les retransmissions ARQ sont basées sur les rapports d'états de RLC et les interactions HARQ/ARQ. Le chiffrement des fonctions de sécurité et la protection d'intégrité se trouvent dans le protocole PDCP.

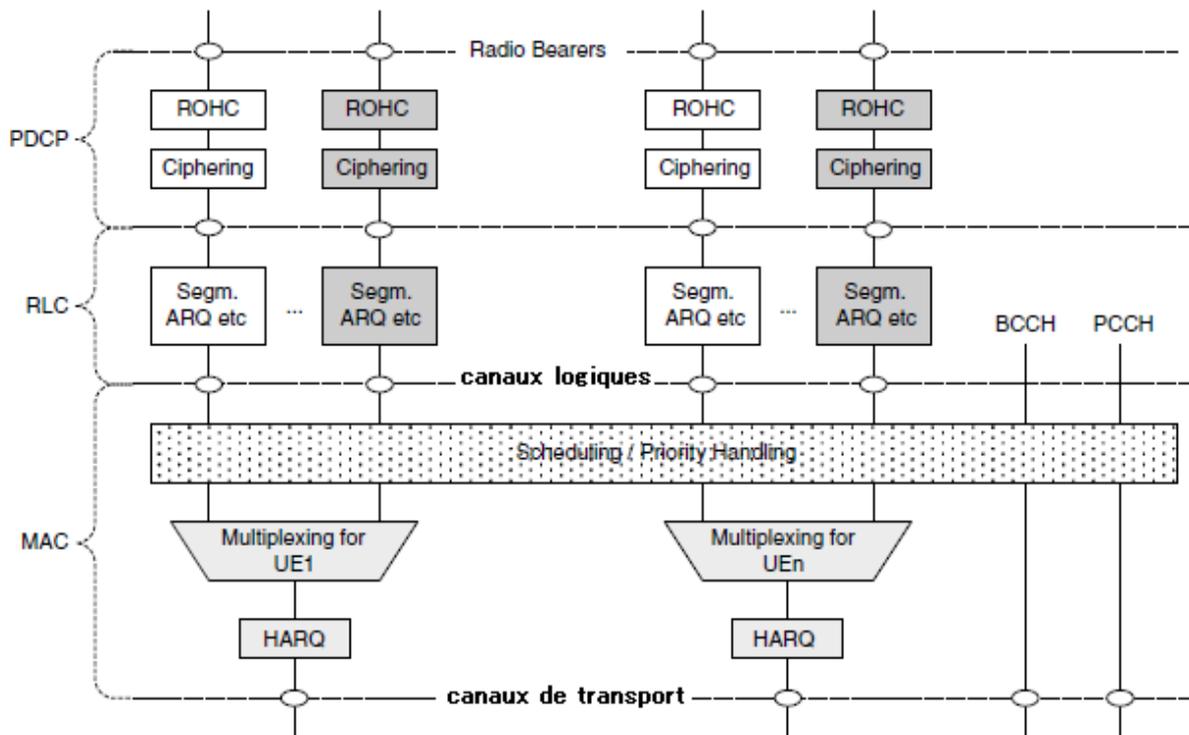


Figure (3-8)-Structure de la couche 2 en downlink-[Réf.5]

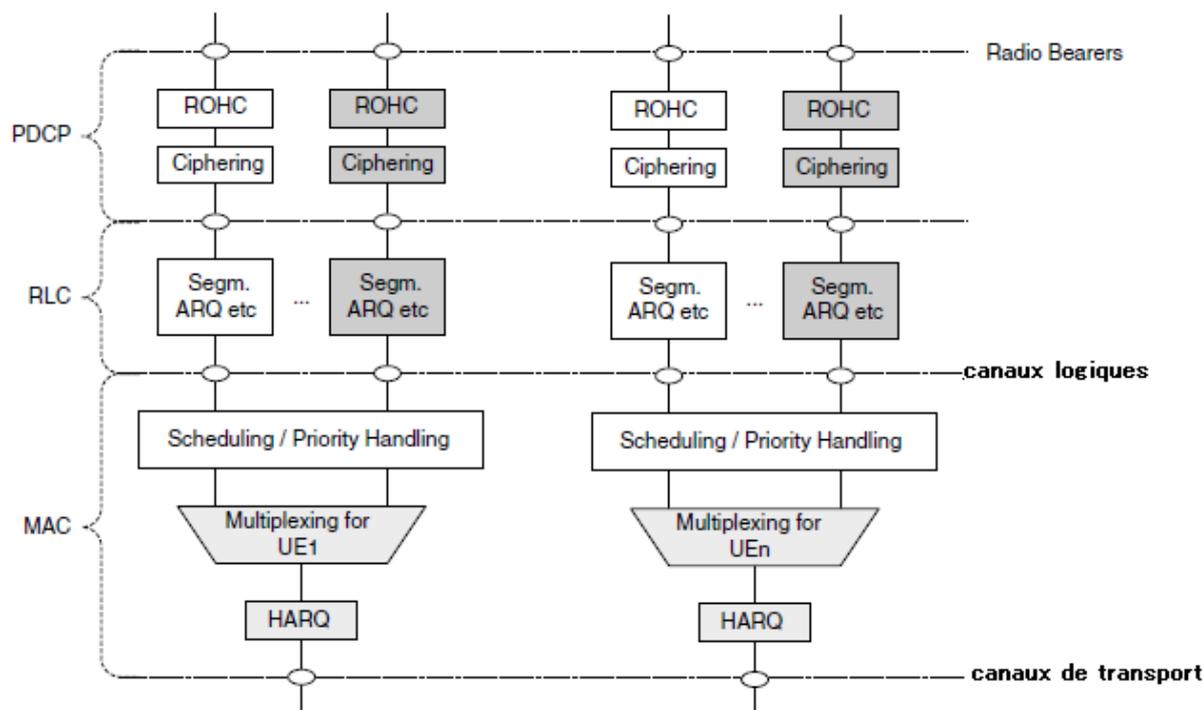


Figure (3-9)-Structure de la couche 2 en uplink-[Réf.5]

## 5-2 Les canaux de transport

Dans le but de réduire la complexité de l'architecture protocolaire de LTE, le nombre de canaux de transport a été réduit, ceci est dû principalement au fait qu'aucun canal dédié n'est utilisé.

### ➤ Les canaux de transport en downlink sont

- Broadcast Channel (BCH).
- Downlink Shared Channel (DL-SCH).
- Paging Channel (PCH).

### ➤ Les canaux de transport en uplink sont

- Uplink Shared Channel (UL-SCH).
- Random Access Channel (RACH).

## 5-3 Les canaux logiques

Les canaux logiques peuvent être classés en deux classes : les canaux de contrôle et les canaux de trafic.

- **Les canaux de contrôle sont**
  - ✓ Broadcast Control Channel (BCCH).
  - ✓ Paging Control Channel (PCCH).
  - ✓ Common Control Channel (CCCH).
  - ✓ Dedicated Control Channel (DCCH).

- **Les canaux de trafic sont**
  - ✓ Dedicated Traffic Channel (DTCH).

Le mapping entre les canaux logiques et les canaux de transport en downlink et en uplink est montré dans les figures ci-dessous :

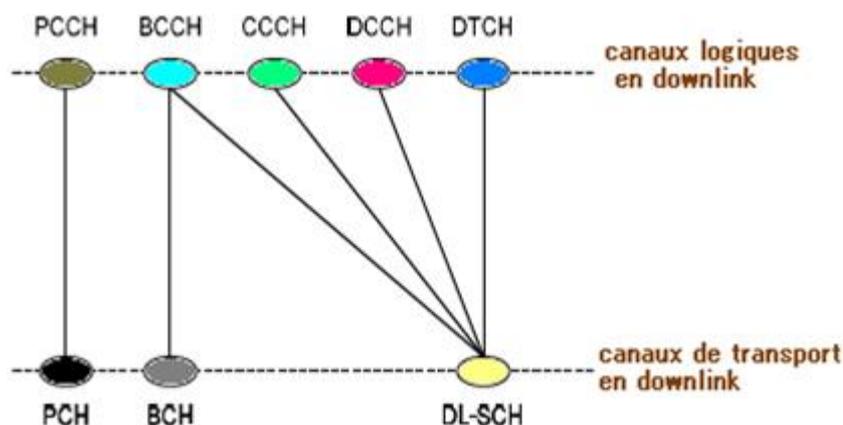


Figure (3-10) mapping entre les canaux logiques et les canaux de transport en DL [Réf.18]

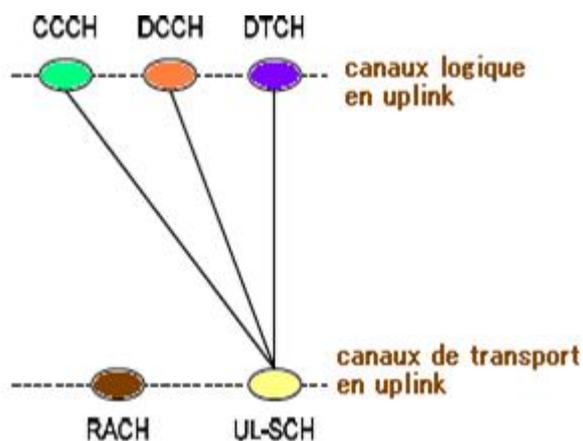


Figure (3-11) mapping entre les canaux logiques et les canaux de transport en UP [Réf.18]

### 5-4 La structure du bloc de transport (MAC Protocol Data Unit (PDU))

La structure de l'unité MAC PDU doit prendre en considération les options de multiplexage dans LTE et les exigences de fonctions telles que scheduling, alignement en temps (timing alignment) etc. L'unité MAC PDU pour DL-SCH ou UL-SCH se compose d'un entête MAC, zéro ou plus SDU (Service Data Units), zéro ou plus élément de contrôle MAC et un remplissage optionnel, voir la figure ci-dessous. Dans le cas d'un multiplexage spécial MIMO, on peut transmettre jusqu'à deux blocs de transport par intervalle de temps de transmission par utilisateur.

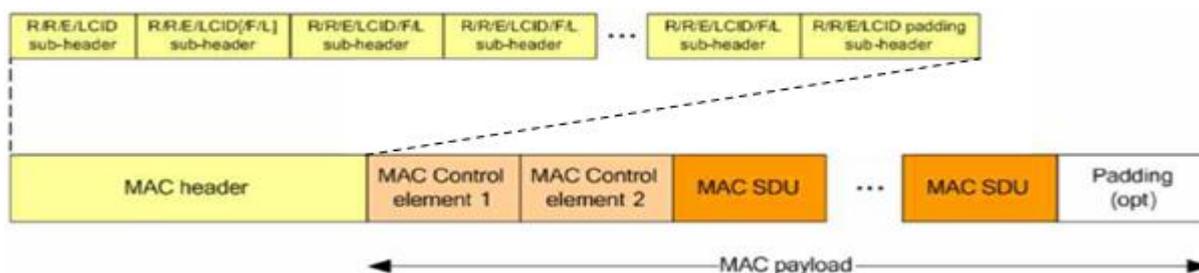


Figure (3-12)-La structure du bloc de transport (MAC Protocol Data Unit (PDU))

L'entête MAC peut se composer de plusieurs sous-entêtes. Chaque sous-entête correspond soit à un élément de contrôle MAC, à l'unité MAC SDU (Service Data Unit) ou au remplissage (padding), et fournit plus d'information sur le champ respectif en terme de contenu et de longueur. Les unités MAC SDU peuvent appartenir à différents canaux logiques (indiquées par le LCID/ le champ Logical Channel Identifier dans le sous-entête), de sorte que le multiplexage des canaux logiques soit possible. Les éléments de contrôle MAC suivants sont identifiés par le champ LCID dans le sous-entête MAC :

- ✓ Etat de la mémoire tampon.
- ✓ C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier).
- ✓ La commande DRX (Discontinuous Reception).
- ✓ Timing advance.
- ✓ Puissance maximale.

## 6 La couche physique

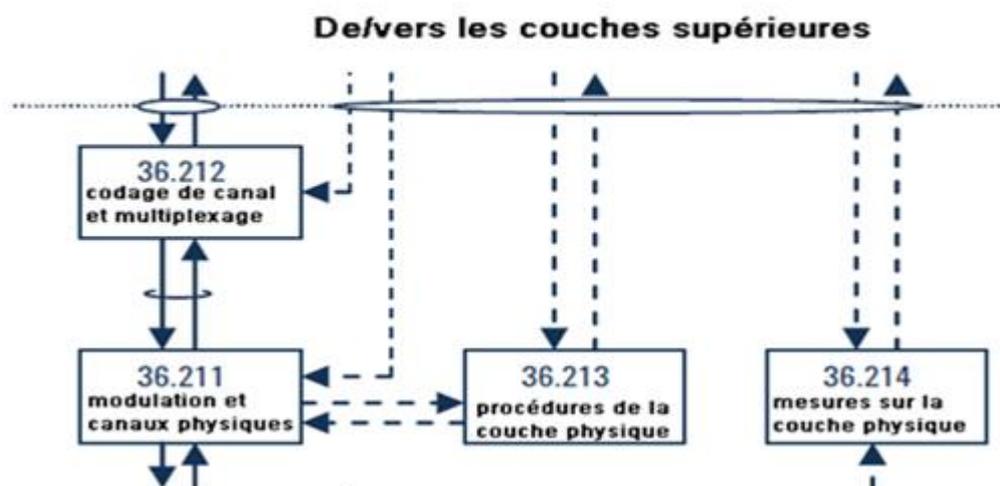
La couche physique remplit une série de fonctions qui incluent :

- ✓ Détection des erreurs sur les canaux de transport.

- ✓ Encodage/décodage des canaux de transport.
- ✓ Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) soft-combining.
- ✓ Modulation et démodulation des canaux physiques.
- ✓ Synchronisation en temps et en fréquence.
- ✓ Mesure des caractéristiques radios.
- ✓ Traitements relatifs aux antennes MIMO.
- ✓ La diversité de transmission.
- ✓ Beamforming.
- ✓ Traitements RF.

## 6-1 Aperçu sur l'interface physique

Les spécifications relatives à la couche physique sont divisées en quatre sections principales comme montrées dans la figure ci-dessous :



Figure(3-13) Relation entre les spécification de la couche [Réf.11]

### TS36.211 modulation et canaux physiques

Cette spécification décrit les signaux et les canaux physiques en uplink et en downlink, comment ils sont modulés et comment sont-ils mappés dans la trame.

### TS36.212 codage de canal et multiplexage

Cette spécification décrit les canaux de transport et de contrôle, incluant le multiplexage, le schéma de codage de canal, le codage des informations de contrôle de couche 1 et 2 ...etc

### TS36.213 procédures de la couche physique

Cette spécification décrit les caractéristiques des procédures de la couche physique incluant les procédures de synchronisation, la recherche de cellules, contrôle de puissance, procédure d'accès aléatoire ...etc.

### TS36.214 mesures sur la couche physique

Cette spécification décrit les caractéristiques des mesures de la couche physique, qui seront effectués dans la couche 1 par l'UE et l'eNB, et comment les résultats de ces mesures sont communiqués aux couches supérieures et au réseau. Cette spécification inclut des mesures pour le handover.

### TS36.133 gestion des ressources radio

Bien qu'elle ne soit pas strictement une partie de la couche physique, les conditions pour la gestion des ressources radio sont récapitulées ici puisqu'elles sont étroitement liées aux mesures de la couche physique.

## 6-2 Les canaux physiques et modulation

L'interface air dans LTE se compose des signaux et des canaux physiques qui sont définis dans TS 36.211. Les signaux physiques sont générés dans la couche 1 et utilisée pour : synchronisation du système, identification des cellules et l'estimation du canal radio. Les canaux physiques véhiculent les données des couches supérieures incluant le contrôle, la programmation (scheduling) et les données utilisateur. Les signaux physiques sont résumés dans le tableau ci-dessous. En downlink, les signaux de synchronisation primaires et secondaires encodent l'identification de la cellule permettant à l'UE de l'identifier et de se synchroniser avec le réseau.

Signaux DL	Nom complet	But
P-SCH*	Signal primaire de synchronisation.	Utilisé pour la recherche et l'identification de cellules par l'UE. porte une partie d'ID de cellule (une des trois séquences orthogonales)
S-SCH*	Signal secondaire de synchronisation.	Utilisé pour la recherche et l'identification de cellules par l'UE. porte le reste d'ID

		de cellule (une des 168 séquences binaires)
RS	Signal de référence (Pilote)	Utilisé pour l'estimation du canal en DL. La séquence exacte dérivée de l'ID de la cellule (une des $3 \times 168 = 504$ séquences pseudo-aléatoire).
<b>Signaux UL</b>	<b>Nom complet</b>	<b>But</b>
RS	Signal de référence (sondage et démodulation)	Utilisé pour la synchronisation avec l'UE et l'estimation de canal en UL.

**Tableau (3-2)-Les signaux physiques dans LTE**

\*Note : il n'y a pas d'acronymes formel pour décrire les signaux de signalisation primaires et secondaire. Les termes P-SCH et S-SCH viennent des anciens rapports techniques mais restent utilisés informellement malgré la suggestion « channel » au lieu de « signal ».

Les canaux physiques véhiculent les informations utilisateur et système. Ces derniers sont résumés dans le tableau ci-dessous. Notez que l'absence des canaux dédiés, qui est une caractéristique des systèmes packet-only. La structure de canal dans LTE est plus proche de celle dans HSPA que celle dans WCDMA, qui est basée sur les canaux dédiés aux utilisateurs.

Canaux en DL	Nom complet	But
PBCH	Physical broadcast channel	Véhicule les informations d'une cellule spécifique.
PMCH	Physical multicast channel	Véhicule le canal de transport MCH
PDCCH	Physical downlink control channel	Scheduling, ACK/NACK
PDSCH	Physical downlink shared channel	Données utilisateur
PCFICH	Physical control format indicator channel définit le nombre de canaux PDCCH OFDMA.	Définit le nombre de symboles OFDMA PDCCH par sous-trame (1, 2 ou 3)
PHICH	Physical hybrid ARQ indicator channel	Véhicule HARQ ACK/NACK

Canaux en UL	Nom complet	But
PRACH	Physical Random Access Channel	Etablissement d'un appel
PUCCH	Physical Uplink Control Channel	Scheduling, ACK/NACK
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	Données utilisateur

Tableau (3-3)-Les canaux physiques dans LTE

➤ **Modulation**

Les modulations de canaux et de signaux autorisés pour les liaisons downlink et uplink sont montrés dans le tableau ci-dessous. Les spécifications détaillées sur les canaux et signaux physiques sont documenté dans TS 36.211.

Downlink	
Canaux physiques	Type de modulation
PBCH	QPSK
PDCCH	QPSK
PDSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM
PMCH	QPSK, 16QAM, 64QAM
PCFICH	QPSK
PHICH	BPSK modulé en I et Q
Signaux physiques	Type de modulation
RS	Séquence pseudo-aléatoire complexe (I + jQ) dérivée de l'ID de cellule.
P-SCH	Une des trois séquences Zadoff-Chu.
S-SCH	Deux 31-bits BPSK M-sequence.
Uplink	
Canaux physiques	Type de modulation
PUCCH	BPSK, QPSK
PUSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM
PRACH	Zadoff-Chu
Signaux physiques	Type de modulation
Démodulation RS	Zadoff-Chu
Sondage RS	Basé sur Zadoff-Chu

Tableau (3-4)-Les modulations de canaux et de signaux autorisés pour les liaisons downlink et uplink

### 6-3 Codage de canal et multiplexage

Les canaux physiques définis dans le document 36.211 sont mappés aux canaux de transport (TrCH) qui véhiculent les informations entre la couche physique et la couche MAC et les couche supérieures. Le tableau ci-dessous liste les types des canaux de transport (TrCH) en downlink et uplink qui sont décrits dans le document 36.300 V8.3.0. Les spécifications de TrCH sont décrites dans le document TS 36.212.

Type de canal de transport		Fonctions
<b>Downlink</b>		
Downlink Shared Channel	DL-SCH	Support pour HARQ, modulation de la liaison dynamique, allocation des ressources dynamiques et semi-statiques, réception discontinue de l'UE et transmission MBMS.  Possibilité d'être diffusé dans toute la zone de couverture de la cellule pour permettre le Beamforming.
Broadcast Channel	PBCH	Format de transport fixé, doit être diffusé dans toute la zone de couverture de la cellule.
Paging Channel	PCH	Support pour la réception discontinue de l'UE.  Doit être diffusé dans toute la zone de couverture de la cellule.  Mappé aux ressources physiques.
Multicast Channel	MCH	Support pour MBSFN, allocation de ressources semi-statiques.  Doit être diffusé dans toute la zone de couverture de la cellule.
<b>Uplink</b>		
Uplink Shared Channel	UL-SCH	Support pour l'adaptation dynamique de la liaison, HARQ, allocation dynamique et semi-statique des ressources.  Possibilité d'utiliser de Beamforming.
Random Access Channel	RACH	Information de contrôle limitée, risque de collision.

Tableau (3-5)-Types de canal de transport

Les informations de contrôle suivantes sont aussi spécifiées :

<b>Downlink</b>	
Indicateur de format de contrôle	CFI
Indicateur HARQ	HI
Information de contrôle en downlink	DCI
<b>Uplink</b>	
Information de contrôle en uplink.	UCI

**Tableau (3-6)-Informations de contrôle**

Le TrCH et les informations de contrôle sont mappés avec les canaux physiques LTE comme décrit dans le tableau suivant :

<b>Downlink</b>	
<b>TrCH</b>	<b>Canal physique</b>
DL-SCH	PDSCH
BCH	PBCH
PCH	PDSCH
MCH	PMCH
<b>Informations de contrôle</b>	<b>Canal physique</b>
CFI	PCFICH
HI	PHICH
DCI	PDCCH
<b>Uplink</b>	
<b>TrCH</b>	<b>Canal physique</b>
UL-SCH	PUSCH
RACH	PRACH
<b>Informations de contrôle</b>	<b>Canal physique</b>
UCI	PUCCH

**Tableau (3-7)-Mapping aux canaux physiques**

### ➤ Codage de canal

Les flux des données et de contrôle vers et de la couche MAC sont encodés et décodés en utilisant les schémas de codage de canal. Le codage de canal combine la détection des erreurs, la correction des erreurs, la correspondance des débits, interleaving, et canal de transport ou mapping d'information de contrôle avec des canaux physiques. Deux schémas de codage de canal sont utilisés dans LTE pour le canal de transport TrCH : turbo-coding pour l'UL-SCH, DL-SCH, PCH et MCH, et tail-biting convolutional coding pour le BCH. Pour les deux schémas le débit de codage est  $R=1/3$  (ceci est pour chaque bit qui entre au codeur on obtient trois bits en sortie). L'information de contrôle est codée en utilisant différents schémas incluant tail-biting convolutional coding et divers débits de contrôle. Les détails précis sur le traitement de la couche physique pour TrCH varie en fonction du type de TrCH qui sont spécifiés dans le document TS 36.212.

## 6-4 Procédures de la couche physique

Plusieurs procédures de la couche physique sont propres à LTE. Elles sont spécifiées dans le document 3GPP TS 36.213. LTE utilise le traitement HARQ et l'adaptation de liaison comme dans l'HSPA. AMC (Adaptative Modulation and Coding) est utilisée comme le mécanisme d'adaptation de liaison pour améliorer le débit de donnée dans les canaux à évanouissement. Cette technique modifie le schéma de codage de modulation en downlink basé sur les conditions de canal de chaque utilisateur. Quand la qualité de la liaison est bonne, le système LTE peut utiliser un schéma de modulation d'ordre supérieur (plus de bits par symbole) ou moins de codage de canal, qui donne comme résultat un très haut débit. Quand les conditions de la liaison sont mauvaises à cause de certains problèmes comme l'évanouissement du signal ou les interférences, le système peut utiliser une modulation d'ordre inférieur ou un codage de canal fort pour maintenir une marge acceptable dans le budget de la liaison radio. Pas toutes les procédures de la couche physique n'ont été entièrement définies mais les principes généraux des procédures essentiels sont définis ici.

### ➤ Recherche de cellules

C'est la procédure par laquelle l'UE obtient la synchronisation en temps et en fréquence avec une cellule et détecter l'ID de la couche physique de la cellule. Pour activer la recherche de cellule, l'eNB transmet RS, P-SCH et S-SCH. Puisque les signaux de synchronisation sont localisés dans la partie centrale du canal, une procédure LTE de recherche de cellule supporte une largeur de bande globale de transmission allant de 6 RB (Resource Block) à un maximum de 100 RB.

### ➤ **Contrôle de puissance**

Cette procédure inclut le contrôle de puissance en uplink et l'attribution des puissances en downlink. Le contrôle de puissance détermine l'énergie par élément de ressource (EPRE : Energy Per Resource Element). Le contrôle de puissance dans les systèmes OFDMA est moins critique que dans les systèmes CDMA, puisque dans OFDMA, les UE sont séparés en temps et en fréquences tandis que dans CDMA, ils partagent le même canal physique et ils sont séparés par un code, qui exige much tighter limits on received power. L'importance du contrôle de puissance augmente avec MU-MIMO, qui fonctionne mieux quand la puissance reçue à partir de chaque UE au niveau de l'eNB est équilibrée.

Pour la liaison montante, des descriptions détaillées du contrôle de puissance impliquant 9 paramètres, couvrent les canaux PUSCH, PUCCH et SRS. Des procédures spéciales s'appliquent au RB assignées à l'UE au bord d'une cellule, où les UE sont plus sensibles aux interférences inter-cellules.

Pour la liaison montante, toute la puissance est mise en référence au RS, qui est transmis avec une puissance constante à travers la largeur de bande entière du canal du système. Le rapport entre le RS EPRE et le PDSCH pour un utilisateur est configurable. L'amplification (Boosting) du RS est aussi supportée.

### ➤ **Procédures d'accès aléatoires**

Ces procédures couvrent la transmission du préambule d'accès aléatoire (Random Access Preamble : porté par le PRACH) et la réponse d'accès aléatoire. Un canal PRACH occupe six blocs de ressources dans une sous-trame ou un ensemble de sous-frames consécutives réservées pour les transmissions des préambules d'accès aléatoires.

### ➤ **Procédures relatives au canal PUSCH**

L'allocation d'UE pour la transmission du PUSCH est fournie par un message d'allocation (scheduling grant message) portée par le canal PDCCH fournissant à l'UE le RB de départ et la longueur des RB adjacents pour la transmission de PUSCH. La transmission du SRS par l'UE pour l'évaluation de canal en uplink, quand aucun PUCCH ou PUSCH n'est programmé, n'est pas encore entièrement spécifiée. Les paramètres fournis par les couches supérieures incluant la périodicité et la durée des SRS, l'emplacement des symboles dans la sous-trame, le saut de fréquence, le décalage cyclique et les facteurs de répétition.

➤ **Procédures relatives au canal PDCCH**

L'UE est nécessaire pour surveiller la liaison descendante. Le PSFICH indique le nombre de symboles PDCCH (1, 2 ou 3) dans chaque sous-trame à surveiller et la durée de symbole PHICH qui est lue du P-BCH. La durée de PHICH est inférieure ou égale au nombre de symboles de PDCCH.

➤ **Procédures relatives au canal PUCCH**

La position des messages ACK/NACK, envoyés dans le PUCCH pour les transmissions programmées PSDSCH, est déterminée à partir du PDCCH associé. Pour un PDSCH détecté dans la sous-trame n, les messages ACK/NACK associés sont transmis à la sous-trame n+4. Ce retard est un paramètre clé dans la détermination de la latence globale pour la retransmission qui est de 8 sous-frames (8 ms).

### 6-5 Les mesures de la couche physique

L'UE et l'eNB sont nécessaires pour effectuer des mesures de la couche physique sur les caractéristiques radios. Ces conditions sont spécifiées dans TS 36.214. Des mesures sont signalées aux couches supérieures et sont utilisées pour différents objectifs tels que les handovers intra et inter fréquence, les handovers inter-radio access technology (inter-RAT), mesures de synchronisation et des mesures pour RRM. Le tableau ci-dessous les mesures définies de la couche physique. Les états applicables définissent les états RRC à partir desquels la mesure doit être possible.

Nom de la mesure	Définition	Etats applicables
RSRP (Reference Signal Receive Power)	La moyenne linéaire (en watts), sur les contributions en puissance, des éléments de ressources qui portent les signaux de référence d'une cellule spécifique.	RRC_IDLE intra-frequency RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED intra-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency

E-UTRA carrier RSSI (Received Signal Strength Indicator)	La puissance à large bande totale reçue observée par l'UE de toutes les sources, incluant l'interférence des canaux adjacents, bruit thermique..etc.	TBD
RSRQ (Reference Signal Received Quality)	Le rapport $N \times \text{RSRP} / (\text{E-UTRA carrier RSSI})$ , où N est le nombre des RB. Les mesures dans le numérateur et le dénominateur doivent être faites sur le même ensemble blocs de ressources.	RRC_IDLE intra-frequency RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED intra-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency
UTRA FDD CPICH RSCP (Received Signal Code Power)	La puissance reçue dans un code est mesurée sur le CPICH primaire. Le point de référence pour le RSCP doit être le connecteur de l'antenne de l'UE.	RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency
UTRA FDD carrier RSSI	La puissance à large bande reçue incluant le bruit thermique et le bruit généré par le récepteur dans la largeur de bande définie par le filtre pulse shaping du récepteur. Si la diversité de réception est utilisée par l'UE la moyenne linéaire de toutes les branches de diversité est rapportée.	RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency
UTRA FDD CPICH $E_c / N_0$	L'énergie reçue par chip ou le CPICH primaire divisé par la densité de puissance dans la largeur de bande définie par le filtre pulse	RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED

	shaping du récepteur. Si la diversité de réception est utilisée par l'UE la moyenne linéaire de toutes les branches de diversité est rapportée.	inter-frequency
GSM carrier RSSI	La puissance reçue à large bande dans la largeur de bande du canal. La mesure sera effectuée sur une porteuse GSM.	RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency
UTRA TDD carrier RSSI.	La puissance à large bande reçue, incluant le bruit thermique et le bruit générée dans le récepteur dans la largeur de bande définie par le filtre pulse shaping du récepteur.	RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency
UTRA TDD P-CCPCH RSCP	La puissance reçue sur P-CCPCH d'une cellule UTRA TDD voisine.	RRC_IDLE inter-frequency RRC_CONNECTED inter-frequency

Tableau (3-8)-Les mesures de la couche physique

### 6-6 La gestion des ressources radio (RRM)

Les conditions de la gestion des ressources radio (RRM : Radio Resource Management) sont définies dans le document TS 36.133. RRM couvre les procédures et les exigences de performance qui sont utilisées pour mieux exploiter les ressources radio. Les exigences les plus basiques dans l'état inactif E-UTRAN\_RRC couvrent la sélection initiale de la cellule et les procédures de réélection des cellules comprenant celles qui appartiennent aux autres technologies d'accès. Des procédures supplémentaires sont définies dans l'état connecté E-UTRAN\_RRC relatif au handover et aux performances de mesure.

## 7 Conclusion

L'architecture protocolaire se base sur la nouvelle architecture enobB pour transmettre des données.

- Piles protocolaires reposent sur le protocole IP

## Chapitre 4

# SIMULATION

## 1 Introduction

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) est une technique (de multiplexage fréquentiel) puissante employée dans les systèmes de communications radio mobile qui souffrent de la sélectivité en fréquence due aux trajets multiples. En la combinant avec les antennes multiples (MIMO), l'OFDM est très robuste contre les retards de propagation causés par le canal radio sur les différentes composantes du signal. De plus, elle permet d'atteindre des débits de données significatifs (grande efficacité spectrale) avec un taux d'erreur binaire amélioré dans les liaisons ayant seulement une antenne aux deux extrémités (émission et réception).

Notre travail consiste à simuler un modèle de liaison de bout en bout de la couche physique dans la 3G-LTE en downlink incluant le codage/décodage du canal, les modulations en bande de base (QPSK, 16QAM, 64QAM) et l'OFDM appliquée à MIMO (dans notre simulation on a utilisé deux antennes à l'émission (eNodeB\_2/MIMO) et une antenne à la réception (Terminal mobile- SISO)).

## 2 Objectifs

L'objet de notre thème est d'étudier l'interface air dans la 3G-LTE et la simuler. Pour cela on a besoin de considérer le schéma bloc qui décrit la couche physique. On a choisi de simuler la liaison descendante (OFDM/MIMO). Pour modéliser la couche physique en downlink en LTE, on s'est basé sur des schémas blocs réalisés antérieurement pour d'autres technologies d'accès et qu'on a modifiés pour le faire correspondre à celui de LTE (en se basant sur les documents techniques décrivant les spécificités de LTE).

Notre objectif à travers cette simulation est de générer une séquence binaire aléatoire au niveau de l'eNodeB, la transmettre par l'intermédiaire de l'interface Air, et la récupérer ensuite après réception radio, au niveau du terminal mobile distant. Et comme ces données subissent des erreurs en parcourant l'interface air, un codage de canal est appliqué avant la modulation ; puis les données sont scindées en deux flux en utilisant un STBC (Space-Time

Block Encoder) en vue de subir une modulation OFDM, puis le signal sera appliqué à l'entrée du système d'antennes et rayonné à travers le canal radio MIMO-2x1. De l'autre côté de la liaison Down Link, le terminal mobile 3G-LTE récupère les données en effectuant les opérations inverses.

Pour améliorer encore plus la qualité de la liaison, on a inséré un contrôleur de débit adaptatif au niveau du récepteur qui agit sur l'ordre de modulation utilisée au niveau de l'émetteur (en passant par exemple de 64QAM à 16QAM, le débit diminue ainsi que le nombre d'erreurs).

Pour visualiser les erreurs détectées et le taux d'erreurs binaires, on a inséré un calculateur et un afficheur du taux d'erreurs binaire (BER).

### 3 Logiciel utilisé

Le logiciel que nous avons utilisé est Matlab/Simulink. Simulink est un simulateur qui permet de modéliser, simuler et analyser des systèmes dynamiques. Il permet de se poser une question au sujet d'un système, de le modéliser et de voir ce qui se produit en lui appliquant différents paramètres et en le mettant dans différentes situations.

Avec Simulink, on peut facilement établir des modèles à partir de zéro, ou modifier les modèles existants pour répondre à nos besoins. Simulink supporte les systèmes linéaires et non linéaires, modélisés en temps continu, discret ou le mélange des deux.

Des milliers de scientifiques et d'ingénieurs, dans le monde entier, utilise Simulink pour modéliser et résoudre des problèmes réels dans différentes industries telles que :

- Aérospatial et défense.
- Automobile.
- Communications.
- Electronique et traitement du signal.
- Instrumentation médical.

## 4 Simulation

### 4-1 Schéma bloc d'une liaison descendante de bout en bout de la couche physique dans LTE

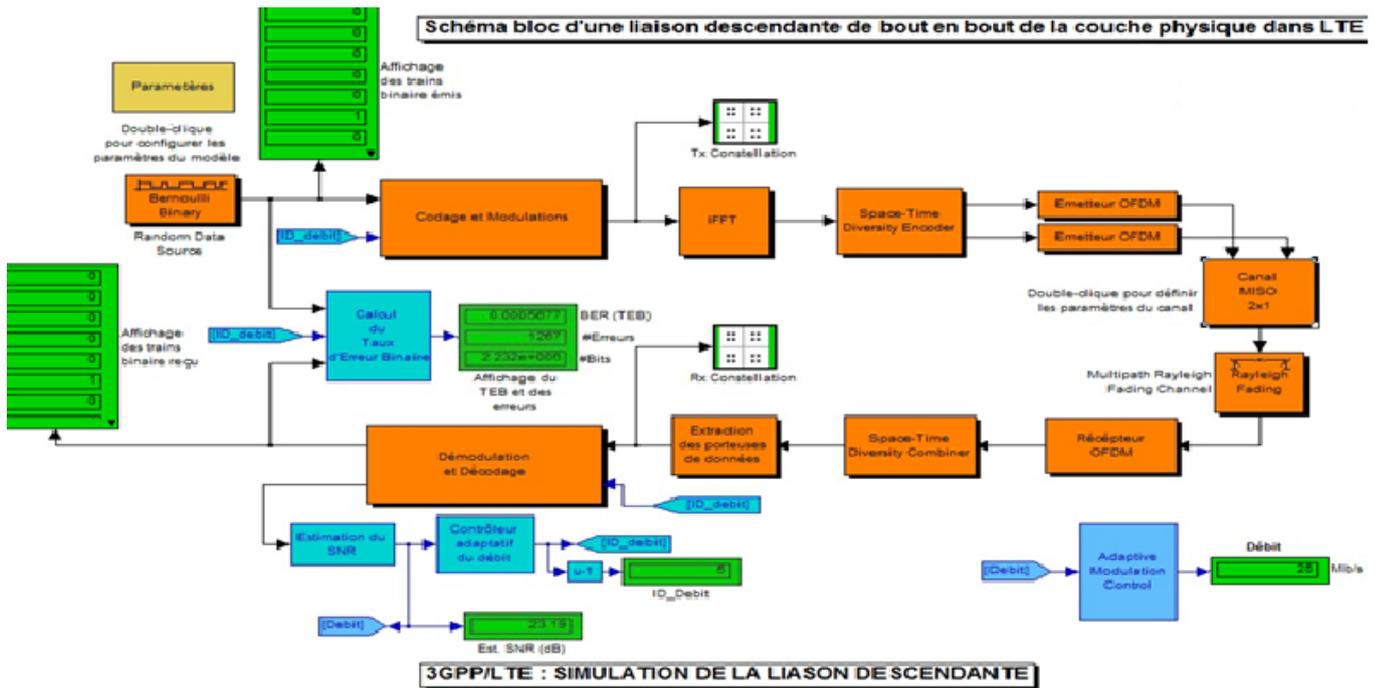


Figure (4-1)-Schéma bloc de la couche physique-

Le schéma bloc ci-dessus montre la chaîne de transmission (couche physique) d’une liaison downlink de bout en bout (à partir de l’eNodeB jusqu’au terminal mobile en passant par le canal radio).

#### 4-2 Les tâches des différents blocs

- ✓ Le bloc ‘**Bernoulli Binary**’ génère un vecteur de données binaires aléatoires.
- ✓ Le bloc ‘**Modulation et codage**’, effectue le codage du canal ainsi que le choix de la modulation à appliquer aux données (le choix s’effectue en fonction du SNR (signal sur bruit) à la réception).
- ✓ Le bloc ‘**IFFT**’, applique une transformée de Fourier rapide inverse aux symboles numériques issus du modulateur.
- ✓ Le bloc ‘**Sapce-Time Diversity Encoder**’, qui fait scinder les données en deux flux pour les transmettre à travers les deux émetteurs.
- ✓ Le bloc ‘**Emetteur OFDM**’, effectue la modulation OFDM ainsi que le rajout d’un préfixe cyclique à longueur variable.
- ✓ Le bloc ‘**Canal MISO**’, modélise des liaisons multiples indépendantes pour un système MISO 2x1.
- ✓ Le bloc ‘**Rayleigh Fading**’, modélise le canal radio.

- ✓ Le bloc '**Récepteur OFDM**', **supprime** le préfixe cyclique, effectue la transformée de Fourier Rapide (FFT), amplifie le signal puis supprime l'intervalle de garde.
- ✓ Le bloc '**Sapce-Time Diversity Combiner**', qui combine les deux flux de données issues des deux émetteurs.
- ✓ Le bloc '**Extraction des porteuses des données**', récupère les données en bande de base (mais toujours sous forme complexe).
- ✓ Le bloc '**Démodulation et Décodage**', effectue la démodulation (QPSK, 16QAM et 64QAM) ainsi que le décodage du canal.
- ✓ Le bloc '**Estimation du SNR**', permet de calculer le signal sur bruit, puis le transmet au bloc contrôleur adaptatif du débit.
- ✓ Le bloc '**contrôleur adaptatif du débit**', configure la valeur de l'ID\_débit qui est utilisée par le bloc '**Modulation et codage**' pour choisir le niveau de modulation à utiliser (soit QPSK, 16QAM ou 64QAM).
- ✓ Le bloc '**Calcul de Taux d'Erreur Binaire**', il est branché à la fois à l'émission et à la réception pour pouvoir comparer entre les bits envoyés et les bits reçus donc pouvoir calculer le taux d'erreur binaire.

### Remarque

Les sous-systèmes et les blocs sont colorés d'une manière à différencier entre leurs fonctions : les blocs colorés en orange réalisent les opérations de communication, les systèmes de contrôle et les signaux sont colorés en bleu et le vert est utilisé pour l'affichage.

### 4-3 Résultats, affichages et commentaires

Lorsqu'on lance la simulation, des fenêtres se lancent automatiquement pour afficher les données générées à différents endroits de la chaîne de transmission.

- Un afficheur est mis juste à la sortie de la source binaire aléatoire, il affiche les données envoyées sous-formes binaire.

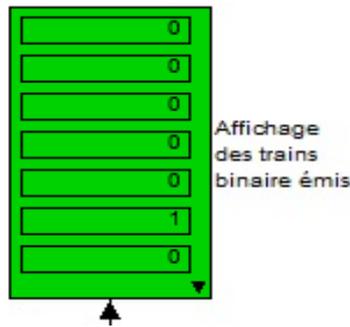


Figure (4-2)-Affichage du train binaire émis-

- Les données subissent un codage et une modulation, donc ces données sont maintenant sous-forme complexe, pour les afficher, un afficheur de constellation est placé juste après le modulateur.

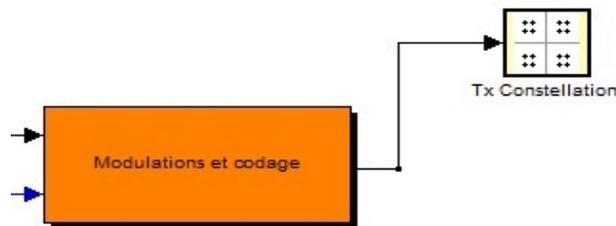


Figure (4-3) -Afficheur du signal modulé-

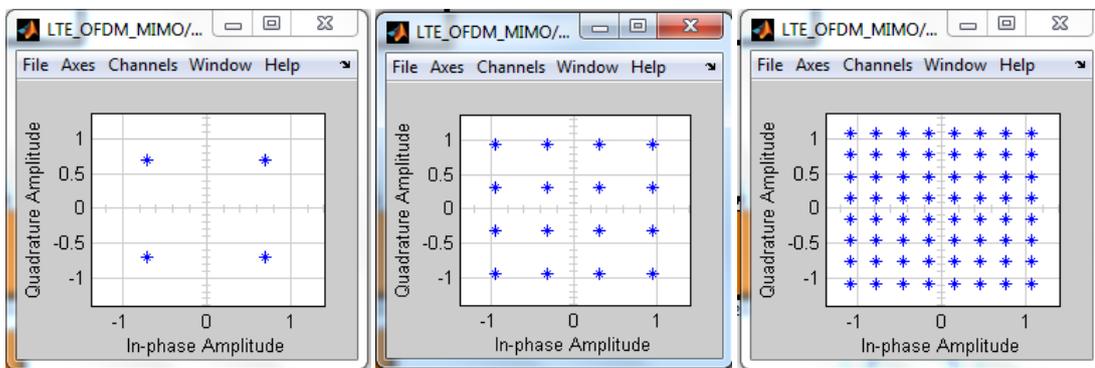
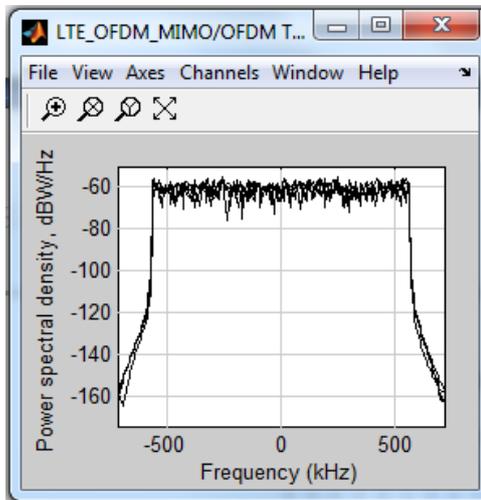


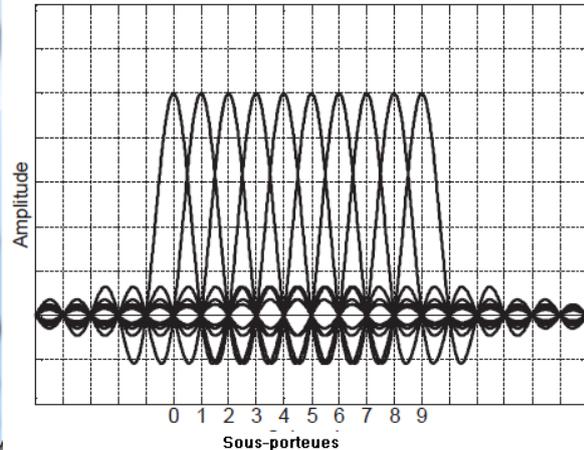
Figure (4-4)-Résultat de l'affichage : Changements de l'ordre de modulation en fonction du SNR mesuré à la réception (QPSK, 16QAM, et 64QAM)-

Ces figures affichent les symboles numériques (après modulation bande de base) sous forme de constellations en différents ordres de modulation. Dès que le SNR à la réception diminue au-dessous d'une certaine valeur, l'ordre de modulation diminue, et s'il dépasse une certaine valeur, l'ordre augmente (en passe, par exemple, de 64QAM à 16QAM, pour faire diminuer le TEB, donc, amélioration de la qualité de transmission).

- Un afficheur de spectre OFDM, placé à la sortie du bloc émetteur OFDM pour afficher le spectre OFDM.



Spectre OFDM obtenu avec Matlab.



Spectre OFDM théorique.

Figure (4-5)-Spectres OFDM théorique et celui obtenu avec Matlab-

Le principe du multiplexage en fréquence est de grouper des données numériques par paquets de  $N$ , qu'on appellera symbole OFDM et de moduler par chaque donnée une porteuse différente en même temps. La modulation OFDM consiste à répartir aléatoirement des symboles de durée  $T_s$  (temps symbole utile) sur différentes porteuses modulées en QAM ou bien en QPSK.

On remarque d'après les figures ci-dessus que les sous-porteuses adjacentes se chevauchent et malgré ce chevauchement, il n'y en a pas d'interférences grâce à l'orthogonalité (la preuve, on récupère le signal à la réception).

L'orthogonalité est la propriété fondamentale qui permet de transmettre des signaux d'informations multiples dans un même canal et de les détecter sans interférence. Donc utilisation optimale de la bande de fréquences allouée par orthogonalité des porteuses.

- Après avoir traversé le canal radio, le signal- passe d'abord par un récepteur OFDM qui lui applique une FFT puis il passe à travers Space-Time diversity Combiner qui recombine les deux flux de données, ensuite le flux obtenu passe à travers un bloc qui rend le signal en bande de base, pour l'afficher on place un afficheur de constellation (comme le montre la figure ci-dessous).

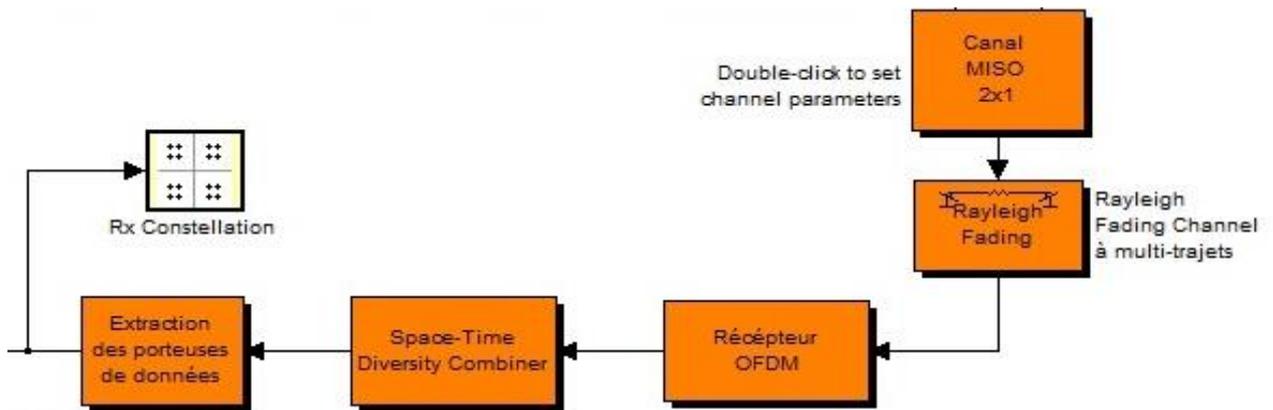


Figure (4-6)-Schéma bloc de la chaîne de réception-

Donc l’afficheur nous donne les constellations suivantes qui représentent les symboles numériques reçus au niveau du terminal mobile.

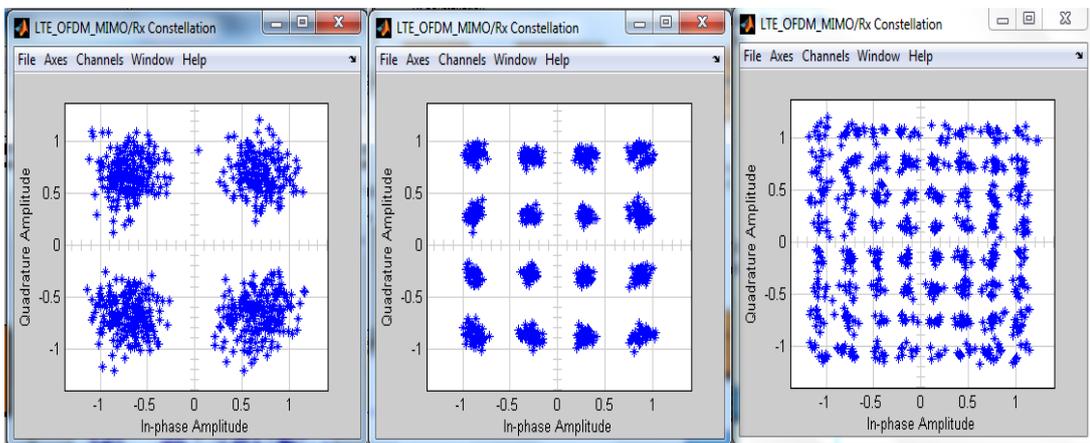


Figure (4-7) Les symboles reçus sous forme de constellations (QPSK, 16QAM et 64QAM).

En lançant la simulation, les symboles numériques reçus s’affichent sous forme de constellations ; On remarque que pour un SNR inférieur à 12dB, l’ordre de modulation choisi est QPSK (comme le montre la figure à gauche ci-dessus) ; lorsque le SNR s’améliore et dépasse 12dB, l’ordre de modulation passe automatiquement à 16QAM (comme le montre la figure au milieu ci-dessus), et pour un SNR supérieur à 19dB, l’ordre de modulation passera à 64QAM (comme le montre la figure à droite ci-dessus).

En observant la constellation de données, on constate que les données numériques (sous forme complexe) se sont décalées de la position initiale ceci est dû aux déphasages et dégradations du signal en parcourant le canal radio MIMO. Le signal

sur bruit est calculé par le bloc estimation de SNR puis sa valeur est affichée sur l’afficheur Est. SNR (dB).

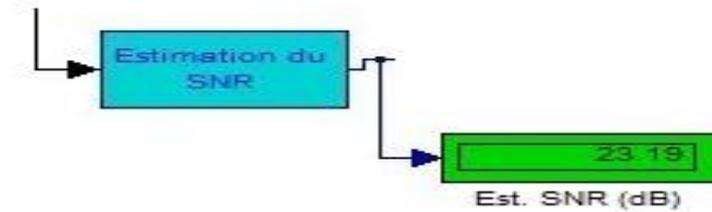


Figure (4-8)-affichage du SNR à la réception-

- Après décodage et démodulation, le signal passe à travers un calculateur qui le compare avec le signal émis, puis transmet le résultat à un afficheur qui affiche le nombre de bits reçus, le nombre d’erreurs et le taux d’erreur binaire.

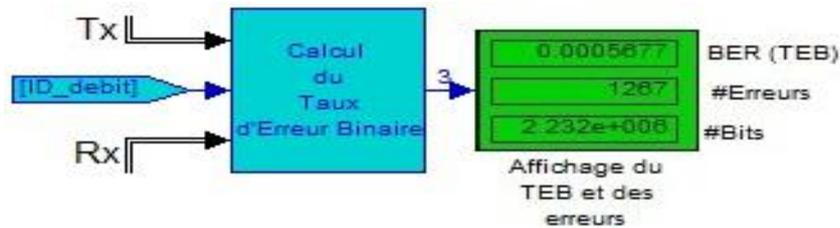


Figure (4-9)-Affichage du nombre de bits reçus, nombre d’erreurs, et du BER

On constate que le nombre d’erreurs ainsi que le BER sont directement liés au SNR ; le BER est inversement proportionnel au SNR, c.à.d. que quand le signal sur bruit est grand, le nombre d’erreurs diminue et vice versa.

- Maintenant, en fixant l’ordre de modulation en bande de base et en agissant sur le type de canal de propagation ; Rayleigh, Rice, ... (c.à.d. faire varier le SNR), on prélève pour chaque SNR un TEB et on refait l’expérience pour chaque type de modulation. On a tiré quelques résultats que nous avons représentés dans le tableau ci-dessous :

QPSK	SNR (dB)	0	5.4	12.2	17.6	22.4
	TEB	0.1353	0.0499	0.0110	0.0031	0.0011
16QAM	SNR (dB)	0	5.4	12.2	17.6	22.53
	TEB	0.1880	0.0865	0.0216	0.0063	0.0020

64QAM	SNR (dB)	0	5.4	12.2	17.6	22.78
TEB		0.2391	0.1373	0.0448	0.0140	0.0047

Tableau (4-1)- SNR en fonction du TEB pour QPSK, 16QAM et 64QAM

On trace la courbe donnant  $BER = fct(SNR)$  pour les trois types de modulation : QPSK, 16QAM et 64QAM. On a obtenu la figure ci-dessous.

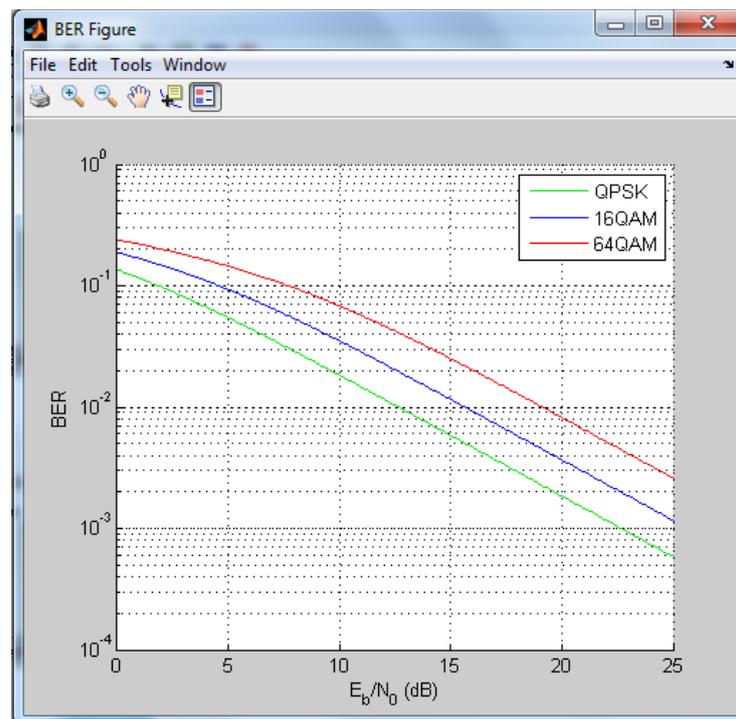


Figure (4-10)-Courbes donnant le TEB en fonction du SNR pour QPSK, 16QAM et 64QAM

La courbe en rouge représente les variations du taux d'erreur binaire BER en fonction du signal sur bruit SNR pour la modulation 64QAM.

La courbe en bleu représente les variations du taux d'erreur binaire BER en fonction du signal sur bruit SNR pour la modulation 16QAM.

La courbe en vert représente les variations du taux d'erreur binaire BER en fonction du signal sur bruit SNR pour la modulation QPSK.

A partir des trois courbes, on constate que plus le signal sur bruit augmente plus le taux d'erreur binaire diminue. On remarque également que plus l'ordre de modulation diminue le

taux d'erreur binaire diminue pour un signal (SNR) sur bruit donné On peut conclure que lorsqu'on a un canal bruité, on adapte la modulation pour avoir moins d'erreurs possibles.

## 5 Conclusion

Avant de pouvoir faire notre simulation, on devait d'abord modéliser la couche physique (une liaison downlink de bout en bout), et pour cela on s'est basé sur les définitions théoriques et les schémas de principe de fonctionnement du codage de canal, des modulations en bande de base, de la technique de modulation OFDM, des techniques d'antennes multiples et de la propagation radio. Une fois le schéma globale réalisé, on a configuré les différents blocs en se basant sur nos connaissances théoriques et sur des travaux simulink déjà réalisés pour d'autres technologies d'accès. Enfin, pour tester notre modèle, on fait une simulation où on génère un flux de données (qui peut représenter n'importe quel type de données : vidéo, téléphonie, jeux, navigation web), et notre but est de les récupérer à la réception avec le minimum de TEB possible.

Dans la simulation, on a montré l'évolution du flux de données à travers les différents sous-systèmes de la couche physique en downlink dans LTE. Les étapes à travers lesquelles passe sont comme suit : codage du canal, une modulation en bande de base (QPSK, 16QAM et 64QAM), scinder les symboles numériques en deux flux (pour attaquer les deux antennes d'émission), modulation OFDM, propagation à travers le canal radio en utilisant les techniques d'antennes multiples, puis, à la réception au niveau du terminal mobile, le signal subit les opérations inverses et à la fin le signal binaire est récupéré avec un certain TEB. Pour garder un TEB acceptable, on insère un adaptateur de modulation qui agit sur l'ordre de modulation choisit au niveau de l'émetteur, et enfin on a tracé les variations du TEB en fonction du SNR pour différents types de modulation QPSK, 16QAM et 64QAM.

On peut dire que l'adaptation de la modulation est très importante pour garder un taux d'erreur binaire acceptable et le choix d'ordre de modulation se fait d'une manière dynamique en fonction du service demandé et du débit exigé. Si le service demandé est gourmand en débit mais tolérant aux erreurs tels que la TV diffusion, la vidéo en streaming, les jeux interactifs... etc., on fixe la modulation à 64QAM. Par contre, si le service demandé n'est pas tolérant aux erreurs tels que le transfert de fichiers, la navigation web...etc., on adapte l'ordre

de modulation en fonction du SNR, c.à.d. lorsque le SNR est assez élevé (bonne qualité de réception), la modulation choisie est 64QAM, mais dès que le SNR diminue au-dessous d'un certain seuil (la qualité de réception se dégrade), l'ordre de modulation change automatiquement pour garder un TEB acceptable, et ainsi la continuité du service est assurée.

Dans le cas où le client est exigeant en demandant des débits importants sans tolérance aux erreurs, et si la qualité de la liaison se détériore, la modulation choisie est QPSK (moins d'erreurs) tout en lui allouant plus de ressources pour garder un débit élevé.

## CONCLUSION GENERALE

Avec les débits envisagés, la latence ciblée ainsi que la simplicité du système mais encore une flexibilité en terme de spectre ajoutée à un coût moindre, la technologie LTE est destinée à offrir un meilleur service à l'utilisateur, et générer plus de services à valeur ajoutée ainsi que des équipements mobiles plus sophistiqués, devenant de cette manière encore plus compétitive aux technologies sans fil (ex. WiMAX), dans les dix prochaines années.

L'évolution de l'interface Air dans LTE se caractérise par l'introduction de l'OFDMA en Downlink et du SC-FDMA en Uplink comme techniques d'accès multiples, et des antennes MIMO comme techniques d'antennes multiples qui permettent le transfert des données à plus longue portée et à plus grande vitesse. Ces « nouvelles » techniques sont introduites pour apporter des débits importants (minimum 100Mbps/s en DL et plus de 50Mbps/s en UL) et une robustesse accrue du système aussi bien sur la voie montante que descendante.

Malgré l'importance des débits atteints en DL et en UL, 3GPP vise à aller encore plus loin en ciblant un débit de 1Gbits/s et cela en exploitant une bande passante de 100Mhz avec une configuration MIMO 8x8 pour l'eNodeB et 4x4 pour l'UE, ce qui est un vrai défis que 3GPP veut relever dans le but de répondre aux exigences de la 4G que l'ITU a fixé, et ainsi son système sera appelé LTE-Advanced.

## **BIBLIOGRAPHIE**

**[1] Livre: LTE for 4G Mobile Broadband**

Air interface Technologies and Performance

Edited by Farooq Khan

**CAMBRIDGE [www.cambridge.org/9780521882217](http://www.cambridge.org/9780521882217)**

**[2] Sites internet : [www.3GPP.org](http://www.3GPP.org)**

**[www.efort.com](http://www.efort.com)**

<http://www.intel.com/design/literature.htm%20>

<http://www.eembc.org/home.php>

## Référence

- Réf.1.** 3GPP TR 25.912 V7.2.0 (2007-06) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25912.htm>
- Réf.2.** 3GPP TR 25.913 V7.3.0 (2006-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25913.htm>
- Réf.3.** “Long Term Evolution of the 3GPP radio technology”  
<http://www.3gpp.org/Highlights/LTE/LTE.htm>.
- Réf.4.** 3GPP TR 23.882 V1.15.0 (2008-02) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23882.htm>
- Réf.5.** 3GPP TS 36.300 V8.4.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36300.htm>
- Réf.6.** 3GPP TS 36.101 V8.1.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36101.htm>
- Réf.7.** 3GPP TS 36.104 V8.1.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36104.htm>
- Réf.8.** 3GPP TS 36.306 V8.1.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36306.htm>
- Réf.9.** 3GPP TS 25.892 V6.0.0 (2004-06) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25892.htm>
- Réf.10.** 3GPP TS 36.211 V8.2.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36211.htm>
- Réf.11.** 3GPP TS 36.201 V8.1.0 (2007-11) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36201.htm>
- Réf.12.** 3GPP TS 36.212 V8.2.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36212.htm>
- Réf.13.** 3GPP TS 36.213 V8.2.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36213.htm>
- Réf.14.** 3GPP TS 36.214 V8.2.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36214.htm>
- Réf.15.** 3GPP TS 36.133 V8.1.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36133.htm>
- Réf.16.** 3GPP TS 36.141 V0.3.0 (2008-04) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36141.htm>
- Réf.17.** 3GPP TS 36.331 V8.1.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36331.htm>
- Réf.18.** 3GPP TS 36.321 V8.1.0 (2008-03) <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36321.htm>
- Réf.19.** 3GPP TS 36.521-1 V0.0.7 is currently unpublished but available at  
[ftp://ftp.3gpp.org/tsg\\_ran/WG5\\_Test\\_ex-T1/Working\\_documents/36\\_521-1/latest/](ftp://ftp.3gpp.org/tsg_ran/WG5_Test_ex-T1/Working_documents/36_521-1/latest/)  
Once published it will be found at <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36521-1.htm>