



Université Cadi Ayyad  
Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Safi  
Département Informatique, Réseaux et Télécommunications (IRT)

Génie Réseaux et Télécommunication

# Rapport d'avancement 1 : La nouvelle génération LTE (4G)

**NOKIA**

Réalisé Par :

**Boualamat Nadia**

Effectué à :

**Nokia - Salé**

Encadré à l'ENSAS par :

**Prof. BENRAMDAN Loubna**

Encadré à Nokia par :

**M. BENOMAR Rachid**

# Liste des figures

**Figure 1 :** L'Architecture GSM

**Figure 2 :** L'architecture GPRS

**Figure 3 :** L'architecture UMTS

**Figure 4 :** Différents Releases 3GPP

**Figure 5 :** l'architecture de réseau 4G

**Figure 6 :** les modes de duplexage FDD/TDD

**Figure 7 :** La structure de la trame FDD

**Figure 8:** La structure de la trame TDD

**Figure 9 :** Grille de ressources temps fréquence  
en voie montante et descendante

**Figure 10:** Allocation des blocs de ressources

**Figure 11 :** L'architecture protocolaire de l'interface radio

**Figure 12 :** Interactions entre les couches L1, L2 et L3

**Figure 13 :** La forme du signal OFDM

**Figure 14 :** La transmission OFDM à régime étroit

**Figure 15 :** Le phénomène du multi trajets

**Figure 16 :** Préfixe cyclique CP pour l'ISI

**Figure 17 :** La transmission OFDMA et SC-FDMA

**Figure 18 :** les types des canaux LTE

# Liste des tableaux

**Tableau 1 :** Caractéristiques et inconvénients de 1G

**Tableau 2 :** Caractéristiques et inconvénients 2G

**Tableau 3 :** Comparaison GSM et GPRS

**Tableau 4 :** Caractéristiques et inconvénients 3G

**Tableau 5 :** Comparaison des débits 1G/2G/3G/4G

**Tableau 6 :** Largeur de bande du système en nombre de PRB

# Liste d'abréviations

## A

AMPS : Advanced Mobile Phone System  
ARIB : Association of Radio Industries and Business  
ATIS : Alliance for Telecommunications Industry Solutions

## B

BCCH : Broadcast Control CHannel  
BTS : Base Transceiver Station  
BSC : Base Station Controller

## C

CWTS : China Wireless Telecommunication Standard Group  
CDMA : Code Division Multiple Access  
CP: Cyclic Prefix  
CCCH : Common Control CHannel  
CH : Broadcast CHannel

## D

DLC : Data Link Control  
DFT : Discret Fourier Transform  
DCCH : Dedicated Control CHannel  
DTCH : Dedicated Traffic CHannel  
DL-SCH : DownLink Shared CHannel

## E

EDGE: Enhanced Data rates for Gsm Evolutions  
ETSI : European Telecommunications Standards Institute  
E-UTRAN:Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network  
eMBMS : enhanced Multimedia Broadcast/Multicast Service  
EMM : EPS Mobility Management  
ESM : EPS Session Management

## F

FM : Frequency modulation  
FDMA: Frequency Division Multiple Access  
FDD: Frequency Division Duplex

## G

GSM: Global System for Mobile Communication  
GPR : General Packet Radio Service  
GGSN: Gateway GPRS Support Node  
3GPP: 3rd Generation Partnership Project  
GBR : Guaranteed Bit Rate  
GP : Guard Period  
GI : Guard interval

## H

HLR : Home Location Register  
HSPA : High Speed Packet Access  
Le HSPA+ : High Speed Packet Access+  
HSDPA : High Speed Downlink Packet Access  
HSUPA : High Speed Uplink Packet Access  
HSS : Home Subscriber Server  
HARQ : Hybrid Automatic Repeat Request

## I

IP : Internet Protocol  
IPv4 : Internet Protocol version 4  
IPv6 : Internet Protocol version 6  
ISI : Inter Symbol Interference  
ICI : Inter Carrier Interference

## M

MSC : Mobile Switching Center  
MME : Mobility Management Entity  
MAC : Medium Access Control

## N

NTT : Nippon Telephone and Telegraph  
NMT: Nordic Mobile Telephone  
non-GBR: non-Guaranteed Bit Rate

## O

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplex  
OFDMA:Orthogonal Division Multiple Access  
OSI : Open Systems Interconnection

## P

PDC: Personal Digital Cellular,  
PCG : Project Coordination Group

PS : Packet Switched  
PDN GW : Packet Data Network Gateway  
PCRF: Policy and Charging Rules Function  
PRB : Physical Ressource Block  
PDCP : Packet Data Compression Protocol  
PDU: Protocol Data Unit  
PAPR : Peak-to-Average Power Ratio  
PCCH : Paging Control Channel  
PCH : Paging CHannel  
PDSCH : Physical Downlink Shared Channel  
PBCH : Physical Broadcast Channel  
PCFICH : Physical Control Format Indicator Channel  
PDCCH : Physical Downlink Control Channel  
PHICH : Physical Hybrid ARQ Indicator Channel  
PUSCH : Physical Uplink Shared Channel  
PUCCH : Physical Uplink Control Channel  
PRACH : Physical Radom Access Channel

## Q

QoS: Quality of Service  
QPSK: Quadrature phase-shift keying  
QAM: quadrature amplitude modulation

## R

RNC: Radio Network Controller  
RLC : Radio Link Control).  
RRC: Radio Resource Control  
RACH : Random Access Channel

## S

SMS : Short Message Service  
SGSN: Serving GPRS Support Node  
SC-FDMA: Single-Carrier Frequency Division Multiple Access  
S-GW : Serving Gateway  
SDU : Service Data Unit

## T

TTI : Transmission Time Interval  
TTC : Telecommunication Technology Comittee  
TSG: Technical Specification Groups  
TDD: Time Division Duplex  
TDMA : Time Division Multiple Access

TACS: Total Access Communication System

## U

UMTS: Universal Mobile Telecom System

USIM: Universal Subscriber Identity Module

UE : User Equipment

USIM : Universal Subscriber Identity Module

# Sommaire

## Table des matières

Introduction .....	1
I. L'évolution des réseaux mobiles.....	2
1. Système de communication mobile de première génération 1G .....	2
2. Système de communication GSM de deuxième génération 2G .....	2
3. Système de communication GPRS de génération 2.5G .....	4
4. Système de communication EDGE de génération 2.75G .....	4
5. Système de communication UMTS de troisième génération 3G .....	5
6. Système de communication HSDPA et HSDPA+ de génération 3.5G et 3.75G .....	6
7. Système de communication LTE de quatrième génération 4G.....	7
a. Les motivations pour l'introduction du LTE.....	7
b. Processus de normalisation du LTE .....	8
c. Les principales caractéristiques définissent par 3GPP pour le LTE:.....	9
II. L'architecture de Réseau LTE: .....	11
1. Eléments de réseau LTE.....	12
a. Le terminal UE .....	12
b. E-UTRAN .....	12
c. Le réseau EPC .....	12
• MME .....	13
• S-GW.....	13
• PDN GW .....	13
• HSS.....	13
• PCRF .....	13
III. L'interface radio du LTE.....	15
1. Les modes de duplexage .....	15
2. Structure de trame de l'interface radio .....	16
3. La dimension fréquentielle en LTE .....	16
4. L'architecture protocolaire de l'interface radio .....	18
a. La couche physique .....	19
a. Sous-couche PDCP.....	19
b. Sous-couche RLC.....	20
c. Sous-couche MAC .....	20
d. La couche RRC .....	20
5. OFDMA en liaison descendante FDD /TDD .....	21



a.	Principales caractéristiques de l'OFDM.....	22
b.	Principaux Avantages de l'OFDM .....	22
c.	Principale inconvénient de l'OFDM .....	23
6.	LTE SC-FDMA sur la liaison montante .....	24
a.	Les principes de SC-FDMA .....	24
IV.	Types du canal e LTE.....	25
1.	Les canaux logiques.....	25
2.	Les canaux de transport .....	26
3.	Les canaux physiques .....	26
	Conclusion.....	28
	WEBographie .....	29

# Introduction

Le besoin d'avoir accès au service téléphonique lors des déplacements a donné naissance à la téléphonie mobile qui elle-même a évolué de manière spectaculaire. En un temps record, la téléphonie mobile ou téléphonie cellulaire est passée de la première génération (1G) à la quatrième génération (4G), chaque technologie cherche à atteindre un certain type de client avec des besoins spécifiques. L'avantage d'avoir une telle diversité est que l'utilisateur a plusieurs choix du point de vue d'accès Internet, de la bande passante et de la couverture.

Les réseaux de quatrième génération (4G) représentent l'évolution des communications mobile et sont basés sur l'infrastructure existante, sur l'interconnexion des réseaux déjà déployés, ce pas évolutif semble assez naturel dans les conditions où les opérateurs ont investi beaucoup dans les réseaux de troisième génération.

Toutes les connexions de l'utilisateur avec ce réseau doivent se passer sans interruption, sans dégradation de service quand l'utilisateur change d'un réseau à un autre. La génération de réseaux mobile dite de quatrième génération (4G) est un tournant dans l'amélioration des solutions existantes. L'objectif cette fois sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux.

Dans ce rapport, premièrement on va présenter les différentes générations des réseaux mobiles, puis on va traiter d'une manière détaillée la nouvelle génération 4G pour bien comprendre son fonctionnement.

# I. L'évolution des réseaux mobiles

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateurs pouvant être supportés.

## 1. Système de communication mobile de première génération 1G

La première génération de réseau mobile a été déployée au Japon par la société NTT à Tokyo en 1979.

Les systèmes 1G les plus populaire au cours des années 1980 :

- AMPS aux États-Unis ;
- TACS au Japon et au Royaume-Uni ;
- NMT dans les pays scandinaves ;
- Radiocom2000 en France ;
- C-NETZ en Allemagne.

### Caractéristiques et inconvénients de 1G

Principales caractéristiques	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Technologie : commutation analogique</li><li>✗ Modulation : Modulation de fréquence (FM)</li><li>✗ Mode de service : voix seulement</li><li>✗ Technique d'accès : Accès multiple par division de fréquence (FDMA)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Mauvaise qualité de voix due aux interférences</li><li>✗ Vie de la batterie faible</li><li>✗ Téléphones mobiles de grande taille (pas pratique à transporter)</li><li>✗ Moins de sécurité (les appels peuvent être décodés à l'aide d'un démodulateur FM)</li><li>✗ Nombre limité d'utilisateurs et couverture cellulaire</li><li>✗ L'itinérance n'était pas possible entre des systèmes similaires</li></ul>

Tableau 1 : Caractéristiques et inconvénients de 1G

## 2. Système de communication GSM de deuxième génération 2G

La deuxième génération de réseaux mobiles est elle aussi marquée par le nombre de systèmes ayant été définis et déployés à travers le monde.

On retrouve le GSM en Europe, le PDC au Japon et l'IS-95 aux États-Unis. Ces systèmes, dans leurs versions initiales, donnaient accès au service voix en mobilité, mais aussi aux messages textes courts plus connus sous le nom de SMS.

De ces trois systèmes, le GSM est celui qui a rencontré le plus large succès. Il fut déployé dans un grand nombre de pays, permettant l'itinérance entre ces derniers.

### L'Architecture GSM :

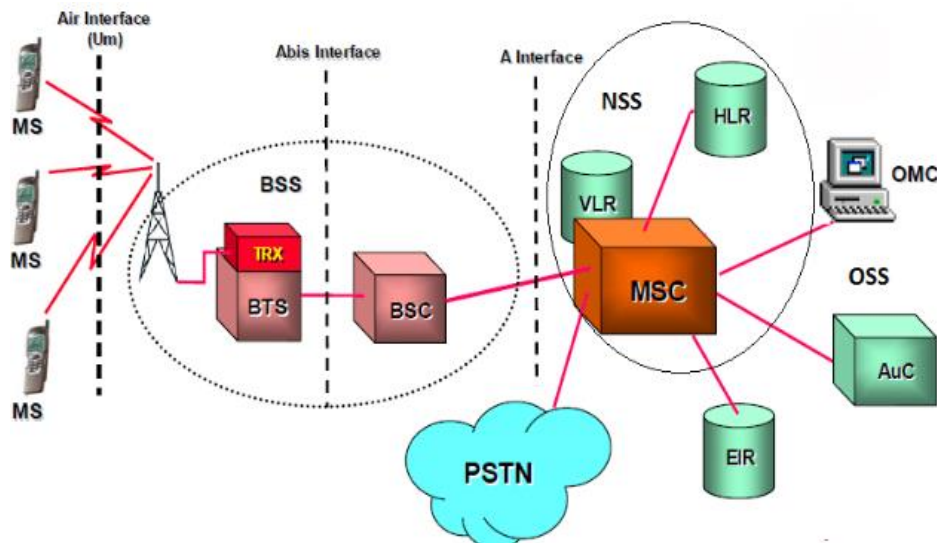


Figure 1 : L'Architecture GSM

### Les équipements d'un réseau GSM

- ✗ La station de BTS : Assure la réception des appels entrant et sortant des équipements mobiles.
- ✗ Le contrôleur de base BSC: Assure le contrôle des stations de bases.
- ✗ Commutateurs de service mobile MSC: Assure la commutation dans le réseau.
- ✗ Registre des abonnés locaux HLR : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des abonnés.
- ✗ Centre d'authenticité AuC: Assure l'authentification des terminaux du réseau
- ✗ Registre des abonnés visiteurs VLR : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.

### Caractéristiques et inconvénients 2G

Principales caractéristiques	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Les services SMS sont possibles</li> <li>✗ Itinérance est possible</li> <li>✗ une répartition en fréquences FDMA entre les cellules, combinée à une répartition en temps sur la cellule appelée TDMA</li> <li>✗ une réduction drastique de la taille des terminaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Faible débit de données</li> <li>✗ Mobilité réduite</li> <li>✗ Moins de fonctionnalités sur les appareils mobiles</li> <li>✗ Nombre limité d'utilisateurs et capacité matérielle</li> </ul>

Tableau 2 : Caractéristiques et inconvénients 2G

### 3. Système de communication GPRS de génération 2.5G

Le GPRS peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM dont le but est d'offrir un service de transfert de données en mode paquet.

#### GPRS vs GSM

GPRS	GSM
✗ Support des deux commutations de circuit et de paquet.	✗ commutation de circuit uniquement.
✗ MS utilise des retransmissions automatiques (ARQ) pour retransmettre les trames erronées.	✗ Pas de retransmission sur les MS
✗ Multiple période du temps peuvent être affectés à un usager.	✗ Période unique par usager
✗ Période unique peut être alloué à plusieurs usagers.	✗ Période unique par usager
✗ Facturation complexe (basée sur le volume, la QoS)	✗ Facturation simple basée sur la durée

Tableau 3 : Comparaison GSM et GPRS

#### Architecture GPRS :

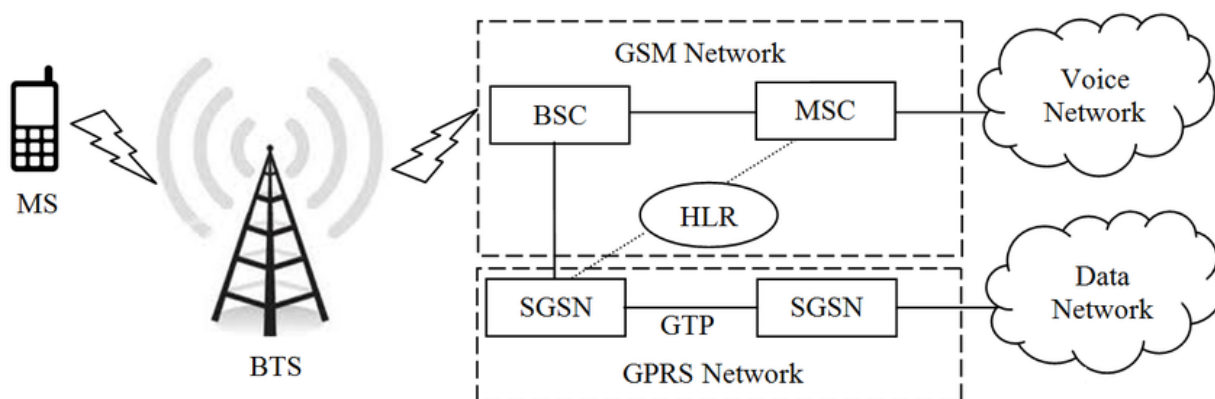


Figure 2 : l'architecture GPRS

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant.

L'introduction de la mobilité (commutation de paquet et de circuit) nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités par rapport au GSM :

- Le nœud de service SGSN : connexion avec la station de base, semblable au MSC.
- Le nœud de passerelle le GGSN : connexion avec les réseaux de type paquet.

### 4. Système de communication EDGE de génération 2.75G

La prochaine avancée dans la technologie d'accès radio GSM est EDGE (débits de données améliorés pour l'évolution globale) ou GRPS amélioré.

Grâce à une nouvelle technique de modulation multipliant par trois le débit (8PSK) et à un nouveau codage de canal pour l'efficacité spectrale, EDGE a été introduit avec succès sans perturber les plans de réutilisation de fréquence des déploiements GSM existants.

Le déploiement de L'EDGE nécessite :

- La mise à jour du BSC et de la BTS.
- L'ajout d'un émetteur-récepteur au niveau de la BTS, capable de supporter la modulation 8-PSK

## 5. Système de communication UMTS de troisième génération 3G

- La 3G est caractérisée par la volonté de définir une norme au niveau mondial.

Les enjeux étaient d'offrir une itinérance globale aux utilisateurs, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau.

Dans cette perspective, les entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupées au sein d'un consortium appelé 3GPP (décrit plus tard). Cette démarche aboutit à l'élaboration de la norme UMTS à la fin des années 1990. Cette première version de la norme est appelée Release 99.

Les objectifs de l'UMTS étaient d'accroître la capacité du système pour le service voix mais surtout d'améliorer le support des services de données.

### Architecture UMTS

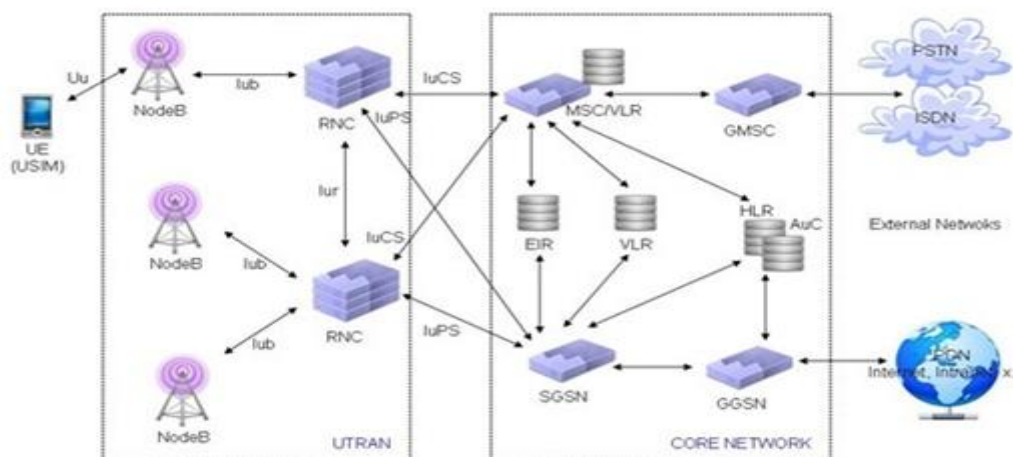


Figure 3: l'architecture de l'UMTS

Les équipements d'un réseau UMTS :

- **Le « Node B »** est un ensemble de stations de base (BS).
- **Le RNC** est un contrôleur de Node B et est encore ici l'équivalent du BSC dans le réseau GSM.
- **La carte USIM** assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications.
- **Le mobile UE.**

## Caractéristiques et inconvénients 3G

Principales caractéristiques	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Débit de données supérieur</li><li>✗ Appel vidéo.</li><li>✗ Sécurité renforcée, plus grand nombre d'utilisateurs et plus de couverture</li><li>✗ Prise en charge d'applications mobiles</li><li>✗ Support de message multimédia</li><li>✗ Meilleure navigation sur le Web</li><li>✗ TV en streaming</li><li>✗ Jeux 3D de haute qualité</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Licences de spectre coûteuses</li><li>✗ Infrastructure, équipements et mise en œuvre coûteux</li><li>✗ Besoins de bande passante plus élevés pour prendre en charge un débit de données plus élevé</li><li>✗ Appareils mobiles coûteux</li><li>✗ Compatibilité avec les systèmes 2G et les bandes de fréquences de l'ancienne génération</li></ul>

Tableau 4 : Caractéristiques et inconvénients 3G

L'UMTS connaît deux évolutions majeures :

- Le HSPA
- Le HSPA+

## 6. Système de communication HSDPA et HSDPA+ de génération 3.5G et 3.75G

### Les évolutions HSPA

Rapidement, la volonté apparut d'effacer les limites de la Release 99(UMTS) en matière de débits. Les évolutions HSPA furent introduites :

- ✗ HSDPA pour la voie descendante.
- ✗ HSUPA pour la voie montante.

Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système.

### Les évolutions HSPA+

Dans certains pays tels que le Japon et les États-Unis, la technologie UMTS et ses évolutions HSPA ont cependant commencé à montrer leurs limites en termes de capacité.

- Deux pistes ont été suivies par le 3GPP:
  - La définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ; un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :
    - les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système.
    - la gestion des utilisateurs always-on.
  - La définition du LTE.

## **7. Système de communication LTE de quatrième génération 4G**

Les systèmes 4G sont une version améliorée des réseaux 3G développés par IEEE, offrent un débit de données supérieur et sont capables de gérer des services multimédias plus avancés.

### **a. Les motivations pour l'introduction du LTE**

#### **La capacité:**

Le progrès technologique des réseaux encourage de nouveaux types d'usages ce qui mène à une utilisation plus intensive des réseaux.

- Fin 2004, date à laquelle le LTE a été pour la première fois discuté au 3GPP, les prévisions de trafic indiquaient déjà clairement que les besoins de capacité augmenteraient significativement.

#### **Les débits**

Il était ainsi également clair dès 2004 que le LTE devrait fournir de très hauts débits.

- L'attente des opérateurs de fournir des débits supérieurs à ceux offerts par les réseaux HSPA s'est donc confirmée au cours du temps, et est aujourd'hui un des motifs de déploiement du LTE

#### **La latence**

L'UMTS et ses évolutions HSPA offrent une latence du plan usager supérieure à 70 ms, valeur trop importante pour offrir des services tels que les jeux vidéo en ligne.

- L'amélioration de la latence est un des éléments ayant concouru à la décision de définir un nouveau système.

#### **L'adaptation au spectre disponible**

La technologie UMTS contraint les opérateurs à utiliser des canaux de 5 MHz. Cette limitation est pénalisante à deux titres.

- Les allocations spectrales dont la largeur est inférieure à 5 MHz ne peuvent pas être utilisées, ce qui limite le spectre disponible.
- En cas de disponibilité de plusieurs bandes spectrales de largeur de 5 MHz, un opérateur est dans l'incapacité d'allouer simultanément plusieurs porteuses à un même UE. Cette contrainte limite le débit maximal potentiel du système ainsi que la flexibilité de l'allocation des ressources spectrales aux utilisateurs
- Un consensus s'est ainsi imposé sur le besoin d'un système dit agile en fréquence, capable de s'adapter à des allocations spectrales variées. Cette agilité est un objectif de conception fort du LTE.

#### **L'émergence de l'OFDM**

l'OFDM offre plusieurs avantages pour des systèmes radio mobiles à titre d'exemple, il bénéficie d'une grande immunité contre l'interférence entre symboles créée par les réflexions du signal sur les objets de l'environnement et permet de gérer simplement des largeurs de bande variables et potentiellement grandes, ce qui, comme nous l'avons vu à la section précédente, était une motivation de l'introduction du LTE.



- Pour ces raisons, il fut décidé de baser le LTE sur l'OFDM. Les progrès scientifiques ont donc également eu leur importance dans la décision prise par le 3GPP de définir un système de nouvelle génération.

### **La simplicité d'exploitation du réseau**

L'exploitation d'un réseau mobile est très coûteuse pour les opérateurs. Elle implique tout d'abord le déploiement de stations de base. Elle nécessite aussi une configuration initiale des paramètres des équipements installés. Ces tâches de configuration sont récurrentes et fastidieuses, et peuvent faire l'objet d'erreurs qui dégradent la qualité de service offerte aux utilisateurs.

De nombreux travaux scientifiques ont démontré la possibilité d'automatiser certaines de ces tâches, réduisant de manière significative les coûts d'exploitation des réseaux.

- L'intégration de fonctionnalités simplifiant l'exploitation des réseaux est par conséquent une demande forte des opérateurs que seule une nouvelle génération de systèmes pouvait satisfaire.

## **b. Processus de normalisation du LTE**

### **Présentation du 3GPP**

Le 3GPP est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI. Le 3GPP a pour objectif de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents.



Le champ d'activités du 3GPP ne se limite pas à la normalisation de systèmes 3G. Son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes :

GSM/GPRS/EDGE ; UMTS (FDD et TDD) ; LTE.

Le 3GPP est composé d'un groupe de coordination appelé PCG et de différents groupes de spécifications techniques appelés TSG.

Il convient d'indiquer que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel. Il définit des spécifications techniques qui sont par la suite approuvées et publiées par des organismes de normalisation régionaux, propres à un pays ou une région du monde. On peut citer six organismes de normalisation principaux qui travaillent à la publication de ces normes :

- ARIB et TTC pour le Japon ;
- ATIS pour les États-Unis ;
- CWTS pour la Chine ;
- ETSI pour l'Europe ;
- TTA pour la Corée du Sud.

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une Release.

Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini plusieurs Releases :

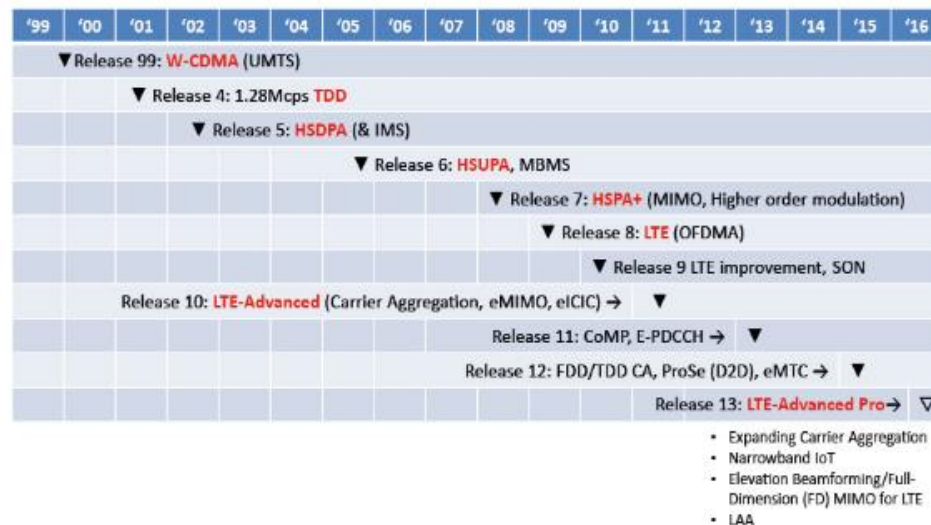


Figure 4 : Différents Releases 3GPP

### c. Les principales caractéristiques définissent par 3GPP pour le LTE:

La première étape des travaux de normalisation du LTE consista à définir les exigences que ce dernier devait satisfaire en tenant compte toujours que :

- l'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence.

#### La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés

Le système doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule.

Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures. Un nombre largement supérieur d'utilisateurs devra être possible à l'état de veille.

#### L'efficacité spectrale cellulaire

En sens descendant, l'efficacité spectrale doit être trois à quatre fois supérieure à celle offerte par le HSPA Release 6 au sein d'un réseau chargé, et deux à trois fois supérieure en sens montant.

#### Les débits

Les exigences pour la technologie LTE ont porté également sur des gains de débit en comparaison avec le HSPA. Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants:

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- deux antennes en réception.
- une antenne en émission.

### **La latence**

La latence d'un système est la mesure du délai introduit par ce système. On distingue deux types de latence :

- la latence du plan de contrôle ;
- la latence du plan usager.

La latence du plan de contrôle représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service. La latence du plan usager représente le délai de transmission d'un paquet au sein du réseau une fois la connexion établie.

De manière générale, la latence traduit donc la capacité du système à traiter rapidement des demandes d'utilisateurs ou de services.

- Latence du plan de contrôle

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

- Latence du plan usager

La latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

### **L'agilité en fréquence**

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées.

Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant. Notons que le débit crête est proportionnel à la largeur de bande. Les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

### **La mobilité**

Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 500 km/h en fonction de la bande de fréquences).

Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intrasystème (procédure de mobilité entre deux cellules LTE), le LTE doit aussi coexister avec les autres technologies 3GPP.

Pour ce faire, les exigences suivantes ont été définies :

- L'UE qui met en œuvre les technologies GSM et UMTS en complément du LTE doit être capable d'effectuer les handovers en provenance et à destination des systèmes GSM et UMTS.

- Le temps d'interruption de service lors d'une procédure de handover entre le système LTE et les systèmes GSM ou UMTS doit rester inférieur à 300 ms pour les services temps-réel et inférieur à 500 ms pour les autres services.

### La qualité de service

Le LTE a été conçu pour distinguer les services nécessitant un débit garanti ou GBR, des services ne requérant pas de débit garanti (non-GBR).

### Architecture « tout IP »

Il y a une partie significative du travail de 3GPP pour convertir l'architecture réseau du cœur vers une architecture tout IP qui est envisagée pour simplifier l'interfonctionnement avec les réseaux filaires et les réseaux sans fils non-3GPP.

### Amélioration de l'interface radio

LTE utilise l'OFDMA pour le sens descendant et SC-FDMA pour le sens montant, en combinaison avec de nouvelles technologies d'antenne telles que MIMO.

Comparaison de débit théorique/réel de différentes générations :

Standard	Génération	Bande de fréquence	Débit	
<u>GSM</u>	2G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de faible volume.	9,6 kpbs	9,6 kpbs
GPRS	2.5G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de volume modéré.	21,4-171,2 kpbs	48 kpbs
EDGE	2.75G	Permet le transferts simultanés de voix et de données numériques.	43,2-345,6 kpbs	171 kpbs
UMTS	3G	Permet le transferts simultanés de voix et de données numériques à haut débit.	0,144-2 Mbps	384 Kbps
LTE	4G	Permet le transferts simultanés de voix et de données numériques à haut débit.	10-300 Mbps	5-75 Mbps

Tableau 5 : Comparaison des débits 1G/2G/3G/4G

## II. L'architecture de Réseau LTE:

Interface radio

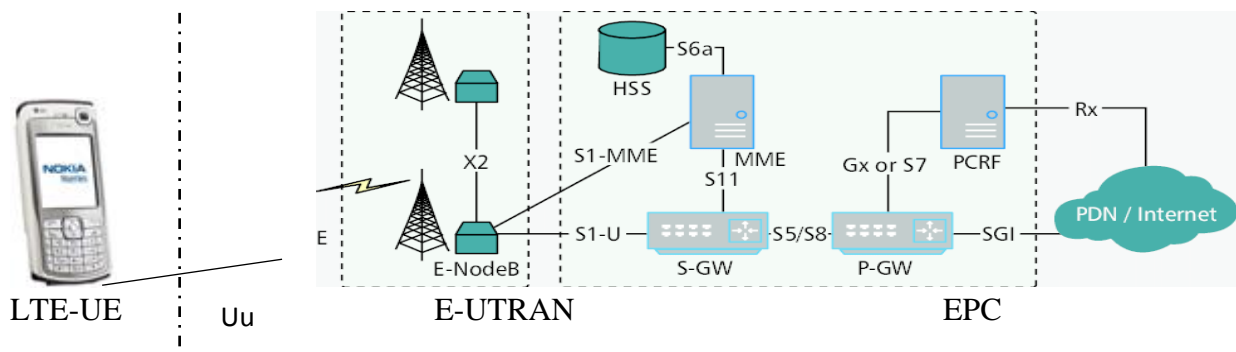


Figure 5 : l'architecture de réseau 4G

## 1. Eléments de réseau LTE

L'architecture réseau de haut niveau de LTE comprend les trois composants principaux suivants:

- ✗ L'équipement utilisateur UE.
- ✗ Le réseau d'accès radio terrestre UMTS évolué E-UTRAN.
- ✗ Le noyau de paquet évolué EPC.

### a. Le terminal UE

Pour fonctionner il doit être muni d'une carte SIM.

- la carte SIM contient les données d'abonnement (ex : identité d'abonnement unique au monde).
- Pour les mobiles 3G/4G, la carte s'appelle précisément USIM.

### b. E-UTRAN

Le réseau E-UTRAN gère les communications radio entre le mobile et le cœur du paquet évolué et ne comporte qu'un seul composant, les stations de base évoluées, appelées eNodeB ou eNB.

Station de base : ensemble d'émetteurs-récepteurs placé en un lieu et munie d'antennes.

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 Node B et RNC, l'architecture EUTRAN ne présente que des eNodeB.

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
- ✗ S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.
- ✗ Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNodeBs adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover).

La figure 5 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).

### c. Le réseau EPC

#### Principales caractéristiques

#### 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) et de commutation de paquet (PS) 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 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 défaut bearer (tunnel) 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.

## **EPC supporte le filtrage de paquet et une taxation évoluée**

En effet la LTE fournit des mécanismes de taxation très sophistiqués permettant de taxer le service accédé par le client sur la base du volume, de la session, de la durée, de l'événement, du contenu, etc.

## **Les Composants du réseau cœur EPC**

- MME
- S-GW
- PDN GW
- HSS
- PCRF

**MME:** Le MME traite du plan de contrôle. Il gère la signalisation liée à la mobilité et à la sécurité pour l'accès E-UTRAN pour une zone précise.

Les fonctions de l'entité MME incluent:

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

**Authentification :** le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.

**Joignabilité de l'UE dans l'état 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 S-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 S-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.

**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 le default bearer et dedicated bearer nécessaires pour la prise en charge de ses communications.

**S-GW** : est le point d'interconnexion entre le côté radio et l'EPC.

Les fonctions de l'entité Serving GW incluent :

**Point d'ancrage pour le handover inter-eNodeB** : lors d'un handover inter-eNode, 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.

**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.

**Entité PDN GW** : Le PDN GW est le point d'interconnexion entre l'EPC et les réseaux IP externes.

Les fonctions de l'entité PDN GW incluent :

**Interface vers les réseaux externes** : 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.

**Marquage des paquets** dans les sens montant et descendant.

**Taxation des flux de service montants et descendants** (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).

**Entité HSS** : base de données, évolution du HLR de la 3G. Elle contient les informations de souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE

**Entité PCRF** : fournit les règles de la taxation.



### III. L'interface radio du LTE

#### 1. Les modes de duplexage

Le duplexage définit la manière dont sont séparées les transmissions sur la voie descendante et sur la voie montante. La voie descendante(DL), correspond à la transmission de la station de base vers l'UE. La voie montante(UL), correspond à la transmission de l'UE vers la station de base. Il existe deux principaux modes de duplexage, tous deux gérés par l'interface radio du LTE:

- le duplexage en fréquence (FDD)
- le duplexage en temps (TDD)

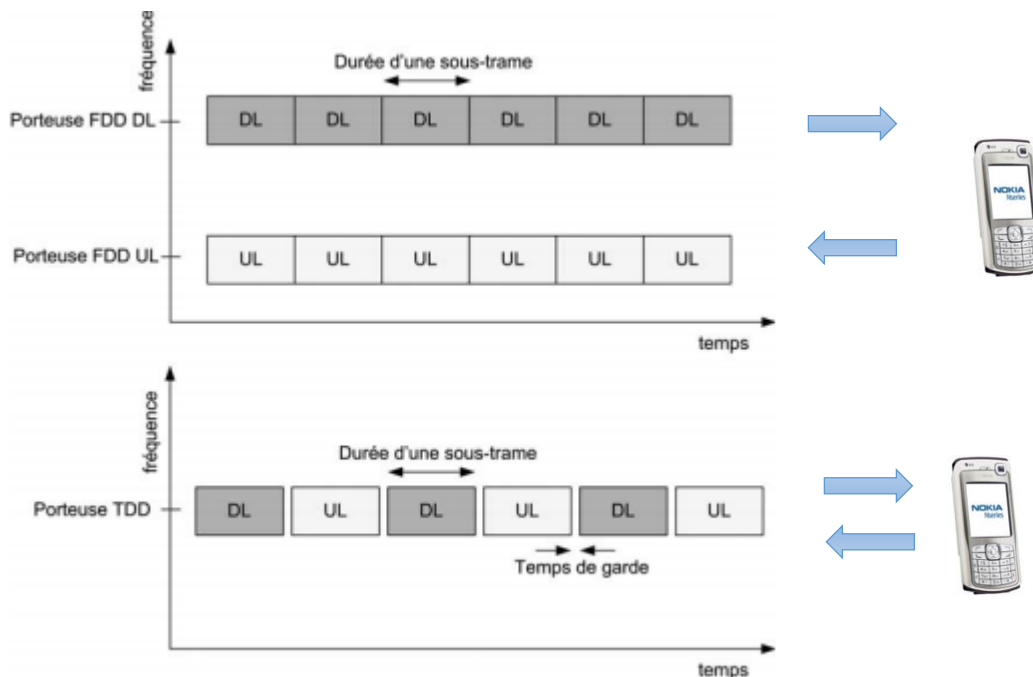


Figure 6 : les modes de duplexage FDD/TDD

Les différences entre TDD LTE (TD-LTE) et FDD LTE :

- Le TD-LTE ne nécessite pas de spectre apparié car l'émission et la réception ont lieu dans le même canal. En FD-LTE, il faut un spectre apparié avec différentes fréquences et une bande de garde. la bande passante en TDD/FDD est variable en LTE allant jusqu'à 20MHz en DL et UL.
- Le TD-LTE est moins cher que le FD-LTE car, dans le TD-LTE, un duplexeur n'est pas nécessaire pour isoler la transmission et les réceptions.
- En TD-LTE, il est possible de modifier le rapport de capacité des liaisons montante et descendante de manière dynamique en fonction des besoins. En FD-LTE, la capacité est déterminée par l'attribution de fréquences par les autorités de régulation, ce qui rend difficile toute modification dynamique.
- En TD-LTE, une période de garde plus longue est nécessaire pour maintenir la séparation des liaisons montante et descendante qui affectera la capacité. En FD-LTE, le même



concept est appelé une bande de garde pour l'isolation de la liaison montante et de la liaison descendante, ce qui n'affectera pas la capacité.

## 2. Structure de trame de l'interface radio

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9.

La sous-trame constitue un TTI c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures suivantes :

- Le type 1 est adapté au FDD.
- Le type 2 est adapté au TDD.

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms (time slot) chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes.

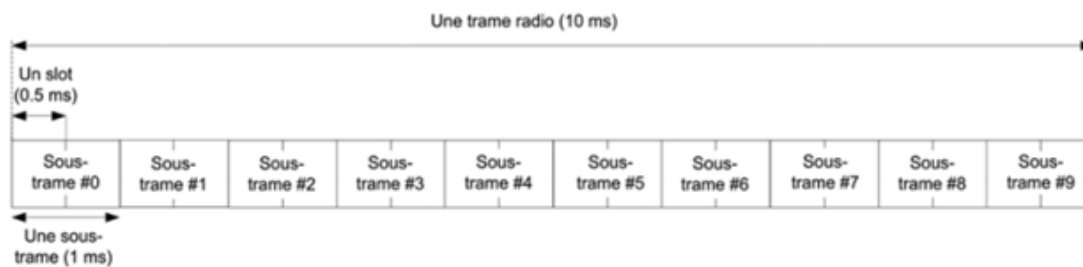


Figure 7 : Structure de la trame FDD

En TDD, certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement de la voie descendante à la voie montante. Ce temps de garde est noté GP sur la figure suivante.

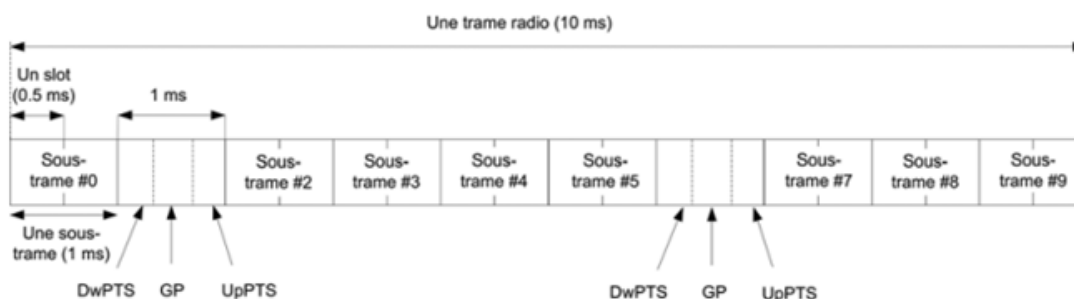


Figure 8 : Structure de la trame TDD

## 3. La dimension fréquentielle en LTE

De par la dimension fréquentielle introduite par l'OFDM et le SC-FDMA, l'allocation de ressources en LTE s'effectue à la fois dans les dimensions temporelle et fréquentielle.

Les ressources radio en voie descendante et voie montante se présentent ainsi sous la forme d'une grille temps-fréquence représentée à la figure suivante.

La plus petite unité de ressource fréquentielle pouvant être allouée à un UE par le planificateur est le PRB.

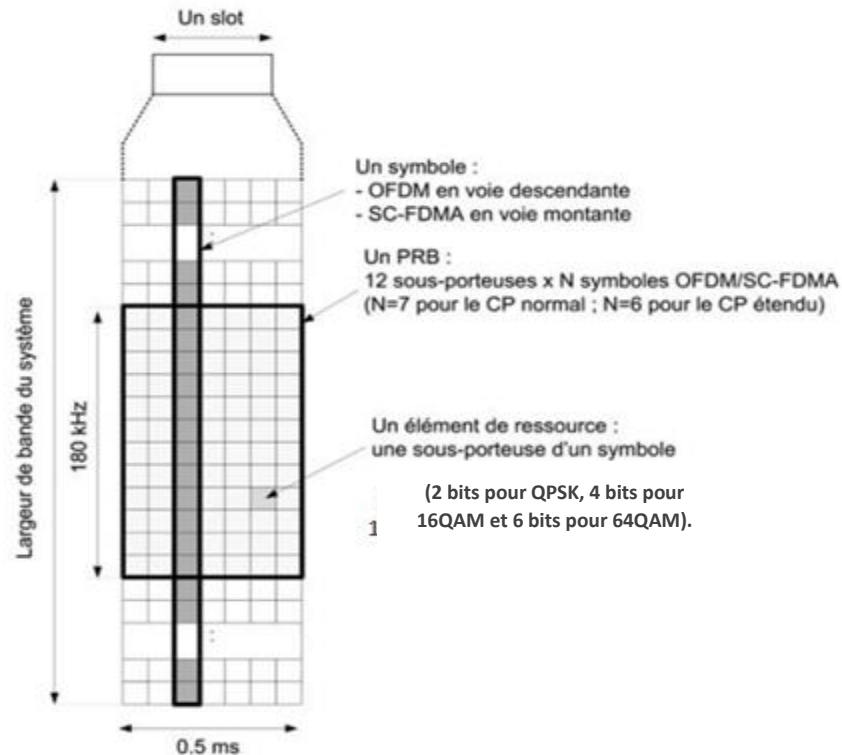


Figure 9 : Grille de ressources temps fréquence en voie montante et descendante

- ✓ Un PRB dure 0,5 ms, soit un slot, et est constitué de plusieurs symboles OFDM (ou SC-FDMA).
- ✓ La durée d'un symbole dépend de la valeur du préfixe cyclique.
- ✓ La largeur de bande d'un PRB est de 12 sous-porteuses, soit 180 KHz.
- ✓ Une sous-porteuse d'un symbole OFDM/SC-FDMA est appelée un élément de ressource. Un élément de ressource porte un symbole de modulation en OFDM.
- ✓ Les ressources s'allouent par paire de PRB, les PRB d'une paire étant alloués dans deux slots consécutifs d'une même sous-trame.

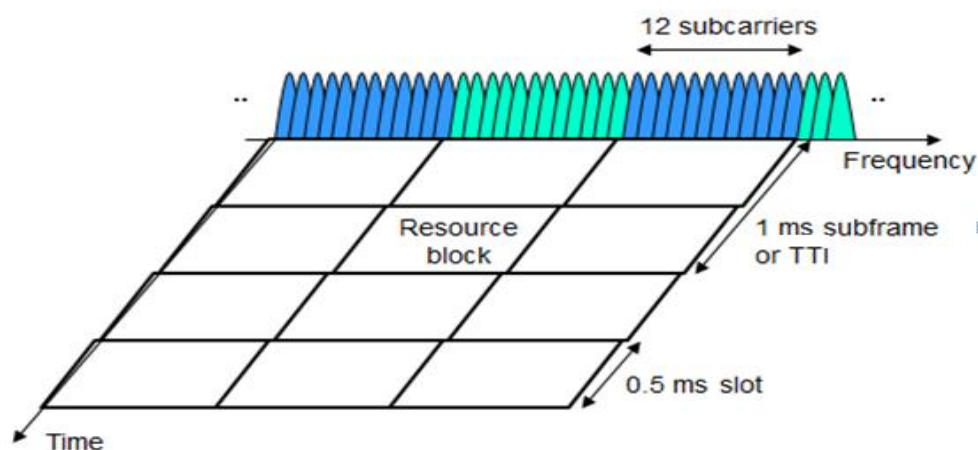


Figure 10 : Allocation des blocs de ressources

Le nombre de PRB dans la dimension fréquentielle dépend de la largeur de bande du canal, comme indiqué dans le tableau suivant.

	Largeur de bande du canal (MHz)					
	1.4	3	5	10	15	20
Largeur de bande du système en nombre de PRB	6	15	25	50	75	100

Tableau 6 : Largeur de bande du système en nombre de PRB

#### 4. L'architecture protocolaire de l'interface radio

Plan usager et plan de contrôle :

Ces deux plans sont matérialisés par des piles protocolaires qui partagent un tronc commun (la partie inférieure) et qui se distinguent notamment dans les interactions avec les couches supérieures:

- la signalisation est véhiculée par le plan de contrôle de l'interface radio.
  - le plan usager permet de transporter les paquets délivrés ou à destination de la couche IP.
- Ces deux piles protocolaires sont représentées sur la figure suivante.

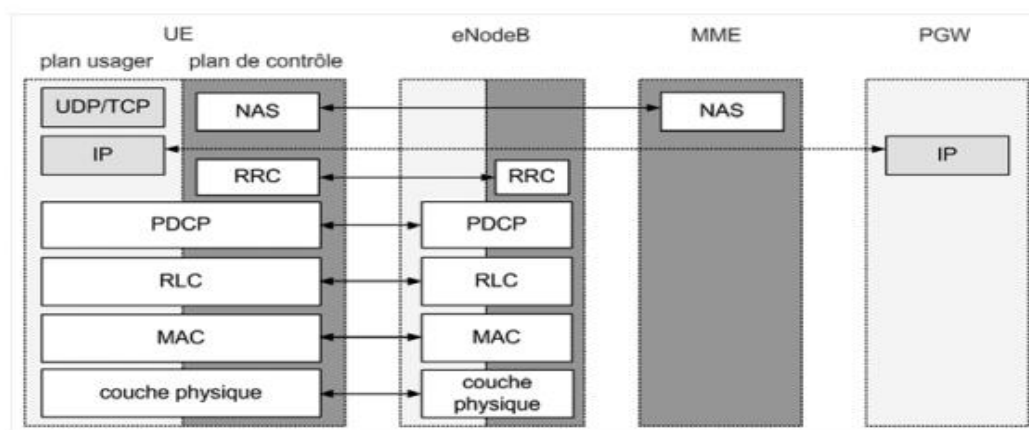


Figure 11 : L'architecture protocolaire de l'interface radio

#### Interactions entre les couches

La figure suivant détaille le découpage en couches et les interactions logiques entre celles-ci pour les données du plan de contrôle et celles du plan usager. Cette architecture s'applique à l'UE et à l'eNodeB.

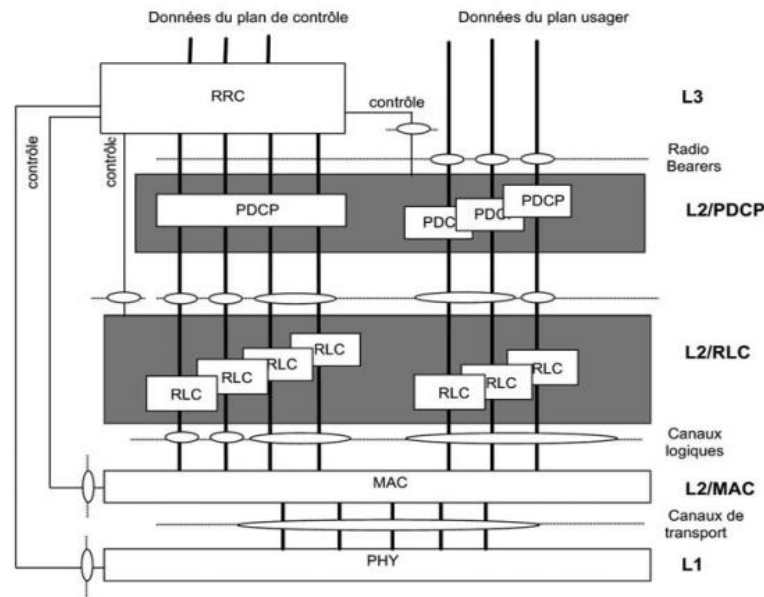


Figure 12 : Interactions entre les couches L1, L2 et L3

### a. La couche physique

La couche 1, appelée également Layer 1 (L1) ou couche PHY, représente la couche physique. Son rôle est d'assurer la transmission des données sous une forme capable de se propager dans l'air et de résister aux différentes perturbations inhérentes au canal radio mobile.

La couche physique réalise les fonctions suivantes pour la transmission de données :

- le codage de canal, qui protège les bits d'information contre les erreurs de transmission, en introduisant de la redondance dans la séquence de bits transmis.
- la modulation, qui associe les bits à transmettre à des symboles de modulation capables d'imprimer une onde électromagnétique.
- les traitements spatiaux (dits MIMO), qui précodent les symboles de modulation afin de les transmettre de plusieurs antennes (par exemple pour donner une direction au signal émis).
- la modulation multi-porteuse, qui associe le signal à transmettre sur chaque antenne à des porteuses multiples, selon le principe de l'OFDM pour la voie descendante et du SC-FDMA en voie montante.

Les opérations inverses sont effectuées par la couche physique en réception

**La couche 2 est constituée de trois sous-couches**

- PDCP.
- RLC.
- MAC.

### a. Sous-couche PDCP

PDCP assure des fonctions de sécurité et de transfert des données :

- compression d'en-tête.
- chiffrement des données et de la signalisation RRC.
- protection de l'intégrité de la signalisation RRC.

- détection et suppression des doublons (unité de données PDCP reçues deux fois).
- remise en séquence des paquets.

#### **b. Sous-couche RLC**

La sous-couche RLC assure les fonctions de contrôle du lien de données dévolues à la couche 2 du modèle OSI:

- détection et retransmission des PDU manquantes (en mode acquitté) permettant la reprise sur erreur.
- remise en séquence des PDU pour assurer l'ordonnancement des SDU à la couche supérieure (PDCP).
- utilisation de fenêtres d'émission et de réception pour optimiser la transmission de données.

#### **c. Sous-couche MAC**

La sous-couche MAC permet l'accès et l'adaptation au support de transmission grâce aux fonctions suivantes :

- le mécanisme d'accès aléatoire sur la voie montante.
- la correction d'erreurs par retransmission des paquets lors de la réception d'un acquittement négatif (HARQ).
- les allocations dynamique et semi-statique de ressources radio (scheduling).
- le maintien de la synchronisation sur le lien montant.
- la priorisation des flux sur le lien montant.

#### **d. La couche RRC**

La couche RRC, pour Radio Ressource Control, sert au contrôle de l'interface radio: RRC est responsable de la configuration et du contrôle des couches de niveau 1 (PHY) et 2 (MAC, RLC et PDCP). C'est la spécificité de cette couche, véritable chef d'orchestre de l'interface radio.

La signalisation RRC prend généralement environ 100 ms et plus pour achever une opération.

RRC assure ainsi les fonctions suivantes :

- la diffusion et le décodage d'Informations Système de niveaux AS et NAS sur la cellule, pour tous les UE en mode veille présents sur celle-ci, donnant notamment les paramètres d'accès à la cellule, de mesure et de resélection en mode veille ;
- l'envoi et la réception de paging, pour l'établissement d'appel destiné à un UE en mode veille, pour informer les UE de la cellule que les Informations Système sont modifiées ou encore pour les alerter en cas de force majeure.
- la gestion de la connexion RRC (établissement, reconfiguration et relâche) ;
- le contrôle du radio bearers associés à des services ou à la signalisation ;
- le contrôle des mesures de l'UE et leur remontée à l'eNodeB en mode connecté ;
- la mobilité en mode connecté ;
- le contrôle de la mobilité en mode veille (sélection et resélection de cellule), et la transmission de la signalisation des couches supérieures NAS.
- MBMS service de multidiffusion par diffusion multimédia: le RRC est utilisé pour informer les UE des services MBMS disponibles dans une cellule, ainsi que pour le

suivi des UE enregistrés pour un certain service de multidiffusion. Cela permet à eNB de gérer les supports radio MBMS qui sont généralement point à multipoint.

## 5. OFDMA en liaison descendante FDD /TDD

- ✓ OFDM est une modulation de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales.
- ✓ Le principe de l'OFDM consiste à diviser sur un grand nombre de porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (exemple: des émetteurs) indépendants et à des fréquences différentes.
- ✓ Pour que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquences donnée, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles.
- ✓ Les signaux des différentes porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre elles.
- ✓ Chaque porteuse est modulée indépendamment en utilisant des modulations numériques: QPSK, QAM-16, QAM-64,...

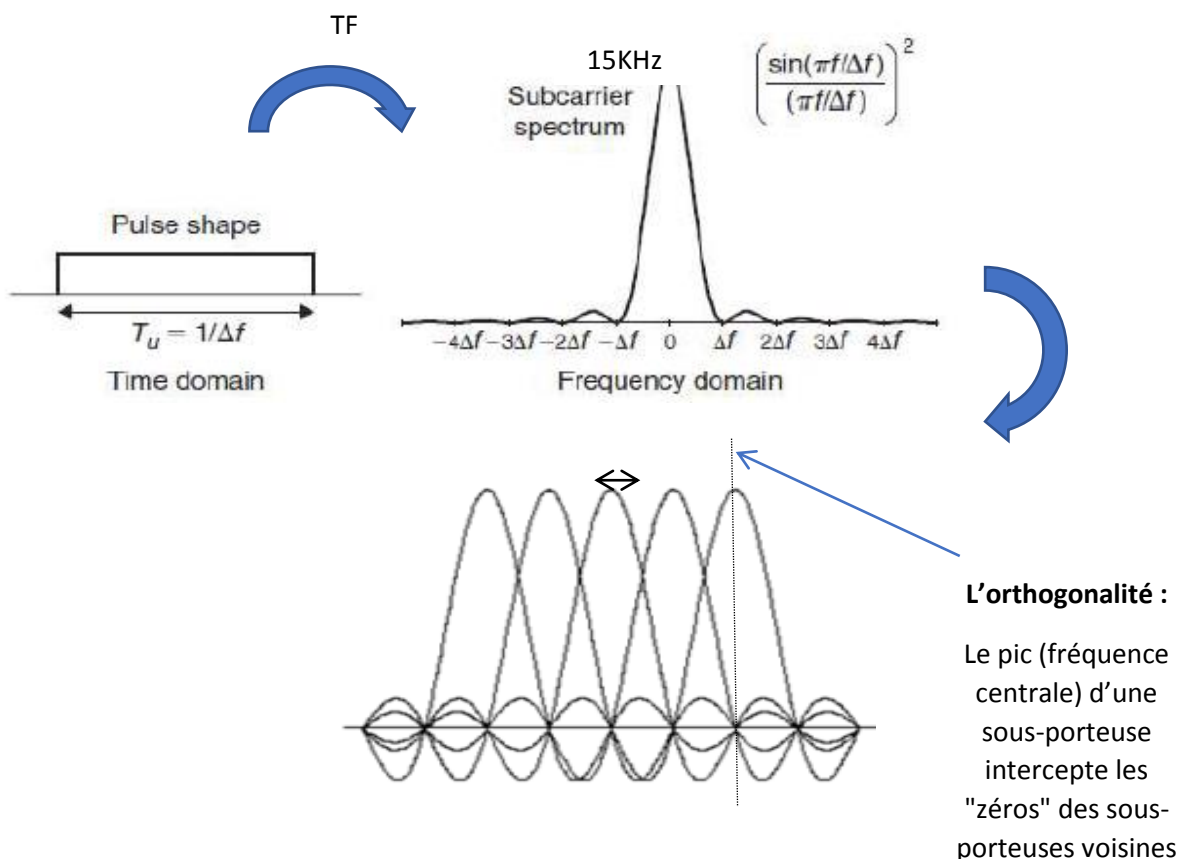


Figure 13 : la forme du signal OFDM

Le choix de l'OFDM est essentiellement dû au débit élevé offert par cette solution, la souplesse d'adaptation avec le canal de propagation, la simplicité de l'implémentation et l'imminence contre l'interférence.

### a. Principales caractéristiques de l'OFDM

Les caractéristiques de base de la transmission OFDM, qui la distinguent d'une simple extension multi-porteuses d'une transmission à régime étroit, sont les suivants :

- ✗ L'utilisation d'un nombre relativement important de sous-porteuses orthogonales à bande étroite.
- ✗ Une impulsion simple de forme rectangulaire.
- ✗ Les données sont envoyées en parallèle sur l'ensemble des sous-porteuses, chaque sous-porteuse transportant uniquement une partie de la transmission.
- ✗ Le débit correspond à la somme des débits de données de chaque sous-porteuse individuelle (ou utilisée), tandis que la puissance est distribuée à toutes les sous-porteuses utilisées.
- ✗ FFT est utilisé pour créer les sous-porteuses orthogonales. Le nombre de sous-porteuses est déterminé par la taille de la FFT (par la largeur de bande).

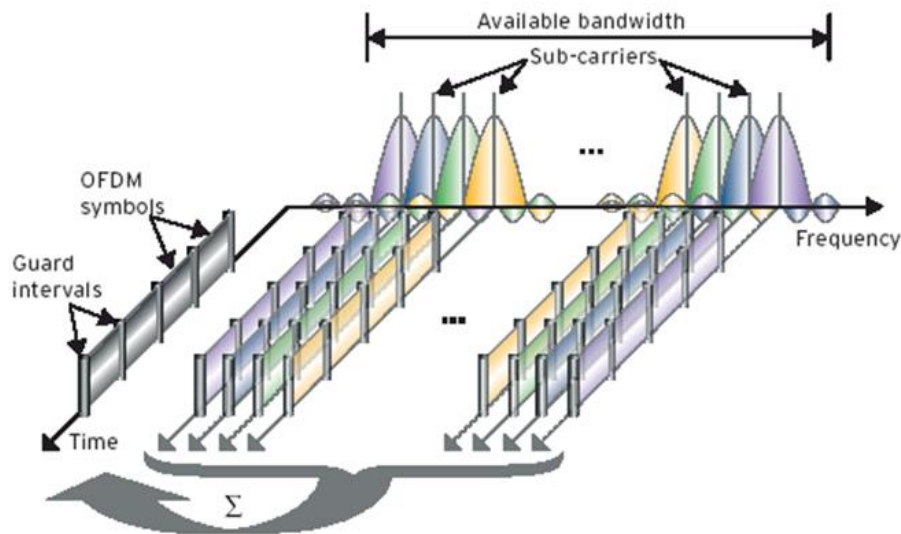


Figure 14 : la transmission OFDM à régime étroit

### b. Principaux Avantages de l'OFDM

- il peut résoudre les problèmes d'intervalle ISI et d'échange ICI.
- **ISI**: due aux trajets multiples

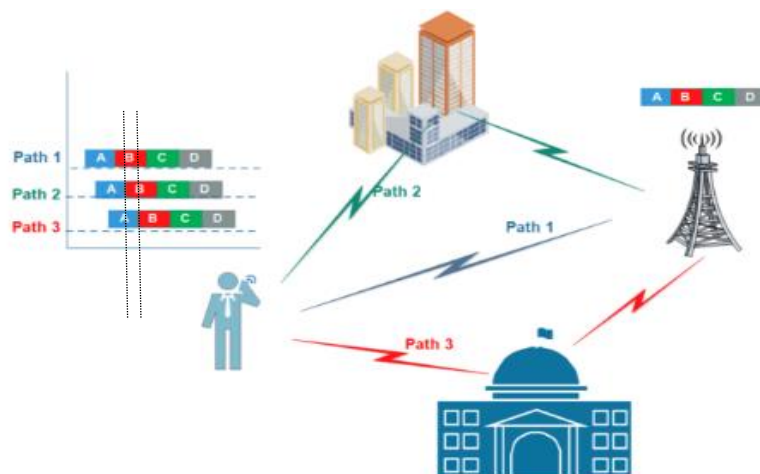


Figure 15 : le phénomène du multi trajets

- Dans un système idéal (théorique), les symboles transmis arrivent au récepteur sans perte ni interférence.
- Mais dans un scénario réel, les signaux transmis sont affectés de différentes manières, par exemple en fonction de l'environnement de propagation.
- En pratique, le "même" signal arrive par plusieurs chemins ("Multipath") et par conséquent avec des retards différents.
- En présence d'un canal multi-trajet, des versions décalées du symbole  $n$  s'additionnent entre eux, créant de l'ISI entre symboles OFDM. La récupération du symbole est impossible.

Pour absorber ce retard, on va allonger le symbole OFDM avec un préfixe cyclique (CP) ou intervalle de garde (GI). Sa durée est généralement comprise entre  $1/4$  et  $1/32$  de la durée du symbole.

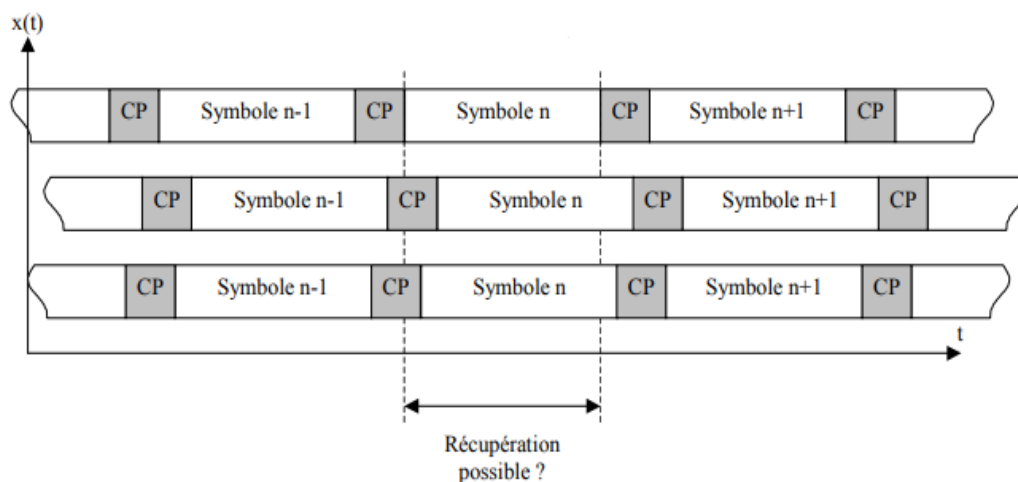


Figure 16 : Préfixe cyclique CP pour l'ISI

#### ➤ **ACI:** due au multiplexage fréquentiel

OFDM élimine ces interférences en imposant l'orthogonalité entre les sous-porteuses. L'orthogonalité est la propriété fondamentale qui permet de transmettre des signaux multiples sur une même ligne et de les détecter sans interférences.

- une efficacité spectrale meilleure

L'orthogonalité des sous porteuses permet une bonne efficacité spectrale car la bande de garde existante en FDM standard est éliminée.

#### **c. Principale inconvénient de l'OFDM**

L'inconvénient majeur du signal issu d'un modulateur OFDMA est son PAPR élevé. Ceci est dû à la transmission en parallèle, sur un nombre important de porteuses.

Cette transmission qui nécessite des amplificateurs de haute puissance, entraîne une réduction de l'efficacité énergétique au niveau de l'émetteur. Au vu de ce qui précède, La technique OFDM n'a pas été adaptée pour la liaison montante du LTE et LTE-A.

Le SC-FDMA présente un faible PAPR est plus adéquat à une transmission par un terminal portable alimenté sur batterie.



## 6. LTE SC-FDMA sur la liaison montante

L'un des paramètres clés qui affecte tous les mobiles est celui de la vie de la batterie. Même si les performances de la batterie s'améliorent constamment, il reste nécessaire de veiller à ce que les mobiles utilisent le moins possible de la batterie.

L'amplificateur de puissance RF qui transmet le signal radiofréquence via l'antenne à la station de base étant l'élément de puissance le plus élevé du mobile, il est nécessaire qu'il fonctionne dans le mode le plus efficace possible.

Les signaux dont le rapport crête / moyenne PAPR nécessitent des amplificateurs de puissance élevés. En conséquence, il est nécessaire d'utiliser un mode de transmission qui a une puissance presque constante lorsqu'il fonctionne. Malheureusement, l'OFDM présente un rapport pointe / moyenne élevé.

Bien que ce ne soit pas un problème pour la station de base où l'alimentation n'est pas un problème particulier, c'est inacceptable pour le mobile. En conséquence, LTE utilise un schéma de modulation connu sous le nom de SC-FDMA - Multiplex de division de fréquence à porteuse unique, qui est un format hybride. Ceci combine le faible rapport crête / moyenne offert par les systèmes à porteuse unique avec la résilience aux interférences par trajets multiples et l'allocation de fréquence sous-porteuse flexible fournie par OFDM.

### a. Les principes de SC-FDMA

Le PAPR est réduit

Le principal avantage du SC-FDMA tient à un facteur de crête et à un *PAPR* plus faibles que ceux du codage OFDMA; cela améliore l'efficacité énergétique du terminal, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile) et en contribuant à l'augmentation de l'autonomie de la batterie.

Transmission en série des données

SC-FDMA transmet les données en série en utilisant plusieurs sous-porteuses au contraire d'OFDM qui transmet les données en parallèle :

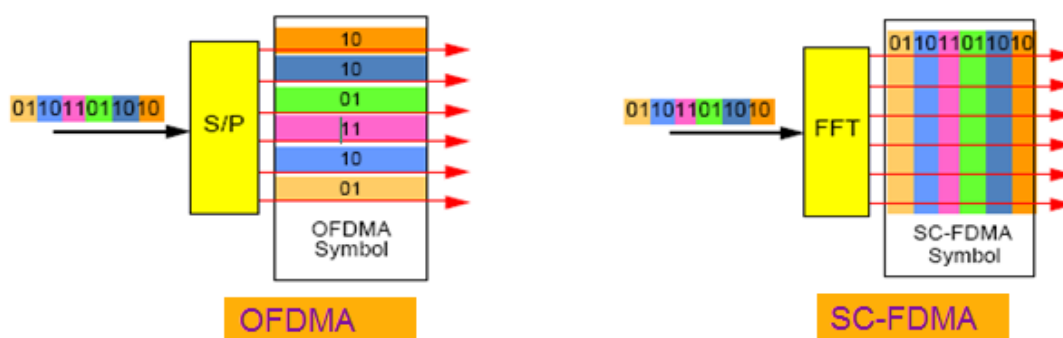


Figure 17 : la transmission OFDMA et SC-FDMA

L'ajout de DFT

Le SC-FDMA peut être vu comme un OFDMA pour lequel on vient de rajouter une DFT. L'application de la DFT transforme les symboles de données du domaine temporel vers le domaine fréquentiel.

## IV. Types du canal e LTE

Le système LTE, de manière similaire à l'UMTS, utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission.

On distingue trois classes de canaux :

- les canaux logiques, qui opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager) ;
- les canaux de transport, qui opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio (par exemple la méthode d'accès aux ressources radio) ;
- les canaux physiques qui sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame).

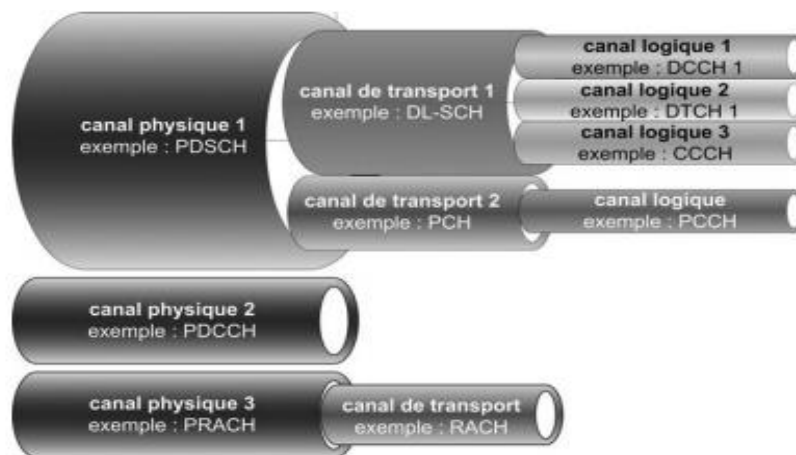


Figure 18 : les types des canaux LTE

### 1. Les canaux logiques

Les canaux logiques se séparent en canaux de contrôle et canaux de trafic. Les canaux de contrôle transportent uniquement des informations du plan de contrôle, tandis que les canaux de trafic véhiculent exclusivement les données du plan usager.

Les canaux logiques fournis par la couche MAC sont :

#### BCCH

C'est un canal logique de contrôle qui permet de diffuser les informations de base d'une cellule permettant l'accès, comme son identifiant, la largeur de bande à utiliser, la liste des cellules voisines LTE 3G ou GSM etc...

#### PCCH

C'est un canal logique de contrôle qui permet de diffuser des notifications d'appel. Lorsque quelqu'un cherche à joindre un mobile, un message de paging par le cœur de réseau vers le réseau d'accès. Toutes les cellules de la zone à laquelle le mobile est supposé appartenir vont alors diffuser l'information qu'on cherche à le joindre. Ce type d'information transite donc par ce canal logique.

### **CCCH**

C'est un canal logique de contrôle qui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile n'existe pas. Toute la messagerie du début d'un scénario d'appel passe par ce canal.

### **DCCH**

C'est un canal logique de contrôle qui permet de véhiculer toute la signalisation d'appel quand un canal dédié au mobile existe. Par exemple, les reconfigurations d'une connexion ou un handover se font en utilisant ce canal.

### **DTCH**

C'est un canal logique du plan usager qui permet de véhiculer toutes les informations usager. Par exemple, si vous êtes en train de regarder une vidéo, c'est par ce canal que les informations vont transiter.

## **2. Les canaux de transport**

Plusieurs canaux de transport sont définis dans l'interface radio du LTE pour les sens montant et descendant :

### **BCH**

Le BCH porte exclusivement le BCCH et sert donc à la diffusion des informations du système (MIB) aux utilisateurs. Ce message broadcasté contient toutes les informations nécessaires pour que le mobile puisse reconnaître le réseau d'accès et s'attacher sur la cellule.

### **DL-SCH**

Pour la transmission de données dédiées (contrôle ou usager) ou d'informations cellules non basiques (comme la liste des cellules voisines) en downlink. Ce canal va donc porter des canaux logiques DCCH, DTCH, CCCH ou BCCH.

### **PCH**

Pour diffuser les informations de paging sur la cellule et donc porte le canal logique PCCH.

### **RACH**

Ce canal sert uniquement à gérer l'accès initial du mobile ou lors d'un handover sur une cellule.

### **UL-SCH**

Pour la transmission de données dédiées (contrôle ou usager) en uplink. Ce canal va donc porter des canaux logiques DCCH, DTCH, ou CCCH.

## **3. Les canaux physiques**

Les canaux physiques fournissent le moyen de transmettre par radio les données des canaux de transport.

Les canaux physiques descendants :

**PDSCH** sert à la transmission des canaux de transport DL-SCH & PCH.

**PBCH** sert à la transmission des canaux de transport BCH.

### **PCFICH**

Indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame.

### **PDCCH**

Sert à la transmission d'information de contrôle, schéma de modulation, codage, allocation des ressources pour le DL-SCH et le PCH en downlink, allocation de ressources HARQ (demande de retransmission des paquets erronés) pour le UL-SCH en uplink, etc...

**PHICH**

Sert à la transmission des acquittements HARQ.

**MBSFN**

Canal de broadcast pour du trafic usager, mais pas encore utilisé commercialement en Release 8 (le sera sur la release 10 normalement).

Les canaux physiques montants**PUSCH**

Sert à la transmission du canal de transport UL-SCH.

**PUCCH**

Sert à la transmission des acquittements HARQ et à l'allocation de ressources.

**PRACH**

Sert à la transmission du RACH.

# Conclusion

2G, 3G, 4G... Depuis l'apparition de la téléphonie mobile, les réseaux utilisés n'ont cessé d'évoluer pour proposer une qualité de service toujours plus grande.

Comme on a déjà vu, les principaux paramètres du réseau 4G qui ont faits que ce réseau soit le meilleur sont : son très haut débit utilisé, la latence beaucoup moins importante que dans le réseau 3G, une large bande passante, une bande de fréquence flexible, et une interopérabilité avec les autres réseaux.

L'évolution LTE est un domaine passionnant dans lequel de nouvelles fonctionnalités sont ajoutées pour améliorer les performances et l'opérabilité du système actuel, mais aussi pour permettre l'introduction de nouveaux services.

# WEBOGRAPHIE

[1] [https://www.eyrolles.com/Chapitres/9782212129908/Chap-1\\_Wolff.pdf](https://www.eyrolles.com/Chapitres/9782212129908/Chap-1_Wolff.pdf)

[2] [http://www.efort.com/r\\_tutoriels/LTE\\_SAE\\_EFORT.pdf](http://www.efort.com/r_tutoriels/LTE_SAE_EFORT.pdf)

[3] <http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/>