

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications

Par :

KARAOUZENE Radja Nawal & HALFAOUI Nesrine Nassima

Sujet

Etude Comparative entre les réseaux cellulaires 3G et 4G
Perspectives vers la 5G

Soutenu publiquement, le 25 / 05 / 2016, devant le jury composé de :

Mr KAMECHE Samir	Maitre de Conférences A	Université de Tlemcen	Président
Mr ABDELMALEK Abdelhafid	Maitre de Conférences B	Université de Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr ZERROUKI ElHadj	Maitre de Conférences B	Université de Tlemcen	Examineur

Dédicace

*Je dédie ce projet de fin d'étude, aux personnes qui me sont les plus
chères :*

A mes chers parents,

*Pour toute ses patiences, ses soutiens, ses affectations et
Ses sacrifices durant ces années.*

*Pour m'avoir poussé jusqu'au bout et pour avoir été toujours
un confort moral dans les moments les plus difficiles,
partagé mes joies et mes peines.*

*A mes sœurs Sara, Nadia et son marie Imad & sa petite fille bahidja
et mon frère NASSIM*

en lui souhaitant la réussite dans leurs vie.

A mes chères grandes mères FATIHA et ZAHIYA

tous mes proches de la famille, toutes mes Amies.

A tous ceux qui ont cru en moi.

*A tous ceux qui comptent pour moi et je compte pour eux,
En espérant être toujours à la hauteur de leurs attentes.*

Nesrine

Dédicace Radjaa



Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont beaucoup aidé à surmonter les différentes difficultés durant le parcours de mes études.

À Mes Frères Fathallah Houssemeddine .

A Mes Tente Salima Et Abla Hafida , Amina, Zakiya.

A Mes oncles Abdou , Mestafa , Simoh.

A Mon Amie d'enfance Rafia que je n'ai jamais oublié.

A Mes Amies Sara, Fatema, Nesrine, Dounia qui m'a aidée à réaliser ce mémoire, la courageuse à qui je dois tout le respect. A Tous ce que j'aime et m'aiment.



RADJAA

Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu pour m'avoir donné le pouvoir de réaliser ce modeste travail.

Au nom de la science, de la technologie, de l'esprit scientifique, de la vertu du travail, de l'esprit d'élévation de la connaissance, nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur Abdelmalek Abdelhafid Maître de Conférence l'Université de Tlemcen, pour l'intérêt constant qu'il a apporté à ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur Kameche Samir Maître de Conférence à l'Université de Tlemcen, pour bien vouloir accepter de présider le jury.

Nous tenons à remercier également Monsieur Zerrouki ElHadj Maître de Conférence à l'Université de Tlemcen d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, nous remercions toute personne ayant intervenu de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Résumé

Dans le but d'approfondir la réflexion sur l'évolution des réseaux cellulaires 3G et 4G, et les perspectives de spécification de la norme 5G, le présent travail se veut une synthèse des architectures, technologies et techniques déployées jusqu'à présent et qui ont fait leur preuve de compétitivité dans le développement de ces réseaux.

Nous décrirons et nous ferons une comparaison dans ce document, des Release 3GPP 99, 5-14, allant de l'UMTS à LTE-advanced, et passant par HSPA(HSDPA, HSUPA), HSPA+ et LTE, en termes d'architecture, de canaux de transmission, de technique de multiplexage et de duplexage, de modulation, de codage, de gestion des erreurs, de contrôle de puissance, de gestion de handover, de diversité, de coopération, d'agrégation, ...

Nous feront enfin un tour d'horizons des perspectives en termes de développement technologique et technique avec notamment la 5G à venir, qui devra inclure dans ses spécifications certainement quelques avancées des générations antérieures.

Mots clés : Communications radio mobiles, Réseaux cellulaires, 3GPP, UMTS , CDMA2000, IMT2000, HSPA, HSDPA, HSUPA, HSPA+, LTE, LTE-advanced, 3G, 4G, 5G.

Sommaire

Introduction , 1

CHAPITRE 1

Réseaux cellulaires 3G (UMTS) : 3GPP Release 99, 4-8

I.1.	Introduction , 4
I.2.	UMTS Release 99 , 5
I.3.	Les services de UMTS , 6
I.4.	Architecture global de l'UMTS, 8
I.4.1.	Domaine de l'équipement de l'utilisateur , 9
I.4.1.1.	ME (Mobile Equipment) , 9
I.4.1.2.	USIM (UMTS Integrated Circuit Card) , 9
I.4.2.	Réseau d'accès UTRAN , 11
I.4.2.1	NodeB , 12
I.4.2.2	RNC (Radio Network Controller) , 13
I.4.2.3.	Interfaces , 15
I.4.3.	Réseau cœur , 15
I.4.3.1.	Le domaine CS , 16
I.4.3.2.	Le domaine PS, 17
I.4.3.3.	Les éléments communs aux domaines CS et PS , 17
I.5	La technique WCDMA , 17
I.5.1	L'étalement du spectre , 18
I.5.2.	Utilisation du DS-SS dans l'étalement du spectre , 19
I.6.	Duplexage , 20
I.7.	Les canaux , 22
I.7.1	Canaux Logiques , 22

I.7.2.	Canaux de transport , 23
I.7.3	Les Canaux physiques , 25
I.8.	Le contrôle de puissance , 26
I.8.1	Le contrôle de puissance sur le lien montant , 27
I.8.1.1	Le contrôle de puissance Open-loop (Slow) , 27
I.8.1.2	La boucle fermée intérieure entre le Nœud B et le mobile (innerloop) , 27
I.8.1.3	La boucle extérieure entre le RNC et le Nœud B (Contrôle de puissance outerloop) , 27
I.8.2	Contrôle de puissance sur le lien descendant , 27
I.9	Le handover , 28
I.9.1.	Le Soft Handover , 28
I.9.2.	Le Hard Handover , 29
I.10	Evolution de l'UMTS , 30
I.10.1.	La technologie HSPA , 30
I.10.2.	La technologie HSDPA , 30
I.10.2.1.	Concepts de HSDPA , 31
I.10.2.2	Modulation et codage adaptatifs (MCA) , 31
I.10.2.3	Canaux radio de HSDPA , 33
I.10.2.5	Mécanisme de retransmission hybride ARQ (HARQ) , 36
I.10.2.6	La stratégie d'ordonnancement , 37
I.10.3.	Réseau HSUPA , 38
I.10.3.1	Architecture de HSUPA , 38
I.10.3.2	Les canaux du HSUPA , 39
I.10.3.4	Ordonnancement rapide , 43
I.10.3.5	La technique MIMO , 45
I.10.4.	Evolutions HSPA+ , 46
I.11	Conclusion , 46

CHAPITRE 2

Réseaux cellulaires 3.9G (LTE) & 4G (LTE-Advanced)

3GPP Release 9, 10-14

II.1.	Introduction , 47
II.2.	Objectifs , 48
II. 3.	Architecture des Standards LTE et LTE-Advanced , 49
II.4.	Caractéristiques de la norme LTE , 55
II.5.	Les paramètres de modulation en LTE , 58

II.6.	Structure d'une trame LTE , 58
II.7.	Les Ressources Block , 62
II.7.1.	Les Ressources Block en Downlink (PRB) , 62
II.7.2.	Recourse block en uplink , 63
II.8.	Les canaux , 64
II.9.	L'interface radio , 68
II.9.1.	Transmission Downlink , 68
II.9.2.	Emission et réception , 72
II.10.	Transmission Uplink , 73
II.10.1.	La Paramétrisation de la SC-FDMA , 73
II.10.2.	Émetteur SC-FDMA , 74
II.10.3.	Récepteur SC-FDMA , 77
II.11.	Le Handover dans LTE , 79
II.12.	Les techniques LTE-Advanced , 80
II.12.1.	Agrégation de porteuses , 80
II.12.2.	Le Concept Coordinated multipoints (CoMP) , 83
II.12.3.	LTE Relais , 87
II.12.4.	Généralités de MIMO , 88
II.12.5.	Les réseaux hétérogènes (HetNet) , 91
II.12.5.1.	Amélioration de la mobilité du HeNB
II.12.6.	Coordination Augmentée D'Interférence Inter-Cellule (eICIC) , 92
II.13.	Conclusion , 95

CHAPITRE 3

Comparaison 3G/4G et Perspectives 5G

III.1.	Les améliorations de LTE , 96
III.1.1.	Débit , 98
III.1.2.	Efficacité spectrale , 98
III.1.3.	Latence , 98
III.1.4.	Méthodes d'accès , 98
III.1.5.	Bandes de fréquence , 99
III.1.6.	Architecture , 99
III.1.7.	Réseau cœur orienté paquet , 100
III.1.8.	Les ressources blocs , 100
III.2.	Les améliorations de LTE-Advanced , 101
III.2.1.	Support of Wider Bandwidth (Carrier Aggregation) , 101
III.2.2.	Advanced MIMO techniques , 102
III.2.3.	Coordinated Multi-Point transmission and reception (CoMP) , 103

III.2.4.	Heterogeneous network and eICIC(enhanced Inter-Cell Interference Coordination) , 103
III.2.5.	Relay , 103
III.3.	Perspectives liées à la génération 5G , 104
III.3.1.	Présentation , 104
III.3.2.	Feuilles de route 5G et chronologie , 105
III.3.3.	Caractéristiques de la 5G , 106
III.3.4.	Pénurie de capacité , 106
III.3.5.	Virtualisation du réseau central , 107
III.3.6.	L'évolution de l'architecture réseau , 108
III.3.7.	Nouvelles couches physiques , 108
III.3.8.	MIMO de masse , 109
III.3.9.	Bandes de fréquence , 109
III.4.	Conclusion , 109

Conclusion générale , 111

Bibliographie , 113

Liste des abréviations

ABS	Almost Blank Subframes
BCH	Broadcast Channel
BCCH	Broadcast Control Channel.
BCCH	Broadcast Control Channel
BBC	Buffer-Free Broadcasting
BF	Beam Forming
CP	Normal Cyclic Prefix
CS	Circuit Switched
CP	Cyclic Prefix
CCCH	Common Control Channel
CCPCH	Common Control Physical Channel
CB	Celebrity Big Brother
CA	Carrier Aggregation
CB	Coordinated Beam Forming
CS	Coordinated Scheduling
CRE	Cell Range Extension
CSI	Channel Status Information
CRS	Cell Reference Signals
CC	Component Carriers
COMP	Concept Coordinated Multipoints
CDS	Channel Dépendent Scheduling
CSG	Closed Subscriber Groups
CRE	Cell Range Expansion
CSI	Channel Status Information
DFT	Density Functional Theory
DL-SCH	Downlink Shared Channel
PCRF	Charging Control Function
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DFT	Discrete Fourier Transform
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DCS	Dynamic Cell Selection
DeNB	Donor Evolved Node B
DM-RS	Référence De Démodulation Signal
EPC	Evolved Packet Core
EDGE	Enhanced Data Rates For GSM Evolution
EPS	Evolved Packetsystem
E-UTRAN:	Evolved UTRAN
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
ENodeB	Evolved Node B

EPC	Evolved Packet Core
EICIC	Coordination Augmentée D'Interférence D'Inter-Cellule
FDD	Frequency Division Duplexing
GSM	Global System For Mobile Communications
GP	Guard Period
HSS	Home Subscriber Server
HLR	Home Location Register
HSS	Home Subscriber Server
HSPA	High Speed Packet Access
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HetNe	Heterogeneous Network
IMS	Ip Multimedia Subsystem
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ISI	Interférence Inter-Symbole
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IFDMA	Interleaved-FDMA
ICI	Interférence Inter-Cellules
JT	Joint Transmission
LTE	Long Term Evolution
L-FDMA	Localised FDMA
ME	Mobile Equipment
MME	Mobility Management Entity
MAC	Media Access Contrôle
MIMO	Multiple Input-Multiple Output
MCH	Multicast Channel
MCCH	Multicast Control Channel
MTCH	Multicast Traffic Channel
MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service
MC	Macro Cellule
MBSFN	Multicast-Broadcast Single-Frequency Network
NAS	Network Attached Storage
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PS	Packet Switched
PGW	Packet Data Network Gateway
PDN	Packet Data Network
PCRF	Policy And Charging Rules Function
PDN-GW	Packet Data Network Gateway
PCRF	Policy And Charging Rules Function
P-GW	Packet Data Network Gateway
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel

PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PCH	Paging Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PCCH	Paging Control Channel
PRB	Physical Resource Blocks
PAPR	Peak-To-Average Power Ratio
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDU	Protocol Data Unit
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RS	Reference Signals
RRC	Range Resources Corporation
RNC	Contrôleur De Radio Network
RSSI	Received Signal Strength Indication
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RLM	Radio Link Monitoring
RRM	Radio Resource Management
RSRQ	Reference Signal Recieved Quality
RSSI	Received Signal Strength Indication
RNs	Relay Nodes
RX.	Reception Telecommunication
RRC	Radio Resource Control
SGW	Serving Gateway
SDU	Service Data Unit
SDMA	Space Division Multiple Access
TDD.	Time-Division Duplex.
TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
TTI	Transmission Time Interval
UICC	Universal Integrated Circuit Card
USIM	Universal Subscriber Identity module
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UE	User Equipment
UL-SCH	Uplink Shared Channel
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

Introduction générale

Après le succès mondial des réseaux 2G, l'attention internationale s'est tournée vers la 3G, les réseaux mobile de troisième génération qui vient répondre à plusieurs inquiétudes et préoccupations notamment concernant les questions de normalisation soulevés par la 2G, mais aussi au besoin grandissant de fourniture de services internet et multimédia à haut débit sur les réseaux mobiles.

C'est dans ce sens que l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) sous la dénomination IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) a entrepris une action de normalisation de la 3G.

La version européenne de l'IMT-2000 s'appelle UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Aux Etats-Unis, le standard est plutôt connu sous l'appellation de CDMA-2000.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) est un consortium créé en 1998, pour la coopération entre organismes de standardisation en télécommunications tels que :

- ARIB (Association of Radio Industries and Business) et TTC (Telecommunication Technology Committee) pour le Japon ;
- ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) pour les États-Unis ;
- CWTS (China Wireless Telecommunication Standard Group) pour la Chine ;
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) pour l'Europe ;
- TTA (Telecommunication Technology Association) pour la Corée du Sud.

qui produit et publie les spécifications techniques pour les réseaux mobiles (3G) et (4G) compatibles avec le projet IMT-2000 de l'UIT. Parmi ses rôles : le développement de spécifications techniques pour les normes mobiles de la famille GSM, notamment pour le GPRS, l'EDGE, l'UMTS, le LTE et le LTE Advanced.

D'autre part, 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2) est issue d'un accord de collaboration établi en décembre 1998, entre plusieurs industriels de Télécoms :

- ARIB (Association of Radio Industries and Business) et TTC (Telecommunication Technology Committee) pour le Japon ;

- TTA (Telecommunication Technology Association) pour la Corée du Sud;
- CCSA (China Communications Standards Association) pour la Chine ;
- TTA (Telecommunications Industry Association) pour les États-Unis

L'objectif du 3GPP2 était de définir et de maintenir des spécifications pour la 3G compatibles avec le projet IMT-2000 de l'UIT.

Standardisation pour l'ensemble des normes 3G basées sur la technologie issue du standard 2G américain CDMA : les normes CDMA 2000 et CDMA EVDO.

À noter que le 3GPP2 est différent et concurrent du 3GPP.

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail 3GPP 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.

Les Releases 3GPP :

Le 3GPP a défini 14 Releases entre 1998 et Mai 2016 :

Evolution de GSM

- Release 97 : **GPRS** (Général Packet Radio Service) → 2.5G
- Release 98 : **EDGE** (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) → 2.75G

La 3G

- Release 99 : **UMTS** → 3G

Evolution de l'UMTS (3G+)

- Release 5 : **HSDPA** (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante
- Release 6 : **HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.

Evolution de l'UMTS (3G++)

- Release 7 : **HSPA+** (**MIMO**, ...)
- Release 8 et Release 9 : **LTE** (Long Term Evolution) → 3.9G

La 4G

- Release 10 : **LTE-Advanced**

Evolution de LTE-Advanced

- Release 11
- Release 12

- Release 13
- Release 14

Dans le but d'approfondir la réflexion sur l'évolution en particulier des réseaux cellulaires 3G et 4G, et les perspectives de spécification de la norme 5G, le présent travail se veut une synthèse des architectures, technologies et techniques déployées jusqu'à présent et qui ont fait leur preuve de compétitivité dans le développement de ces réseaux.

Nous décrirons dans ce document les Releases 3GPP 99, 5-10, allant de l'UMTS à LTE-advanced, et passant par HSPA (HSDPA, HSUPA), HSPA+ et LTE, en termes d'architecture, de canaux de transmission, de technique d'accès et de duplexage, de modulation, de codage, de gestion des erreurs, de contrôle de puissance, de gestion de handover, de diversité, de coopération, d'agrégation, ...

Enfin on présentera une comparaison entre les réseaux UMTS, LTE et LTE-A ainsi que les perspectives de développement des techniques et technologies pour satisfaire la demande croissante du futur 5G.

(NB : certains passages et images de ce document sont extraits des références citées en bibliographie).

CHAPITRE 1

Réseaux cellulaires 3G (UMTS) 3GPP Release 99, 4-8

I.1. Introduction

Après le succès mondial des réseaux de téléphonie mobile de seconde génération qui consacraient l'avènement de la téléphonie mobile numérique et du multimédia, l'attention internationale s'est tournée vers la 3G, les réseaux mobiles de troisième génération viennent répondre à plusieurs inquiétudes et préoccupations notamment concernant les questions de normalisation soulevés par la 2G, mais aussi au besoin grandissant de fourniture de services internet et multimédia à haut débit sur les réseaux mobiles.

C'est dans ce sens que l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) sous la dénomination IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) a entrepris une action de normalisation de la troisième génération de réseaux mobiles (3G). Cette action de normalisation porte notamment sur l'identification des différentes bandes de fréquences et la généralisation des services mobiles liés. De cette structuration et normalisation découle un ensemble de système technologique dit de troisième génération (UMTS, CDMA 2000,...).

La migration vers la troisième génération est fortement liée au système adopté pour la 2G. Ainsi de la même manière qu'il existait deux technologies concurrentes pour la 2G, le GSM et le CDMA, on

retrouvera dans la 3G plusieurs variantes. L'évolution du GSM aboutit à la norme UMTS (reposant sur la technologie W-CDMA), tandis que celle du CDMAOne aux Etats-Unis porte le nom de CDMA2000.

Au-delà de ces technologies distinctes, la 3G ne se suffit pas à elle-même et des évolutions technologiques permettent d'améliorer manifestement ses performances. En Europe, l'UMTS peut être mis à jour en HSDPA, puis en HSUPA, augmentant sensiblement les débits et ouvrant la voie vers de nouveaux usages.

I.2. UMTS Release 99

La Release 99 est l'héritage du GSM/GPRS. L'architecture UMTS telle que décrite dans la release 99 du 3GPP (organisme de normalisation de l'UMTS) s'appuie sur une nouvelle interface radio, l'UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), et une évolution des cœurs de réseau GSM et GPRS (adaptation des équipements existants ou nouveaux équipements) pour gérer les flux des domaines circuit (CS: Circuit switched) et paquet (PS: PacketSwitched).

L'architecture UMTS R99 propose:

- Les interfaces de l'UTRA avec le cœur de réseau sont basés sur un transport ATM (AAL2 pour la voix et AAL5 pour les données).

- Le transport dans le cœur de réseau peut ensuite être effectué selon le choix de l'opérateur soit en ATM pour l'ensemble des flux, soit en ATM puis TDM pour les flux circuit et en IP pour les flux paquet. La signalisation à l'interface avec l'UTRA est transportée soit dans des circuits virtuels ATM, soit avec le protocole de transport de SS7 sur IP.

- Les appels multimédia sont supportés, mais de manière transparente: c'est pour dire que les appels multimédia ne sont pas considérés comme un mode de communication. En effet, les messages de signalisation multimédia sont transportés de manière transparente dans une connexion circuit ou dans un contexte PDP (Protocol Data Packet): tunnel GTP (Gateway Tunnel Protocol) entre SGSN et GGSN.

La R99 prépare donc l'évolution vers la solution cible tout IP en introduisant dès le début de l'UMTS un transport convergent des flux voix et données.

➤ **Les avantages et les inconvénients de l'UMTS :**

Le tableau suivant résume quelques Avantages et inconvénient de UMTS :

Avantages	Inconvénients
Accès Internet haut-débit depuis un équipement mobile ou un ordinateur	Coût
Visiophonie	Changement des équipements usagers
Télévision	Arrivée du HSDPA

Tableau I.1 : Avantage et inconvénient de UMTS

I.3. Les services de l'UMTS

➤ **Les services supports**

- Les services numériques points à points sans passer par un modem de conversion
- Les services de point à multipoints (streaming)
- Les services multi points à multi points

➤ **Les télé services :** Utilisés essentiellement jusqu'en release 5 pour des raisons de compatibilités avec les services 2G pourraient être amenés à évoluer avec l'introduction du Full IP.

Le schéma ci-après présente les différents services que propose l'UMTS.

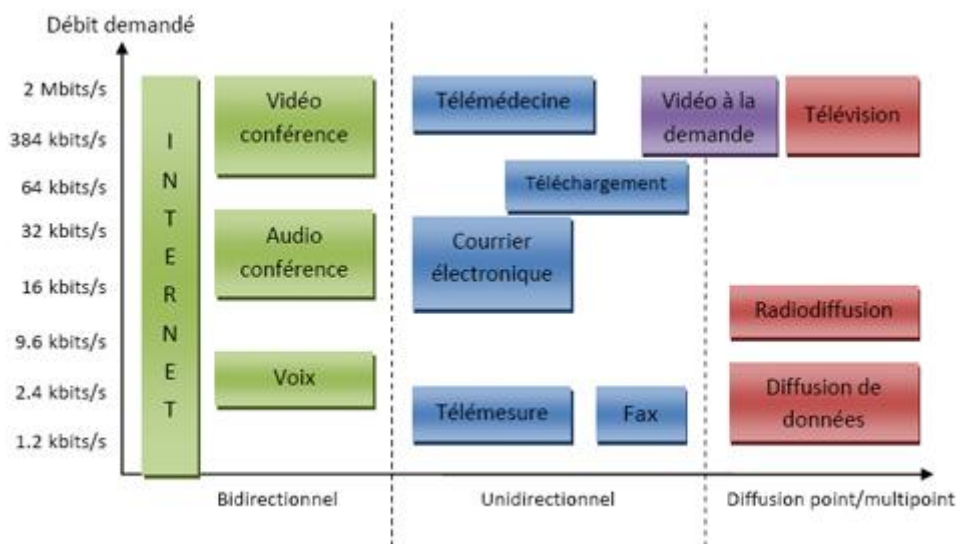


Figure I.1 : Les besoins en débit des services de l'UMTS

➤ **Le débit de l'UMTS**

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

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

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

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

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

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo,

Vidéo à la demande, Télévision.

➤ **Les fréquences de l'UMTS**

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

L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35MHz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz)
- Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz (uplink bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz).
- Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (downlink de 30 MHz).

La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

L'UMTS propose la répartition suivante :

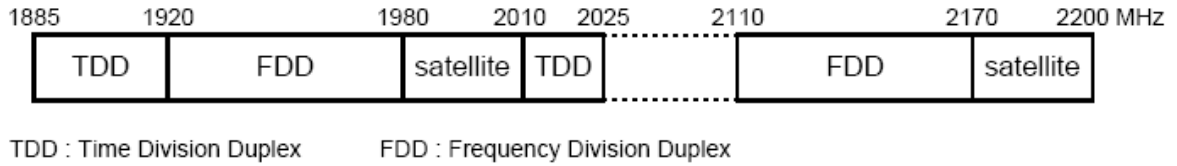


Figure I.2: Utilisation de la bande de fréquences pour l'UMTS

La division duplex dans les bandes dites "appairées", c'est à dire 2×60 MHz, est fréquentielle (FDD). L'écart duplex vaut 190 MHz. On utilise dans ces bandes un accès W-CDMA (Wideband-CDMA).

La division duplex dans les bandes dites "non appairées", c'est à dire 35 MHz et 15 MHz, est temporelle (TDD). On utilise dans ces bandes un accès TD-CDMA.

I.4. Architecture globale de l'UMTS

Le réseau UMTS est composé de trois domaines comme l'illustre la figure (1.3) : le réseau cœur (Core Network) et le réseau d'accès radio UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et le domaine UE (User Equipment).

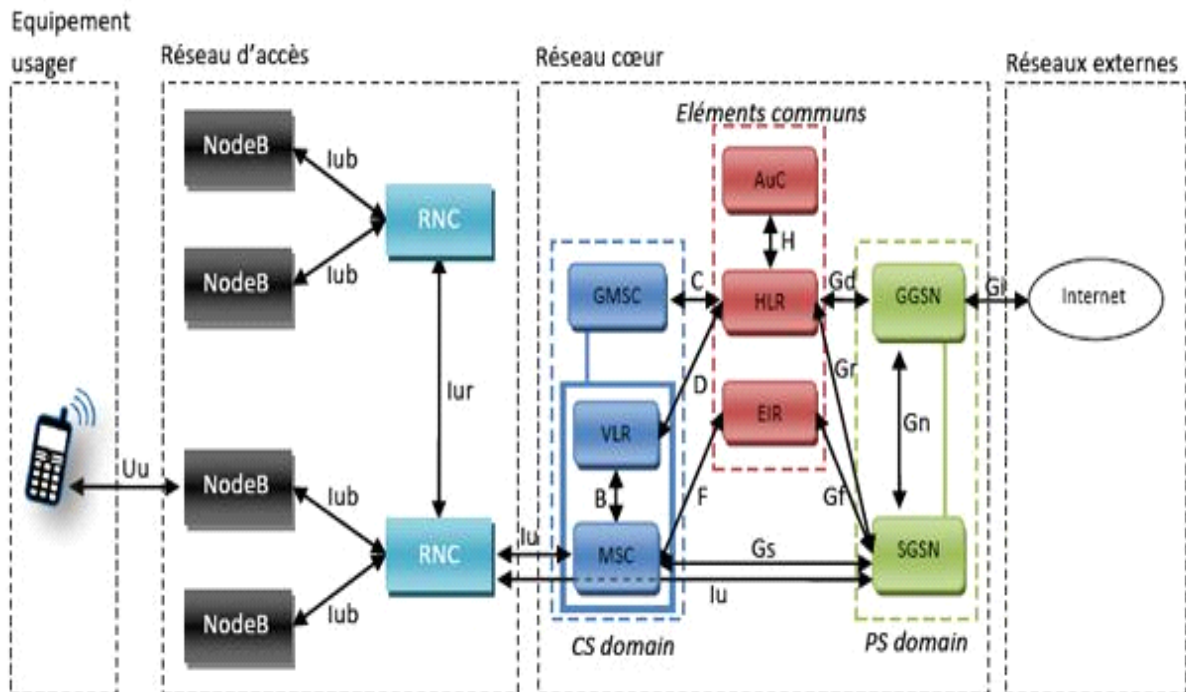


Figure I.3 :Architecture générale du réseau UMTS

I.4.1. Domaine de l'équipement de l'utilisateur

L'utilisateur UMTS est équipé d'un UE (User équipement : figure I.4) qui se compose du mobile Equipement (ME) correspondant au combiné téléphonique (terminal mobile) et la carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module). Le rôle de l'USIM est semblable à celui de la carte SIM en GSM. Elle enregistre les identités de l'abonné tel qu'IMSI, TMSI, p-TMSI, les données de souscription, la clé de sécurité (ki) et les algorithmes d'authentification et de génération de clé de chiffrement. L'UE peut se rattacher simultanément aux domaines circuit (MSC) et paquet (SGSN) et peut alors disposer simultanément d'un service GPRS et d'une communication téléphonique, comme un terminal GPRS classe A.

L'équipement usager est utilisé pour désigner la station mobile dans un réseau UMTS. Il permet à l'abonné d'accéder au réseau et également à ses services.

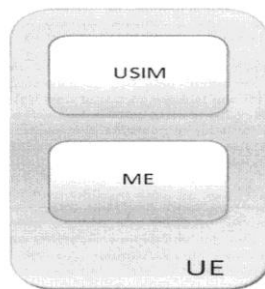


Figure I.4: Station mobile

I.4.1.1. ME (Mobile Equipement)

L'équipement mobile est chargé de la transmission radio et des procédures associées. Il est encore divisé en deux parties: la terminaison mobile (MT: Mobile Termination) et l'équipement terminal (TE : Terminal Equipement).

La terminaison mobile assure la transmission de l'information vers le réseau UMTS (ou autre) à travers l'interface radio et applique les fonctions de modulation, de correction d'erreurs, d'étalement de spectre et d'autre encore qui lui sont l'intermédiaire d'un adaptateur, est la partie de TUE où les données d'information sont générées en émission ou traitées en réception.

Le MT et le TE peuvent faire partie d'un équipement unique ou être séparés en deux équipements. Le TE peut être par exemple, un ordinateur portable et le MT un terminal mobile utilisé comme modem.

I.4.1.2. USIM (UMTS Integrated Circuit Card)

L'USIM est une application qui permet à l'abonné d'accéder aux services souscrits.

Elle gère également les informations associées à la souscription de l'abonné et les procédures d'authentification et de chiffrement. L'USIM réside dans une carte à puce (smart card) appelée UICC (UMTS IntegratedCircuitCard). Comme la carte SIM (SubscriberIdentity Module) utilisée en GSM, l'USIM conserve les informations liées à l'abonné et bien d'autres propres à un environnement où plusieurs opérateurs et plusieurs fournisseurs de services peuvent intervenir. L'USIM peut être utilisée sur un terminal UMTS indépendamment du fabricant et en général de l'opérateur du réseau: la carte associe un abonné à un ou plusieurs fournisseurs de service et pas nécessairement à l'opérateur du réseau courant.

Au niveau de l'infrastructure, c'est dans le réseau nominal que les informations concernant les services souscrits par l'abonné sont enregistrées. L'USIM est la clef d'accès à ces services. Lors d'une demande de service (un appel téléphonique par exemple), le réseau de service dans lequel l'abonné est itinérant doit dialoguer avec le réseau d'accès (radio ou câblés) nécessaire suivant les conditions et les caractéristiques des services souscrits.

L'UICC peut contenir une application USIM et SIM, ce qui peut permettre son utilisation aussi bien dans un réseau UMTS que GSM. D'ailleurs, les mécanismes permettant l'accès à un réseau GSM peuvent être directement imbriqués dans F USIM. Enfin, plusieurs applications USIM peuvent résider dans une même UICC, chacune pouvant être associée à différents fournisseurs de service. Toutes ces possibles configurations pour F UICC sont schématisées ci-dessous (figure 1.5).

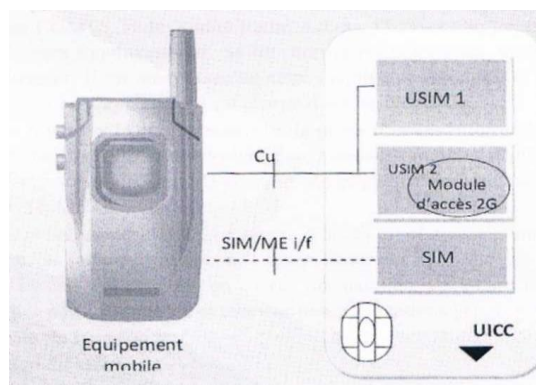


Figure I.5: Carte à puce UICC

Les informations contenues dans F USIM comprennent : Des informations permettant l'identification de F UICC :

un numéro unique associé à la carte et à son utilisateur ;

- La langue ou les langues à utiliser ;
- Le répertoire des applications ;

- L'IMSI et le(s) MSISDN(s) ;
- Les clefs de chiffrage ;
- Les codes pour les appels d'urgence ;
- Les messages courts et les paramètres associés ;
- La liste des services et le nom de ses fournisseurs ;
- La liste des porteuses à utiliser pour la sélection d'une cellule.

Comme en GSM, en UMTS, le numéro IMSI (International Mobile SubscriberIdentity) permet au réseau d'identifier l'abonné de manière unique. Ce numéro n'est pas connu par l'utilisateur. Pour être appelé, l'abonné peut se voir attribuer un ou plusieurs numéros MSISDN (Mobile Station ISDN Number); chacun d'entre eux peut être associé aux services, éventuellement personnalisés, auxquels il a souscrit.

Toujours pour préserver la compatibilité du système avec le GSM, le terminal UMTS doit communiquer l'IMEI (International Mobile Equipment Identity) au réseau. Ce paramètre identifie le terminal et peut, le cas échéant, empêcher son utilisation si le terminal s'avère être un terminal volé ou non homologué.

I.4.2. Réseau d'accès UTRAN

L'UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur via les interfaces Uu et lu. Cependant, il est chargé d'autres fonctions :

- Sécurité : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.
- Mobilité : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.
- Gestion des ressources radio : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- Synchronisation : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.
- Le contrôle d'admission.
- L'allocation du canal.
- Le paramétrage du contrôle de puissance.

- Le contrôle du Handover.
- La segmentation et le réassemblage.
- Macro diversité.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS, la Figure 1.6 représente une architecture d'un réseau d'accès.

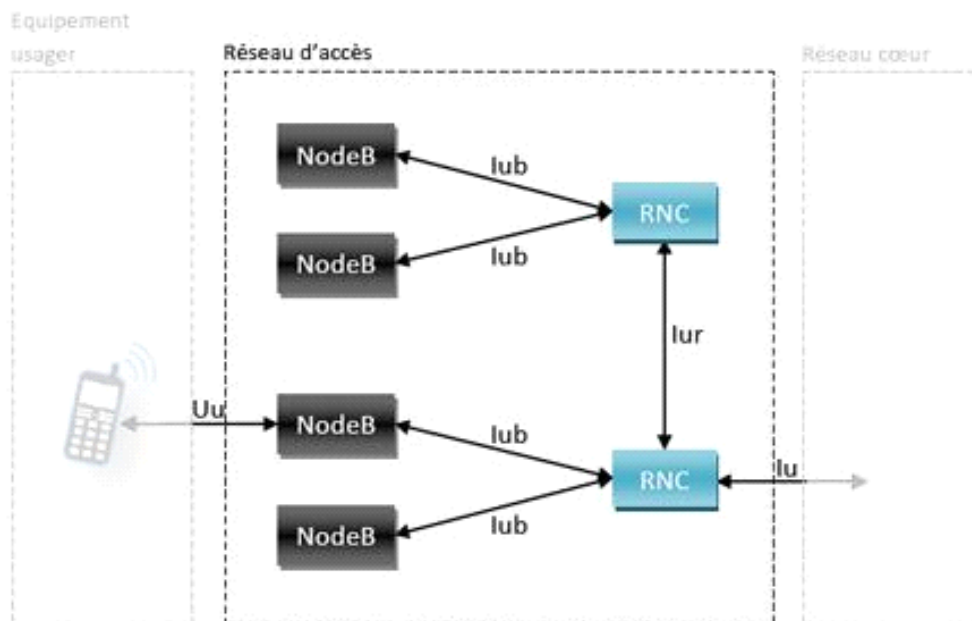


Figure I.6 : Architecture du réseau d'accès

I.4.2.1 NodeB

Un RNC contrôle un ou plusieurs NodeB. Le NodeB a pour rôles:

- Transmission et réception des données sur l'interface radio
- Détection et correction d'erreurs (FEC : ForwardError Correction)
- Adaptation du débit
- W-CDMA spreading/dispreading
- Codage du canal physique CDMA
- Modulation et démodulation

- Faire appliquer le contrôle de puissance
- Envoyer les mesures au RNC pour le Handover et la macro diversité
- S'occuper des Soft- Handover afin de réduire le trafic entre le RNC et NodeB et assurer la micro diversité [6].

Le NodeB travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Nous pouvons trouver deux types de NodeB (figure 1.7):

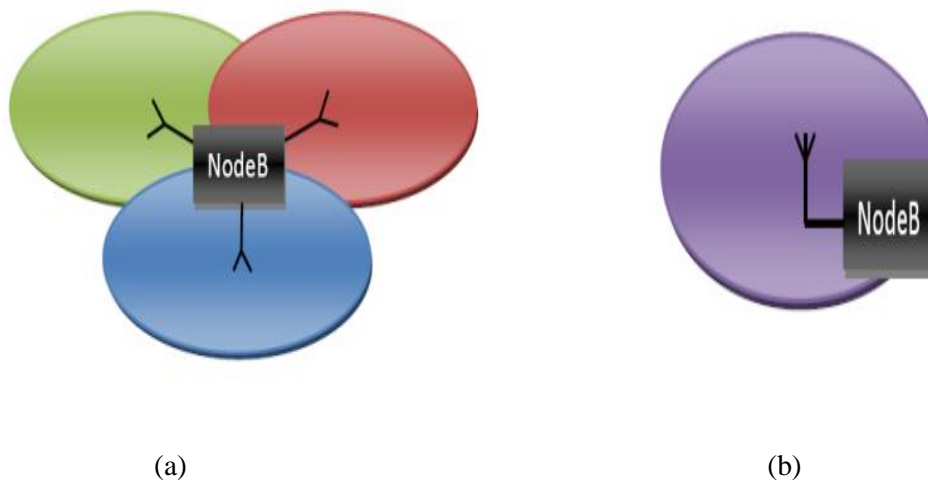


Figure 1.7: (a) NodeB avec antennes sectorielles
(b) NodeB avec antenne omnidirectionnelle

Figure I.7 : Types de nœud B.

I.4.2.2 RNC (Radio Network Controller) :

Le RNC est un sous-système de l'UTRAN constitué d'un contrôleur RNC (Radio Network Controller) et d'une ou plusieurs stations de base. Les RNS peuvent être connectés entre eux grâce à l'interface Iur. Le RNC commande plusieurs stations de base via l'interface Iub. Il est responsable de la gestion des ressources radio de l'ensemble des NodeB sous son contrôle, sachant que chaque Node B ne peut être associé qu'à un seul RNC.

Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes).

Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

Deux rôles de RNC ont été introduits afin de gérer la macro-diversité (c'est la phase pendant laquelle la station mobile maintient plusieurs liens radio avec des cellules différentes) et le handover inter-RNC : le Serving RNC et le Drift RNC (un RNC joue l'un ou l'autre des deux rôles pour une communication). Chaque communication met en œuvre un Serving RNC, et passe par 0, 1 ou plusieurs Drift RNC :

Le Serving RNC gère les connexions radios avec le mobile et sert de point de rattachement au réseau de base via l'interface lu. Il contrôle et exécute le handover.

- Le Drift RNC, sur ordre du Serving RNC, gère les ressources radios des Node B qui dépendent de lui. Il effectue la recombinaison des liens lorsque du fait de la macrodiversité plusieurs liens radios sont établis avec des Node B qui lui sont attachés. Il "route" les données utilisateur vers le Serving RNC dans le sens montant et vers les Node B dans le sens descendant.

Par exemple, Lorsqu'une communication est établie par un équipement usager, une connexion de type RRC (Radio Resource Control) est établie entre celui-ci et un RNC du réseau d'accès UTRAN.

Dans ce cas de figure, le RNC concerné est SRNC (Serving RNC). Si l'utilisateur se déplace dans le réseau, il est éventuellement amené à changer de cellule en cours de communication. Il est d'ailleurs possible que l'utilisateur change de NodeB vers un NodeB ne dépendant plus de son SRNC. Le RNC en charge de ces cellules distantes est appelé « controlling RNC ». Le « drift RNC » a pour fonction de router les données échangées entre le SRNC et l'équipement usager.

La figure ci-dessous illustre les différents échanges de signaux entre Serving RNC et Drift RNC lors de la communication.

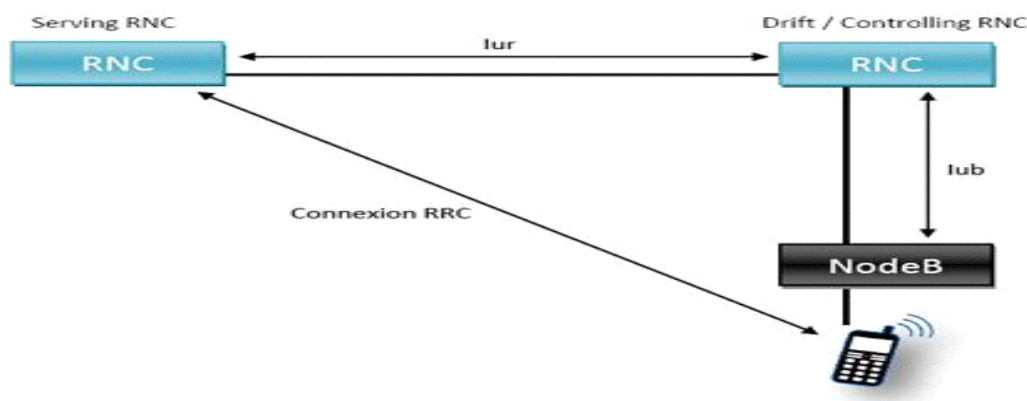


Figure 1.8 : Représentation graphique de l'exemple de communication

I.4.2.3. Interfaces

Les interfaces du réseau d'accès UTRAN sont d'écrite dans le tableau I.2.

Interface	Localisation	Descriptif en bref	Equivalent GSM/GPRS
Uu	UE-UTRAN	Interface radio qui permet au mobile de communiquer avec l'UTRAN	Um
Iu	UTRAN-réseau cœur	Iu-CS permet au RNC de communiquer avec le MSC/VLR	A
		Iu-PS permet au RNC de communiquer avec le SGSN	Gb
Iur	RNC-RNC	Communication entre deux RNC notamment dans le cadre de la procédure de macro diversité	
Iub	Noeud B-RNC	Communication entre le Noeud B et RNC	Abis

Tableau I.2 : Les interfaces du réseau d'accès UTRAN

I.4.3. Réseau cœur

Le réseau Cœur (Core network) est la partie du système chargée de la gestion des appels. Il Permet aux abonnés de communiquer à l'intérieur d'un même réseau de téléphonie mobile et assure l'interconnexion de ce dernier avec des réseaux externes, fixes ou mobiles. Il fournit enfin les logiciels d'application qui permettent, tout en garantissant la sécurité des échanges, de maintenir la communication, même lorsque l'utilisateur est itinérant.

La figure 1.9 représente l'architecture du réseau cœur de l'UMTS :

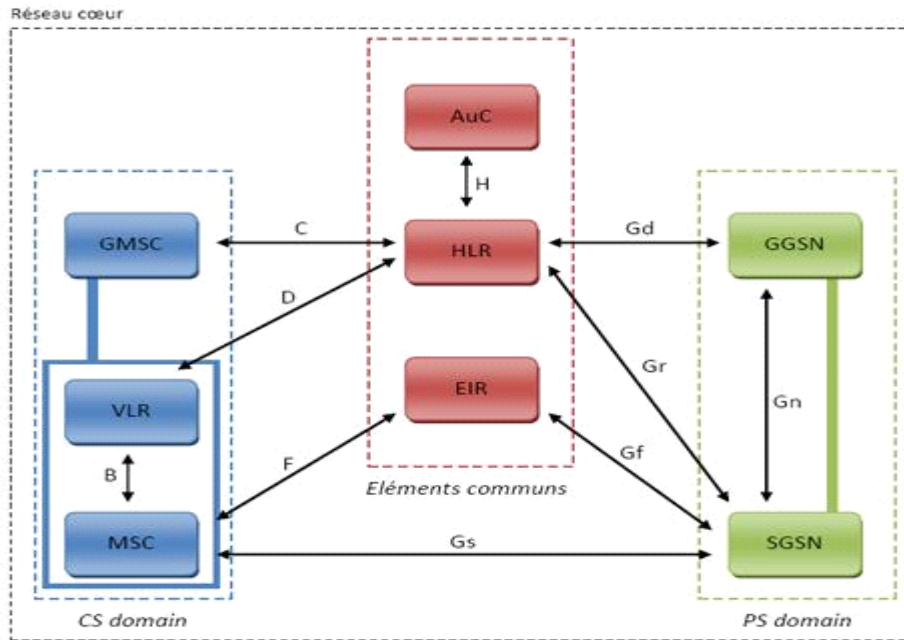


Figure I.9 : Architecture du réseau cœur de l'UMTS

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de trois parties dont deux domaines

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie
- Le domaine PS (PacketSwitched) qui permet la commutation par paquets.

I.4.3.1. Le domaine CS

Le domaine CS est composé de plusieurs modules :

- Le MSC (Mobile-services Switching Center) est en charge d'établir la communication avec l'équipement usager. Il a pour rôle de commuter les données.
- Le GMSC (Gateway MSC) est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (Public Switched Téléphone Network). Si un équipement usager contacte un autre équipement depuis un réseau extérieur au réseau UMTS, la communication passe par le GMSC qui interroge le HLR pour récupérer les informations de l'utilisateur. Ensuite, il route la communication vers le MSC dont dépend l'utilisateur destinataire.
- Le VLR (Visitor Location Register) est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire l'identité temporaire de l'équipement usager dans le but d'empêcher l'interception de l'identité d'un utilisateur. Le VLR est en charge d'enregistrer les utilisateurs dans une zone géographique LA (Location Area).

I.4.3.2. Le domaine PS

Le domaine PS est composé de plusieurs modules :

- Le SGSN (Serving GPRS Support Node) est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique dans une zone de routage RA (Routing Area)
- Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet.

Le domaine PS s'appuie sur l'architecture du réseau fédérateur GPRS. Il assure la connexion aux réseaux utilisant le protocole IP (Internet, Intranet) et aux réseaux X.25. Il est approprié à la transmission de données.

I.4.3.3. Les éléments communs aux domaines CS et PS

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication paquets et circuits. Ces domaines peuvent être considérés comme des domaines de service. Ce type d'architecture permet de pouvoir créer ultérieurement d'autres domaines de service.

1.5 La technique WCDMA

Le WCDMA est un système d'accès multiple par répartition de codes utilisant une modulation par séquence directe (DS-WCDMA) large bande garantissant un débit élevé et un grand nombre de UEs (du fait qu'il utilise la méthode CDMA comme technique d'accès), en plus de ces deux avantages, on cite :

- Transmission efficace en mode paquet.
- Compatibilité avec les systèmes 2G et possibilité d'intégrer de nouvelles technologies.
- Gain de traitement plus élevé.
- Possibilité de transmettre des services à haut débit.
- Meilleure performance pour détecter les trajets multiples.
- Support des deux modes FDD et TDD.

➤ **Les avantages :**

- Efficacité spectrale
- Sécurité de la transmission : le signal codé est détectable comme étant du bruit.
- Handover

- Gestion du plan de fréquences
- Concentration de trafic

➤ **Inconvénient**

- L'étalement de spectre est très consommateur en bande passante
- Plus il y a d'utilisateurs, plus de codes distincts doivent être utilisés

I.5.1 L'étalement du spectre

L'étalement de spectre est la technique qui permet de transmettre un signal sur une largeur de bande plus grande que celle qui est strictement nécessaire. Le facteur le plus important dans l'étalement est le gain de traitement noté G_p , et donné par la relation : $G_p = D_{\text{chip}}/D_{\text{info}}$ (D pour débit). Dans le système CDMA le signal de données sera élargi en spectre pour être transmis, deux techniques différentes sont utilisées pour élargir ou moduler le signal :

- La séquence directe DS-SS-CDMA : qui est utilisé en UMTS et consiste à multiplier les symboles d'information par une séquence pseudo-aléatoire de bits de durée plus petite, appelés chips, de telle sorte qu'un symbole informationnel soit représenté par M chips (M étant la longueur de la séquence).
- Le saut de fréquence FH-SS-CDMA : dans ce cas la fréquence est changée M fois pendant la durée d'un symbole.

Le signal étalé peut se trouver noyé dans l'interférence au point qu'il donne illusion d'en faire partie, d'où l'impossibilité de le détecter sans connaître le code d'étalement dans le cas du DS-SS-CDMA.

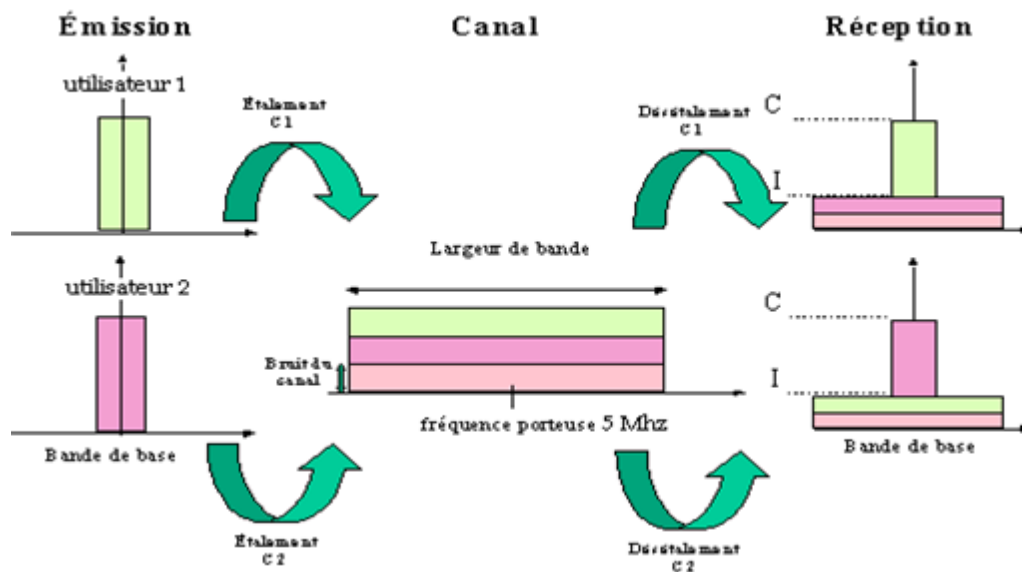


Figure I.10 : Etalement du spectre dans le WCDMA.

I.5.2. Utilisation du DS-CDMA dans l'étalement du spectre

Le CDMA à séquence directe est la technique la plus répandue dans les systèmes de radiocommunication mobile, dans laquelle le signal est directement modulé par une séquence appelée séquence d'étalement ou code de canalisation, les composants de cette séquence sont les chips et ont un débit fixe égale à 3.84 Mcps (dans l'UMTS). L'amplitude des chips prend les valeurs (+1) et (-1). Ainsi un service à haut débit nécessitera moins de chips pour coder un symbole d'information qu'un service à faible débit.

A la réception, le signal est transformé en bande de base, puis multiplié par le même code utilisé en émission ce qui a pour effet d'enlever la contribution du code et de ne garder que le message d'information.

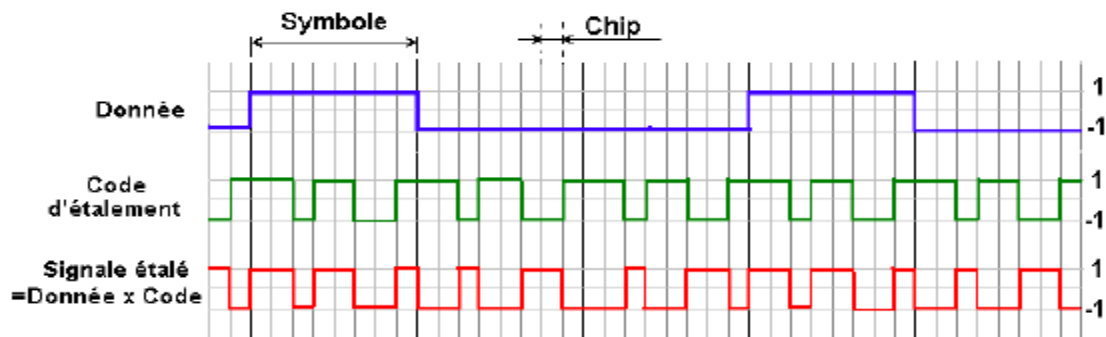


Figure I.11 : Étalement du spectre avec DS-CDMA.

La longueur du code utilisé est appelée facteur d'étalement SF (Spreading Factor) et dépend du débit Symbole.

$$SF = D_{\text{chip}} / D_{\text{symbole}}$$

$D_{\text{chip}} = 3.84$ Mcps. Ces codes doivent être orthogonaux en Downlink et pas nécessairement en Uplink.

La génération des codes fait appel à plusieurs techniques parmi lesquelles, on peut citer :

a) Codes de Walsh-Hadamard

Ils vérifient la condition d'orthogonalité, ils sont choisis d'après l'ensemble des fonctions proposées par Walsh, leur génération par matrice de Hadamard est la plus courante ; elle est sous la forme :

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \bar{H}_N \end{bmatrix}$$

Avec $N =$ puissance de 2, et $H_1 = [1]$.

Ces codes sont également appelés facteurs d'étalement orthogonaux à longueur variable (OVSF). On peut aussi les obtenir en utilisant l'arbre de Walsh à condition de ne pas utiliser les codes issus d'une même branche mère en même temps.

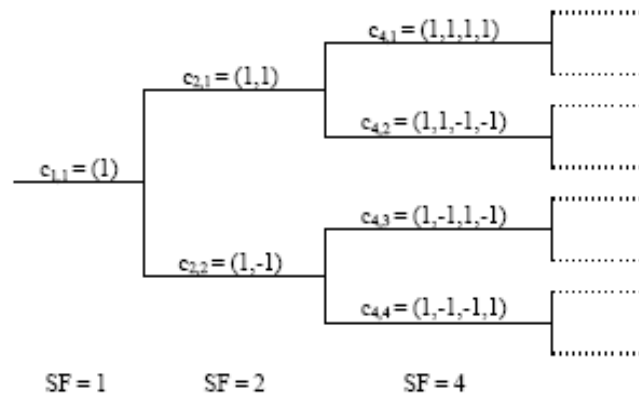


Figure I.12 : Arbre des codes OVSF.

b) Codes pseudo-aléatoires :

Appelés également les M-séquences. Ce sont des codes qui ont des propriétés assez intéressantes, vu leurs ressemblances aux séquences aléatoires ce qui les rend difficiles à détecter. Ils sont générés par des registres à décalage avec contre réaction, ils ne sont pas orthogonaux et leur utilisation en CDMA découle des bonnes propriétés d'autocorrélation.

c) Codes de Gold :

Un code Gold est une combinaison de deux m-séquences, il est caractérisé par ses bonnes propriétés d'intercorrélation et le grand nombre des de codes générés. Ces codes ne sont pas orthogonaux.

d) Code d'embrouillage :

Il est appliqué après l'étalement son rôle est de distinguer les UE dans le Uplink, et de différencier les cellules dans le Downlink, cela est très efficace car il permet d'utiliser les codes de canalisation une autre fois dans les autres cellules. Les couches supérieures assignent en Uplink 224 codes longs ayant une longueur de 38400 chips et 224 codes courts de longueur 256 chips. En Downlink, ces codes sont divisés en 64 groupes de 16 codes chacun de taille 256 chips, connus lors de la deuxième étape de synchronisation au niveau slot.

I.6. Duplexage

Le duplexage permet de séparer les communications voies montante et descendante. Pour le standard du 3GPP, il existe deux variantes majeures:

- FDD: Frequency Division Duplex, le mode FDD utilise deux fréquences radio distinctes pour les transmissions (Uplink/Downlink). Une paire de 60 MHz en bande de fréquences est allouée pour ce mode,
- TDD: Time Division Duplex, le mode TDD utilise les mêmes fréquences radio pour les transmissions (Uplink/Downlink). Deux bandes de fréquences lui sont allouées: une bande de 20 MHz et une bande de 15 MHz.

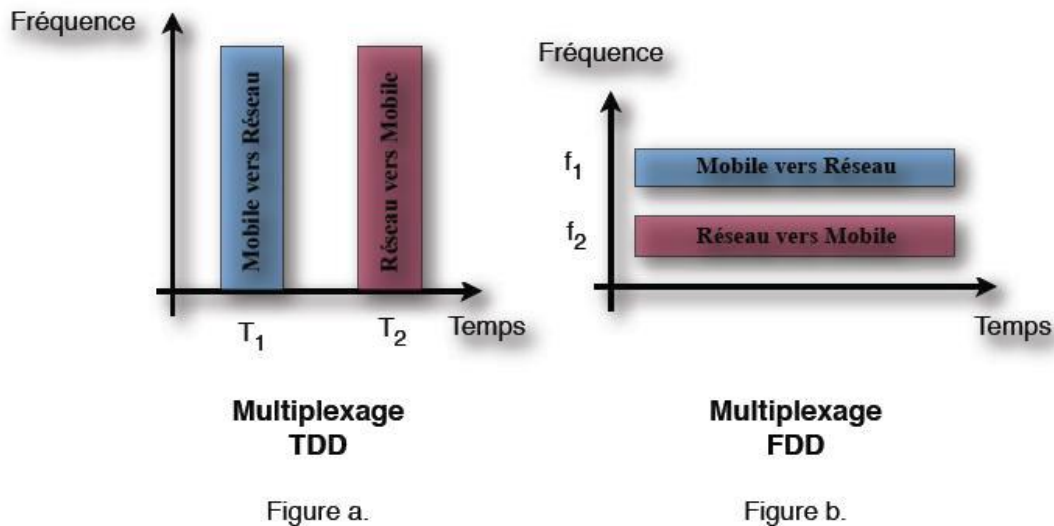


Figure I.13 : Multiplexage FDD et TDD

En TDD, une seule et unique fréquence est utilisée alternativement par les deux voies de communications. Cette technique est la plus flexible lorsque le spectre n'est disponible qu'en quantité limitée. En revanche, en FDD, chaque sens de communication (Mobile vers Réseau et Réseau vers Mobile) utilise une fréquence particulière. Le mobile et le réseau peuvent donc transmettre simultanément. L'un des inconvénients de cette technique réside dans l'écart duplex, entre les deux voies de communication. La nécessité de maintenir cet écart, également appelé "Bande de Garde", entraîne une sous-utilisation du spectre radio. En FDD, on attribue en général la même quantité de spectre aux deux voies de communication, ce qui est tout à fait adapté aux applications présentant un débit symétrique, comme la téléphonie. En revanche, lorsque les débits ne sont pas équilibrés (comme la navigation sur internet), cette technique n'est pas optimale

Bande	Voie montante	Voie descendante	Séparation des canaux
I	1920 – 1980MHz	2110 –2170MHz	190MHz
II	1850 –1910MHz	1930 –1990MHz	80MHz
III	1710-1785MHz	1805-1880MHz	95MHz

Tableau I.3 : Bandes de fréquences de mode FDD

I.7. Les canaux

Le standard 3GPP a normalisé 3 grandes classes de canaux de communications : les canaux logiques, les canaux de transport et les canaux physiques.

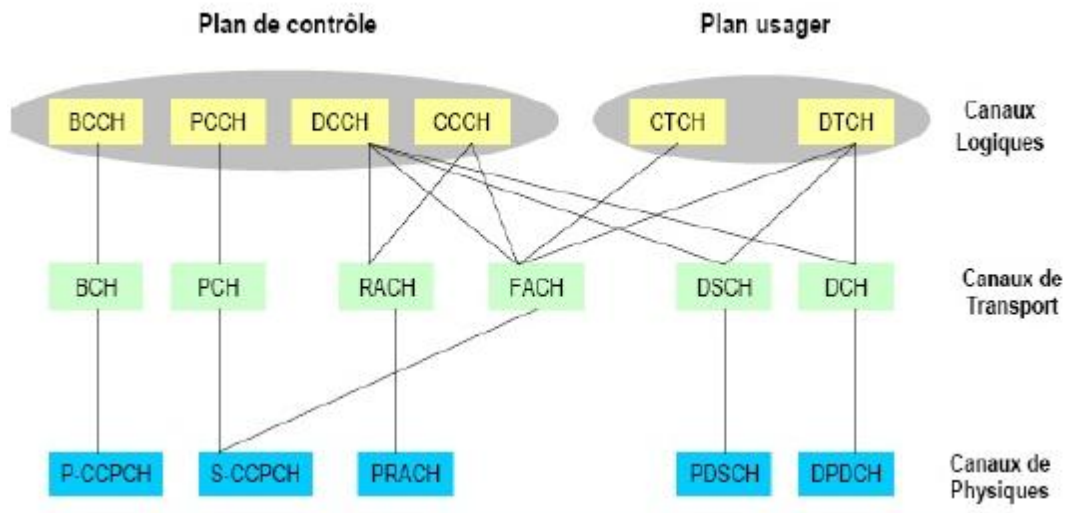


Figure I.14 : Canaux dans l'UMTS

Ces différentes classes de canaux ont été créées pour garantir l'indépendance entre les différents niveaux fonctionnels de l'interface radio. La définition de canaux propres à chaque niveau donne une grande flexibilité à l'UTRAN en lui permettant de s'adapter à la multitude d'applications envisagées pour les réseaux 3G.

I.7.1 Canaux Logiques

Le tableau I.4, suivant, synthétise les canaux logiques de l'UMTS.

	canaux	rôle
Trafic	DTCH (Dedicated Traffic Channel)	Pour le transfert des données à un utilisateur ; bidirectionnel
	CTCH (Common Traffic Channel)	Canal point à multipoint pour le transfert de données à un groupe d'utilisateur ; DL uniquement
Contrôle	BCCH (Broadcast Control Channel)	Pour la diffusion d'information système ; DL uniquement
	PCCH (Paging Control Channel)	Pour le paging ; DL uniquement envoi des messages de paging aux mobiles
	DCCH (Dedicated Control Channel)	Pour le transfert d'information de contrôle (établissement d'appel, handover, etc.) dédiée à un utilisateur bidirectionnel
	CCCH (Common Control Channel)	Pour le transfert d'information de contrôle partagée par les utilisateurs (accès initial, réponse à l'accès initial) bidirectionnel

Tableau I.4 : Canaux logiques de l'UMTS

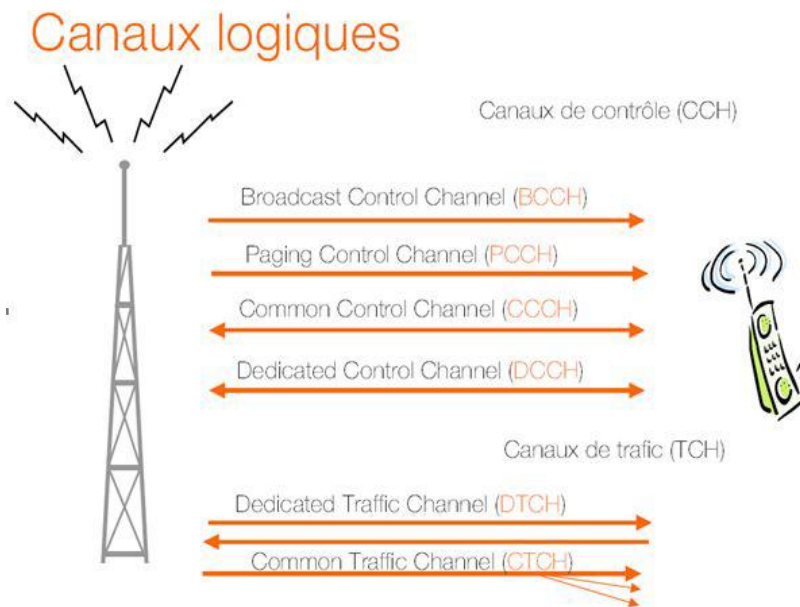


Figure I.15 : Structure des canaux logiques

I.7.2. Canaux de transport

La notion d'un canal de transport est liée généralement à la manière dont les données sont regroupées et transportées dans les canaux physiques, pouvant transporter des données sans aucune protection.

Ainsi, à chaque canal de transport, l'UTRAN associe une liste d'attributs, appelée TFS (Transport Format Set), destinée à représenter le format et la manière dont les données sont transmises, Afin d'utiliser les ressources radio le plus efficacement possible. Le tableau I.6 synthétise les canaux logiques du mode FDD et TDD de l'UMTS.

canaux	description
Dedicated Channel (DCH)	- Canal bidirectionnel, Dédié uniquement pour un seul utilisateur
Les canaux Downlink	
Broadcastchannel (BCH)	Emission d'informations du système et de la cellule spécifique
Paging channel (PCH)	Transmission de pagination et messages d'avis
Forwardaccesschannel (FACH)	- Seulement en mode TDD - Porte le contrôle dédié ou des données de trafic
Downlinksharedchannel (DSCH)	Utilisé pour contrôle dédié ou données de trafic
Les canaux Uplink	
Randomaccesschannel (RACH)	Initie l'accès ou le contrôle dédié en temps non réel ou les données de trafic
Common packetchannel (CPCH)	- Seulement en mode FDD - Transmission de burst données de trafic
Uplinksharredchannel (USCH)	- Seulement en mode TDD - Porte le contrôle dédié ou des données de trafic

Tableau I.5 : Les canaux de transport de l'UMTS

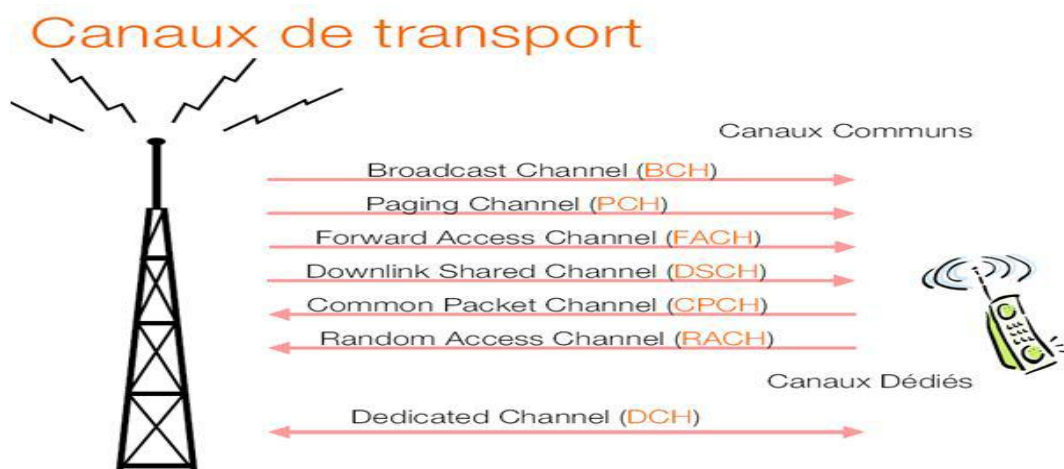


Figure I.16 : Structure des canaux de transports

I.7.3 Les Canaux physiques

Le canal de transport, caractérise la manière dont les informations sont transmises sur l'interface radio. Un canal physique peut supporter plusieurs canaux de transport ou un canal de transport peut être supporté par deux canaux physiques distincts.

	canaux	rôle
Dédiés	DPDCH (Dedicated Physical data channel)	Pour le transport des données dédiées à un utilisateur ; bidirectionnel
	DPCCH (Dedicated Physical control channel)	Pour le contrôle du DPDCH ; Bidirectionnel
Communs (visibles des couches supérieures)	PRACH (Physical random access channel)	Pour l'accès initial des mobiles dans le réseau ; UL uniquement
	PCPCH (Physical common packet channel)	Canal partagé montant ; UL Uniquement
Communs (visibles des couches supérieures)	PDSCH (Physical downlink shared channel)	Canal partagé pour des transmissions descendantes sporadiques ; DL uniquement
	PCCPCH (Primary common control Physical channel) SCCPCH(secondary common control Physical channel)	Diffusion d'information système (primary) ; paging et réponse des couches hautes aux accès initiaux (secondary) ; DLuniquement
Communs(uniquement couche physique)	AICH (acquisition indicatorchannel)	Pour une réponse de la couche physique aux accès initiaux ; DL uniquement
	SCH (synchronizationchannel)	Permet au mobile de se n synchroniser au réseau ; DLuniquement
Communs (uniquement couche physique)	CPICH (commonpilotchannel)	Canal pilote commun ; permet au mobile de se synchroniser sur la cellule et d'estimer la puissance reçue (mesure à l' origine des Handover).

Le tableau I.6 synthétise les canaux physiques du mode FDD de l'UMTS

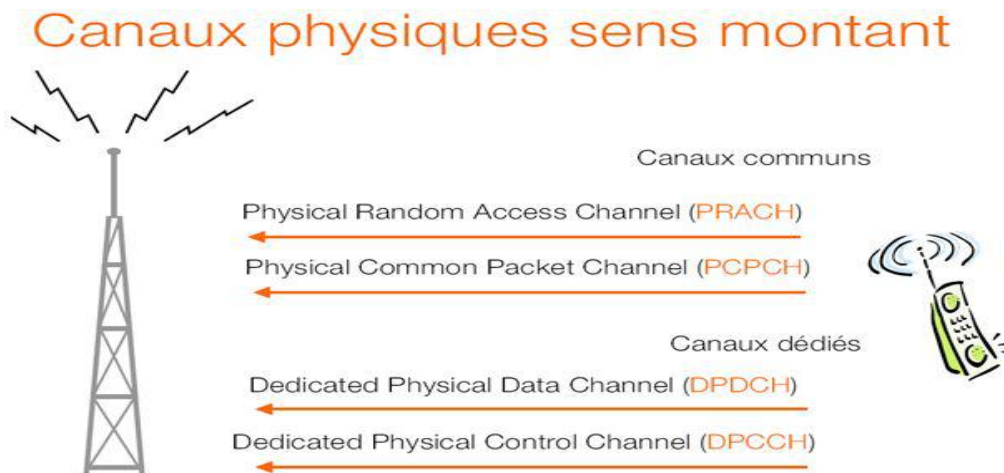


Figure I.17 : Structure des canaux physiques en sens montant communs (Uplink)

➤ Canaux Physiques Communs (PCCH)

En liaison montante il n'y a qu'un seul canal PCCH : c'est le canal aléatoire (Physical Random Access Channel, PRACH).

En liaison descendante, il existe deux canaux : le canal commun de contrôle (Common Control Physical Channel, CCPCH), le canal de Synchronisation (Synchronization Channel, SCH). Ce sont en fait des canaux de contrôle. Ils servent à émettre des informations de contrôle de transmission à la station mobile.

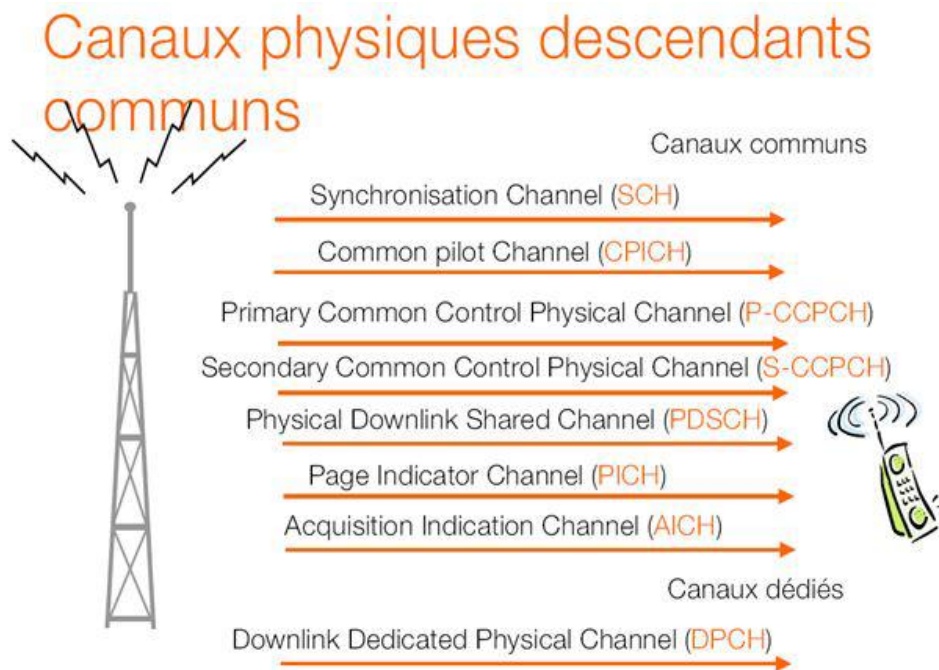


Figure I.18: Structure des canaux physiques en sens descendants communs (Downlink)

I.8. Le contrôle de puissance

Le contrôle de puissance est primordial. Sans lui, un seul terminal mobile émettant à une puissance trop élevée pourrait empêcher tous les autres terminaux mobiles de la cellule de communiquer, puisque tous les utilisateurs émettent dans la même bande de fréquence.

Chaque utilisateur peut être une source d'interférence pour les autres. Il est donc important de mettre en œuvre un mécanisme qui permet aux terminaux mobiles d'ajuster leur puissance d'émission tout en garantissant une bonne réception à la station de base. Ce problème se pose aussi pour les puissances émises par la station de base pour limiter les interférences intercellulaires. Le contrôle de puissance est donc nécessaire dans les deux sens.

I.8.1 Le contrôle de puissance sur le lien montant

Trois boucles de contrôle de puissance sont mises en œuvre :

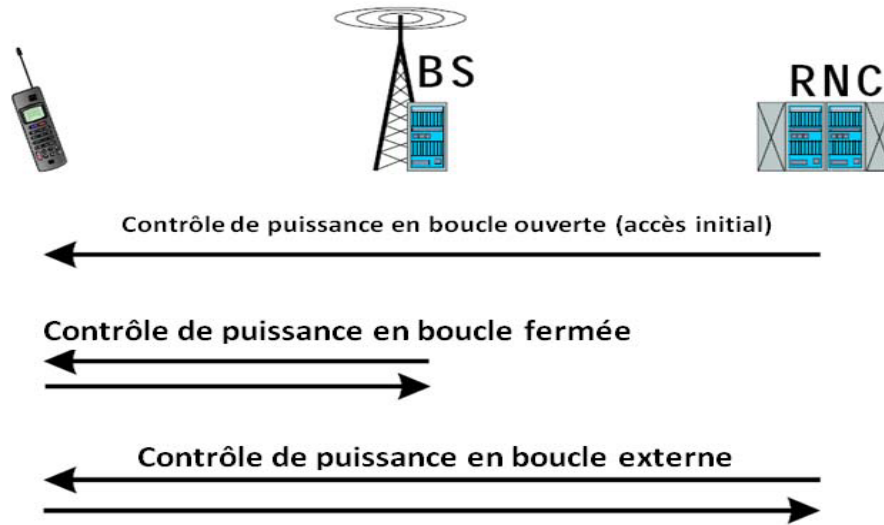


Figure I.19: Différents types de contrôle de puissance.

I.8.1.1 Le contrôle de puissance Open-loop (Slow)

Le contrôle de puissance Open-loop est utilisé pour initialiser le niveau de puissance au début de la communication. Le mobile ajuste la puissance d'émission de sa demande d'accès en fonction de la perte de propagation mesurée grâce au CPICH. La perte de propagation est la même sur les deux liens. Perte de propagation = Puissance émise - Puissance reçue.

I.8.1.2 La boucle fermée intérieure entre le Nœud B et le mobile (innerloop)

Elle contrôle la puissance d'émission du mobile tous les slots, soit avec une fréquence de 1500 Hz. pour lutter contre les effets des évanouissements. Le nodeB dispose d'un seuil E_b/N_0 qui dépend de la nature de la communication en cours. Le NodeB envoie une consigne au mobile lui demandant d'augmenter ou de réduire sa puissance d'émission en fonction de E_b/N_0 mesuré et du seuil.

I.8.1.3 La boucle extérieure entre le RNC et le Nœud B (Contrôle de puissance outerloop)

C'est une boucle lente qui fixe la valeur du seuil. Cette valeur est fixée d'après une mesure du pourcentage de trames erronées. La boucle extérieure permet d'éviter l'effet d'éblouissement.

I.8.2 Contrôle de puissance sur le lien descendant

Il y a uniquement un contrôle de puissance rapide en boucle fermée. Chaque mobile demande au NodeB d'augmenter ou de diminuer sa puissance d'émission de tous les slots sur le code de

canalisation correspondant. Si beaucoup de mobiles demandent une augmentation de puissance, il faut transférer certains mobiles sur des cellules moins chargées.

I.9 Le handover

Le handover gère la mobilité des usagers. Notons que les terminaux mobiles ont un récepteur de RAKE récupérer le maximum d'énergie du signal sur les différents trajets empruntés et éventuellement sur les différentes antennes. Différents types de handover existent suivant la position de l'utilisateur mobile dans la cellule : soft handover, softer handover ou hard handover.

L'utilisation du soft handover et du softer handover permet d'accroître les performances de la liaison en y ajoutant une forme de diversité. Il est cependant nécessaire de minimiser les situations de soft handover, sous peine de gaspiller les ressources et diminuer la capacité du système. Le traitement de handover est défini pour les services de type circuits et les stations de base utilisent plusieurs récepteurs à corrélations qui forment les services de types données. Pour le premier cas de figure, les handovers peuvent être implantés comme soft, softer ou hard handover. Pour les services de types données, le seul type de handover défini est la ré-sélection de cellule.

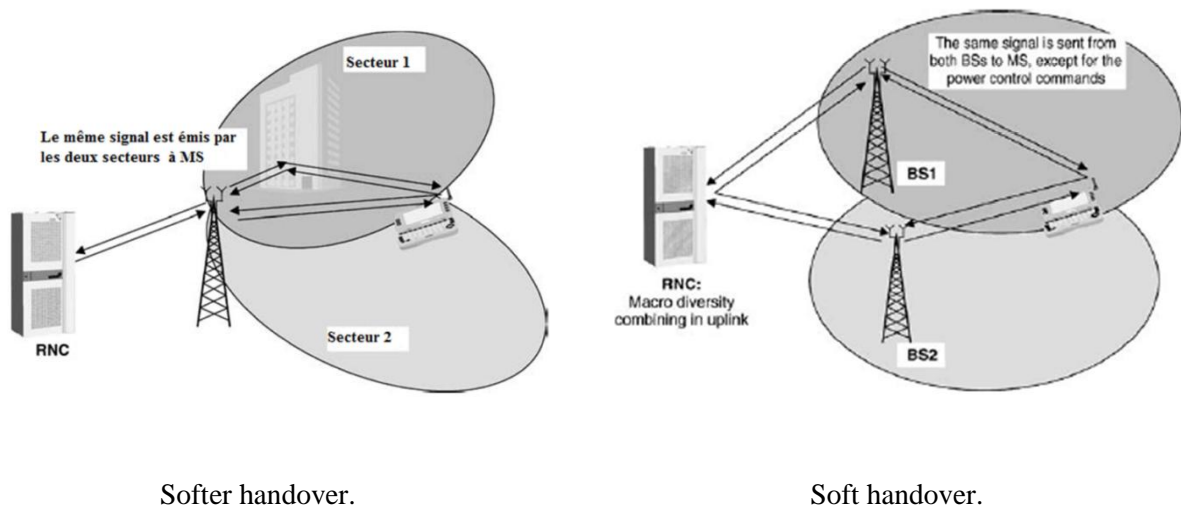


Figure I.20: Le soft et le softer handover

I.9.1. Le Soft Handover

Un soft handover survient entre deux cellules ou des secteurs qui sont supportés par différents Node B d'une même station de base. L'UE transmet ses données vers différents Node B simultanément et reçoit des données

de ces différents Node B simultanément. Dans le sens descendant, les données utilisateur délivrées à l'UE sont émises par chaque Node B simultanément et sont combinées dans l'UE.

Dans le sens montant, les données utilisateur émises par l'UE sont transmises à chaque Node B qui les chemine au RNC où elles sont combinées.

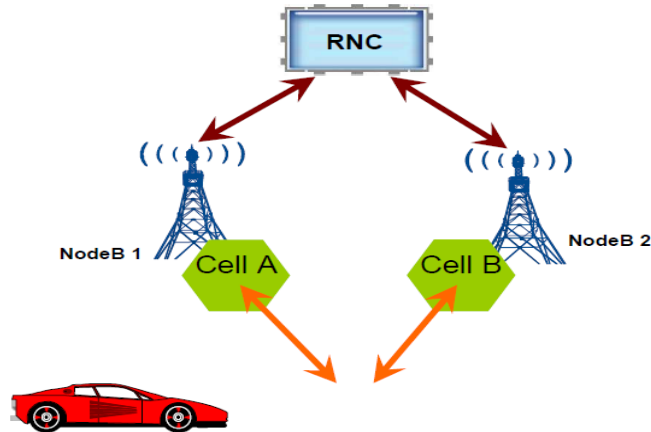


Figure I.21: Soft-handover.

Dans le Handover soft, nous avons :

- **SofterHandover** : lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone de couverture commune de deux secteurs couverts par la même station de base ;
- **Soft Handover** : Lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux stations de base. Les communications du mobile empruntent simultanément deux canaux différents pour atteindre les deux stations de base.

I.9.2. Le Hard Handover

Dans le Handover Hard, nous avons :

- **Hard handover inter-fréquences** : permet à un appareil mobile de passer d'une fréquence à une autre ;
- **Hard handover inter-systèmes** : permet à un appareil mobile de passer d'un système à un autre.

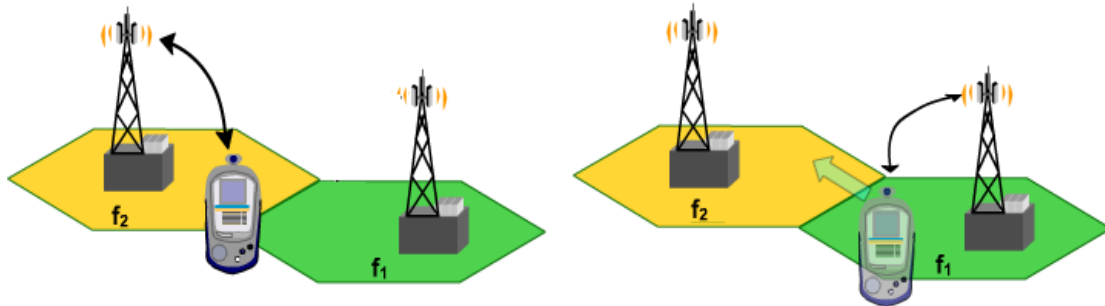


Figure I.22: Hard Handover

I.10 Evolution de l'UMTS

I.10.1. La technologie HSPA

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

❖ Débit maximum théorique

Ils permettent d'atteindre des débits théoriques maximum de 14,4 Mbit/s en descente et 5,8 Mbit/s en montée selon la mise en service de ces deux normes par les opérateurs et la compatibilité du terminal utilisé.

I.10.2. La technologie HSDPA

La technologie HSDPA (High Speed DownlinkPacket Access) représente la première étape d'évolution. Cette technologie permet d'obtenir des débits théoriques supérieurs à 10 Mbits/s sur le lien descendant et de supporter des services à valeur ajoutée, tels que l'accès Internet à haute vitesse, le téléchargement de fichiers audio et vidéo, la réception de programmes télévisés et la visiophonie. Ces améliorations sont rendues possibles grâce à une combinaison de propriétés qui sont à la base du HSDPA et qui consistent à adapter le codage et la modulation en fonction des conditions du canal radio (**AMC : Adaptive Modulation and Coding**), à effectuer des retransmissions rapides de paquets erronés (**HARQ : Hybrid Automatic Repeat reQuest**) et à utiliser des méthodes **d'ordonnancement intelligentes plus rapides**. Même si l'introduction de ces nouvelles techniques contribue à une augmentation de la capacité du système, elle engendre toutefois une plus grande complexité dans l'évaluation de ses performances dans des conditions réelles.

I.10.2.1. Concepts de HSDPA

Le HSDPA repose sur plusieurs concepts :

- un lien radio haut débit, partagé entre tous les utilisateurs dans le sens descendant.
- une retransmission rapide (HARQ).
- un mécanisme de codage de canal et de modulation adaptatifs (AMC) avec l'introduction de la modulation 16-QAM.
- une indication de la qualité du lien radio (CQI) fournie par le terminal mobile au nœud B.
- un ordonnancement rapide (fastscheduling) des paquets à destination des terminaux mobiles qui est assuré au niveau de l'ordonnanceur de paquets que contient le nœud B (packetscheduler).
- un intervalle de temps (ou TTI) plus court et fixé à 2 ms pour réduire les délais de transmission.
- une transmission Multicode en fonction de la « capacité Multicode » du terminal mobile.
- une nouvelle couche MAC-hs dans le nœud B.

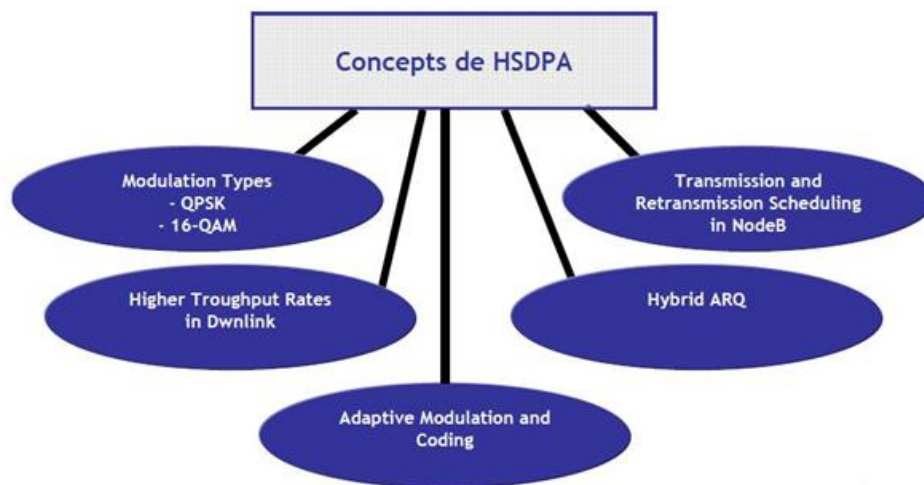


Figure I.23: Concepts du HSDPA.

I.10.2.2 Modulation et codage adaptatifs (MCA)

Le groupe 3GPP a normalisé pour le système HSDPA la technique de la modulation et codage adaptatifs (MCA) comme étant un mécanisme d'adaptation du lien à la place des boucles de contrôle de puissance qui sont utilisées par le système UMTS. Pour mettre en œuvre la technique MCA le système HSDPA offre la possibilité d'utiliser des modulations d'ordre supérieur, par exemple le 16-QAM et le 64-QAM avec la modulation QPSK. Dans cette technique, le nœud B change le schéma de modulation et le rendement de codage au fur et à mesure que les conditions de canal varient. En effet,

le mobile mesure pour chaque trame la qualité de propagation du canal de transmission. Lorsque les conditions du canal sont favorables, il demande du nœud B, en utilisant le champ CQI, d'utiliser une modulation d'ordre supérieur avec un rendement du codeur élevé. Par contre, quand, les conditions du canal sont défavorables, le mobile demande du nœud B, en utilisant le champ CQI, de choisir la modulation QPSK avec un rendement du codeur faible. Selon la valeur du champ CQI qui est envoyé par le mobile en utilisant le canal physique HS-DPCCH, le nœud B sélectionne le type de modulation et le rendement du codage canal.

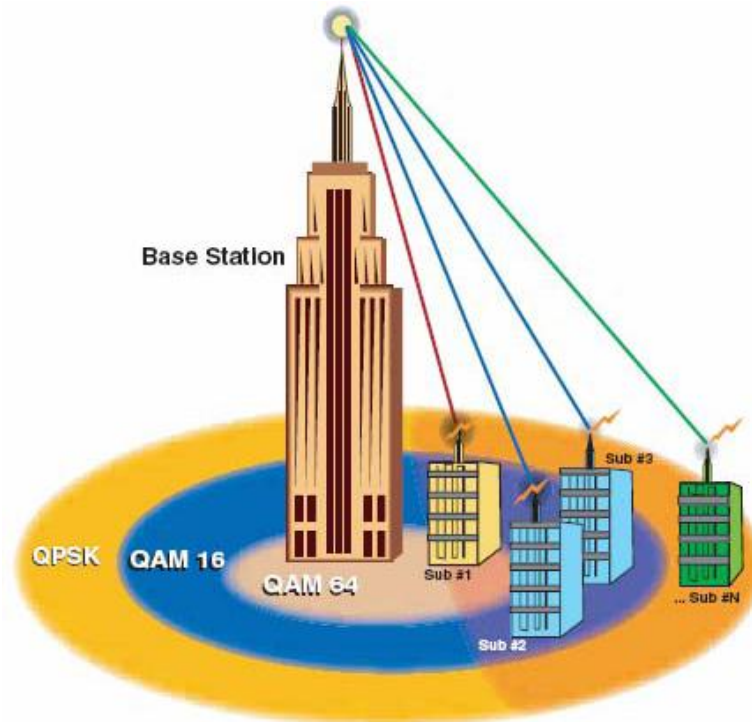


Figure I.24: Modulation et codage adaptatifs.

L'AMC fournit la flexibilité d'adapter la combinaison modulation-codage aux conditions moyennes du canal radio pour chaque utilisateur. Avec l'AMC, la puissance du signal transmis est maintenue constante pendant toute la durée de la trame, en faisant varier le nombre de codes parallèles pouvant être supportés par un terminal et le taux de codage en fonction de la qualité actuelle du signal reçu.

L'utilisation d'un ordre de modulation plus important avec la 16-QAM permet aussi d'augmenter le débit d'une manière significative. Cette nouvelle modulation a été proposée dans la Release 5, mais son utilisation est, contrairement à la modulation QPSK, optionnelle et dépend du type de terminal utilisé.

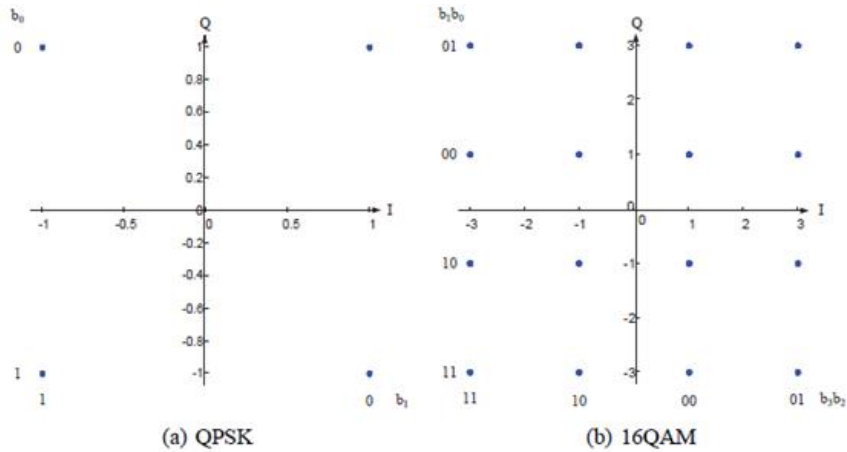


Figure I.25 : Constellations de la modulation 16-QAM et QPSK.

En combinant le type de modulation, le taux de codage et le nombre de codes supportés, nous obtenons plusieurs combinaisons, appelées également schéma de modulation et de codage MCS (Modulation and Coding Scheme), qui ont été proposées par le 3GPP dans la Release 5 et résumées dans le tableau I.5. Ainsi, un utilisateur qui serait proche d'une station de base pourrait se voir attribuer, par exemple, une modulation 16-QAM avec un taux de codage de 3/4 et dont le terminal supporte 15 codes (en parallèles). Cette combinaison lui permettrait de bénéficier d'un débit de l'ordre de 10.7 Mbps sur le lien descendant.

MSC	Modulation	Taux de codage	Débit maximum		
			5 codes	10 codes	15 codes
1	QPSK	1/4	600 Kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
2		2/3	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
3		3/4	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.4 Mbps
4	16-QAM	2/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
5		3/4	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.7 Mbps

Tableau I.7 : Tableau de modulation et de codage MCS sur le lien DL.

I.10.2.3 Canaux radio de HSDPA

Le HSDPA introduit de nouveaux canaux radio : canaux de transport et canaux physiques.

I.10.2.3.1 Le canal HS-DSCH

Avec le HSDPA, différents terminaux mobiles partagent un nouveau canal de transport descendant à haut débit appelé HS-DSCH selon les règles établies par l'ordonnanceur de paquets.

I.10.2.3.2 Le canal HS-PDSCH

Le canal physique partagé à haut débit (HS-PDSCH) supporte le canal de transport HS-DSCH. Le canal HS-PDSCH est partagé entre les différents terminaux mobiles en temps (sur la base d'un intervalle de temps de 2 ms appelé TTI) et en code (en fonction de la « capacité Multicode » du terminal mobile).

Un canal physique HS-PDSCH correspond à un code de canalisation (SF 16) parmi les codes de canalisation réservés à la transmission du HS-DSCH. La transmission Multicode est autorisée, ce qui signifie qu'un terminal mobile peut se voir allouer plusieurs codes de canalisation dans le même TTI. La sous-trame HS-PDSCH correspond à un TTI et rassemble trois intervalles de temps W-CDMA.

I.10.2.3.3. Le canal HS-SCCH

Le canal physique descendant HS-SCCH transporte la signalisation de couche physique associée au HS-PDSCH. Les canaux HS-SCCH sont partagés entre les terminaux mobiles. Le canal HS-SCCH supporte les informations de signalisation suivantes :

- les informations de format de transport et de ressources allouées (TFRI) concernent le jeu de codes de canalisation alloués (et précise sur quels HS-PDSCH est transmis le HS-DSCH dans le TTI associé), la modulation utilisée (QPSK ou 16-QAM) et la taille du bloc de données ;
- les informations liées aux retransmissions rapides HARQ comportent un identifiant de processus HARQ, la version de redondance et de constellation utilisée, ainsi qu'un identifiant NDI (qui est égal à 0 pour le premier bloc de données transmis par le processus HARQ et à 1 pour chaque bloc transmis comportant de nouvelles données) ;
- l'identifiant du terminal mobile permet à un terminal mobile de savoir si les informations transportées par le canal HS-SCCH lui sont destinées.

Le canal HS-SCCH possède un débit fixe de 60 kbit/s correspondant à un facteur d'étalement SF 128. La structure de la sous-trame du canal HS-SCCH est similaire à celle du canal HS-PDSCH à la différence près que les données transportées sont fixées à 40 bits.

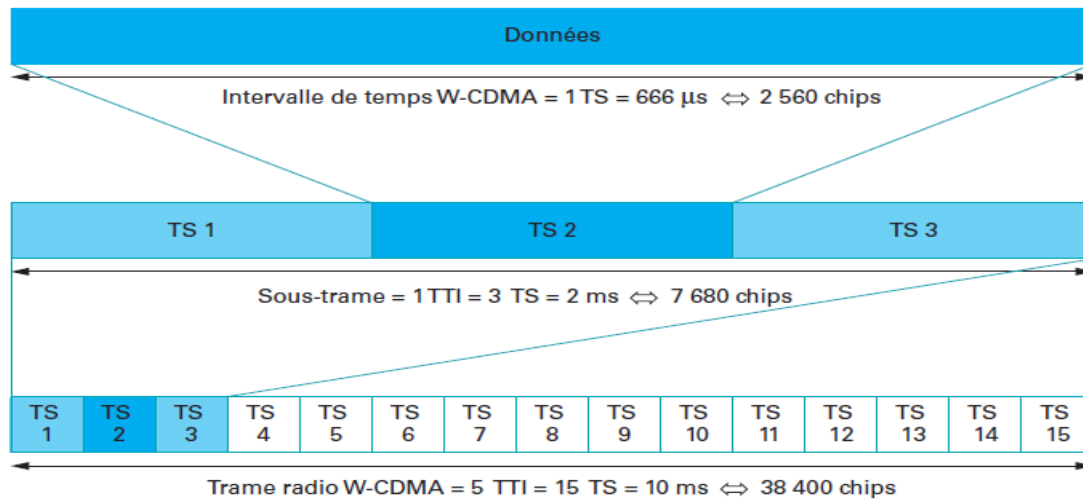


Figure I.26 : Structure de la sous-trame HS-PDSCH.

I.10.2.3.4 Le canal HS-SCCH

Dans le sens montant, chaque terminal mobile connecté au domaine paquet via le HSDPA, se voit allouer un canal physique dédié (HS-DPCCH) pour transporter de la signalisation telle que l'acquiescement (positif ACK lorsqu'un bloc de données est reçu sans erreur par le terminal mobile et négatif NACK dans le cas contraire) et l'indication de qualité de canal (CQI) qui est associée à la combinaison de format de transport et de débits (TFRC) recommandée par le terminal mobile. Les valeurs possibles de CQI dépendent de la catégorie de terminal mobile HSDPA et sont fournies par la spécification (spécification 3GPP TS 25.214). Chaque sous-trame de 2 ms associée au canal HS-DPCCH comporte trois intervalles de temps W-CDMA (ou TS) qui sont utilisés comme suit : le premier transporte l'acquiescement et les deux suivants supportent le CQI.

I.10.2.3.5 Le canal HS-DPCCH

Le HS-DPCCH est un canal physique de la voie montante qui transporte la signalisation reliée à la transmission du canal HS-PDSCH. Cette signalisation est constituée de deux champs d'informations : l'acquiescement négatif ou positif (ACK/NACK) utilisé par la technique HARQ et la qualité du canal de transmission (CQI) pour la gestion de la technique, et utilise un facteur d'étalement SF 256, ce qui correspond à un débit de 15 kbit/s associé à une taille de données de 10 bits par intervalle de temps WCDMA.

I.10.2.4. Couches protocolaires

Le HSDPA apporte une nouvelle manière d'utiliser l'interface radio et déplace une partie des fonctions de la couche MAC du RNC vers le nœud B, avec l'introduction de la couche MAC-hs. Le

HSDPA n'affecte pas les couches situées au-dessus de la couche MAC-hs, c'est-à-dire les couches MAC-d, RLC et PDCP.

I.10.2.4.1 Couche physique

Plusieurs mécanismes sont ajoutés à la couche physique (PHY) pour le HSDPA:

- la gestion des canaux physiques partagés à haut débit (HSPDSCH, HS-SCCH et HS-DPCCH)
- la modulation (16-QAM, en plus de la modulation QPSK) et le codage adaptatif (AMC).
- l'ajout d'un code CRC de 24 bits pour la détection d'erreurs.

I.10.2.4.2 Couche de contrôle d'accès au médium

La couche de contrôle d'accès au médium (MAC) se scinde en deux entités dans le cadre du HSDPA : la couche MAC-d reste dans le RNC et n'est pas modifiée alors que la couche MAC-hs est ajoutée dans le nœud B. Les couches MAC-hs situées dans le terminal mobile et le nœud B ne sont pas dotées des mêmes fonctions :

- la couche MAC-hs du nœudB assure la gestion des données transmises sur le canal de transport HS-DSCH, le contrôle d'accès au canal physique HS-PDSCH (via l'ordonnanceur de paquets), la retransmission rapide (HARQ), la sélection de TFRI, etc.
- la couche MAC-hs du terminal mobile offre en particulier le routage des PDU de type MAC-hs reçues vers la bonne file d'attente (en fonction du numéro de file d'attente Queue Id), la remise en ordre (re-ordering) des PDU de type MAC-hs reçues (en fonction de leur numéro de séquence TSN), la combinaison ou non des PDU de type MAC-hs reçues (en fonction de l'identifiant NDI) ainsi que l'envoi d'acquiescements pour la retransmission rapide (HARQ).

I.10.2.4.3 Couche protocole de trame HSDPA

Sur l'interface Iub du réseau d'accès, les trames radio HSDPA sont transportées par le nouveau protocole de trame HSDPA (HS-DSCH FP) dont le rôle est de véhiculer les trames associées aux canaux de transport HS-DSCH.

I.10.2.5 Mécanisme de retransmission hybride ARQ (HARQ)

Dans la technique HARQ on distingue deux grandes classes de mécanismes : les mécanismes réactifs ARQ (Automatic Repeat reQuest) et les mécanismes proactifs FEC (Forward Error Correction). Dans les mécanismes réactifs, l'émetteur réagit à la signalisation d'une perte de paquet en retransmettant ce paquet. Cette signalisation peut être effectuée par l'émission d'acquiescements positifs ACK (ACKnowledgement) ou négatifs NAK (Negative-ACKnowledgement). En ce qui concerne le

fonctionnement des mécanismes proactifs, l'émetteur rajoute des paquets de redondance permettant au récepteur de récupérer des paquets perdus. Ces paquets de redondance sont calculés en utilisant des codes correcteurs d'erreurs. On dit qu'un système HARQ est adaptatif si on peut réaliser des retransmissions en utilisant un autre type de modulation autre que celui qui a été utilisé pour la transmission originale. On distingue deux variantes de l'HARQ selon que l'on combine ou non les retransmissions :

- **HARQ de type I** : dans cette variante, appelée aussi chase combining ou soft combining, il n'y a pas de combinaison des retransmissions. Le Soft combining fait appel à la retransmission par l'émetteur du même paquet de données codées. Le décodeur au niveau du récepteur combine ces copies multiples du paquet envoyé, pondéré par le rapport signal/bruit reçu.
- **HARQ de type II** : cette technique, connue aussi sous le nom de IR (Incremental Redundancy), contrairement à la précédente qui envoie des répétitions simples de tout le paquet encodé, envoie une information redondante additionnelle d'une manière incrémentale si le décodage échoue à la première tentative.

La technologie HSDPA s'appuie sur un mécanisme HARQ asynchrone et adaptatif et peut fonctionner avec les deux variantes Soft combining et IR. Il est à noter qu'avec la deuxième variante, on obtient de meilleures performances, mais elle nécessite plus de mémoire dans le récepteur du terminal mobile pour stocker les informations de redondance.

I.10.2.6 La stratégie d'ordonnancement

A la différence de l'UMTS dont l'ordonnanceur est localisé au niveau du RNC, l'ordonnanceur du système HSDPA est placé dans le nœud B. Ceci offre une rapidité de la gestion des ressources du réseau et diminue le temps de traitement d'un paquet. La stratégie d'ordonnancement a pour but de contrôler les allocations des ressources du réseau HSDPA.

Elle permet de partager les canaux physiques de données HS-DSCH entre les utilisateurs. La transmission du canal HS-DSCH est basée sur le principe multi-codes avec un facteur d'étalement fixé à 16. Nous pouvons donc générer 16 codes d'étalement orthogonaux dont 15 peuvent être alloués aux utilisateurs d'un nœud B, et le seizième est réservé à l'étalement du canal commun du système UMTS. L'ordonnanceur décide à quels utilisateurs les canaux HS-DSCHs seraient dédiés dans le prochain TTI.

La technique de modulation et codage adaptatifs est ensuite utilisée afin d'adapter les paramètres de transmissions aux variations rapides du canal de transmission. L'allocation de ressources doit tenir en compte des conditions radio de chaque utilisateur ainsi que du délai toléré par chaque service. Elle consiste à allouer le canal à l'utilisateur qui a les meilleures conditions radios ce qui permet d'utiliser des modulations et des codages d'ordre plus élevé et d'accroître ainsi la capacité du système. Ce genre

d'ordonnancement risque de bloquer des utilisateurs situés en bordure du nœud B et dont la condition de transmission ne sont pas toujours favorables, au prix d'augmenter la capacité totale du réseau .

I.10.3. Réseau HSUPA

High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) est une évolution de l' UMTS, dont les spécifications ont été publiées par le 3GPP dans la « release 6 ». HSUPA est un complément de HSDPA (High Speed DownlinkPacket Access) pour la voie montante. HSUPA, présenté comme le successeur de HSDPA, porte le débit montant (Uplink) à 5,7 Mbit/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 14 Mbit/s comme en HSDPA.

L'intérêt d'HSUPA est d'offrir la possibilité d'émettre facilement des contenus volumineux (photos, audio, vidéo) vers d'autres mobiles mais également vers les plates-formes de partage sur Internet. Cette technologie est un pas significatif vers l'accès aux applications Web 2.0 sur l'Internet mobile. La technologie HSUPA, est une évolution du Haut Débit Mobile. Le HSUPA reprend un certain nombre de concepts développés dans le cadre du HSDPA à savoir:

- un lien radio haut débit, dédié à un utilisateur dans le sens montant.
- un mécanisme de sélection améliorée de combinaison format de transport (sélection E-TFC).
- un établissement rapide du lien radio sur la voie montante.
- une attribution de ressources absolue (absolute grant) et relative (relative grant).
- un intervalle de temps (ou TTI) de 10 ms ou plus court, de 2 ms afin de réduire les délais de transmission.
- un support possible de la macro diversité (soft handover).
- deux nouvelles couches protocolaires : MAC-e et MAC-es.

I.10.3.1 Architecture de HSUPA

L'architecture de l'HSUPA est conçue sur plusieurs principes dont l'UplinkScheduling. Cet UplinkScheduler est situé dans le Nœud B (Interface air - fixe du réseau UMTS) comme le DownlinkScheduler de la technologie HSDPA. La tâche de ce Scheduler est de contrôler les ressources montantes (de l'utilisateur au réseau) de chaque mobile demandeur et, si nécessaire, de limiter ou de bloquer certains trafics. Le mécanisme est basé sur la gestion de la disponibilité absolue ou relative. La part absolue est utilisée à l'initialisation du processus alors que la part relative est utilisée pour augmenter ou diminuer la puissance utilisée.

Le second principe est le protocole HARQ, employé pour effectuer une retransmission robuste lors d'erreurs de transmission. Ce protocole est utilisé par le nœud B qui, en cas d'erreurs dans la réception des paquets de données, peut demander la retransmission de ceux-ci. Pour chaque paquet reçu, le

nœud B enverra un accusé de réception ACK dans le cas d'une réception sans erreur ou NACK dans le cas contraire. Pour répondre aux besoins de certaines applications critiques, l'architecture HSUPA permet une réduction de l'intervalle du temps de transmission à 2 millisecondes, correspondant à 3 «Time slots» contre 10 millisecondes normalement dans un lien radio standard composé de 5 «subframes». Toutefois, cette réduction de temps n'est pas obligatoire dans cette technologie.

I.10.3.2 Les canaux du HSUPA

L'ordonnancement et le protocole HARQ étant situés dans le Node B, ils permettent de réagir rapidement sur la liaison radio. Pour réaliser ces nouvelles performances, la technologie HSUPA propose un nouveau canal physique et de transport appelé E-DCH.

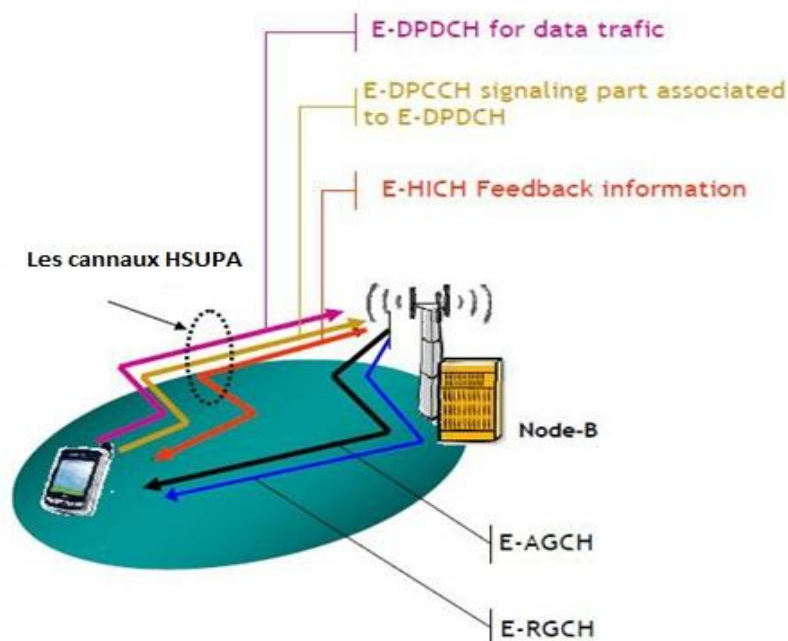


Figure I.27: Canaux introduits pour le support du HSUPA.

Pour la couche physique, cela se traduit par deux nouveaux composants dans le canal montant : E-DPDCH et E-DPCCH et de trois nouveaux composants dans le canal descendant : E-AGCH, E-RGCH et E-HICH.

I.10.3.2.1 Enhanced Uplink Dedicated Channel

Un terminal mobile HSUPA se voit allouer, pour une durée déterminée, un canal de transport (dédié) dans le sens montant E-DCH qui est utilisé pour transmettre des paquets en fonction des règles établies par l'ordonnanceur de paquets.

I.10.3.2.2 E-DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)

Le canal physique EDPDCH a été défini afin de supporter le canal de transport E-DCH et transporte les PDU de types MAC-e en provenance des différents terminaux mobiles l'utilisant.

Chaque trame radio W-CDMA est divisée en 15 intervalles de temps W-CDMA (ou TS) et une sous-trame est formée par 3 TS, si bien qu'il existe 5 sous-trames de 2 ms par trame W-CDMA. Le canal dédié E-DPDCH et son canal associé E-DPCCH sont transmis en parallèle dans un même TS. Le facteur d'étalement du canal E-DPDCH varie de SF 2 à SF 256, ce qui correspond à des débits s'étalant de 1920 à 15 kbit/s respectivement.

I.10.3.2.3 E-DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)

Le canal physique E-DPCCH transporte la signalisation de couche physique associée au canal E-DPDCH. Pour cette raison, il est appelé « canal associé ». Il est transmis avec un facteur d'étalement fixé à SF 256, ce qui correspond à 10 bits par intervalle de temps W-CDMA et à un débit de 15 kbit/s.

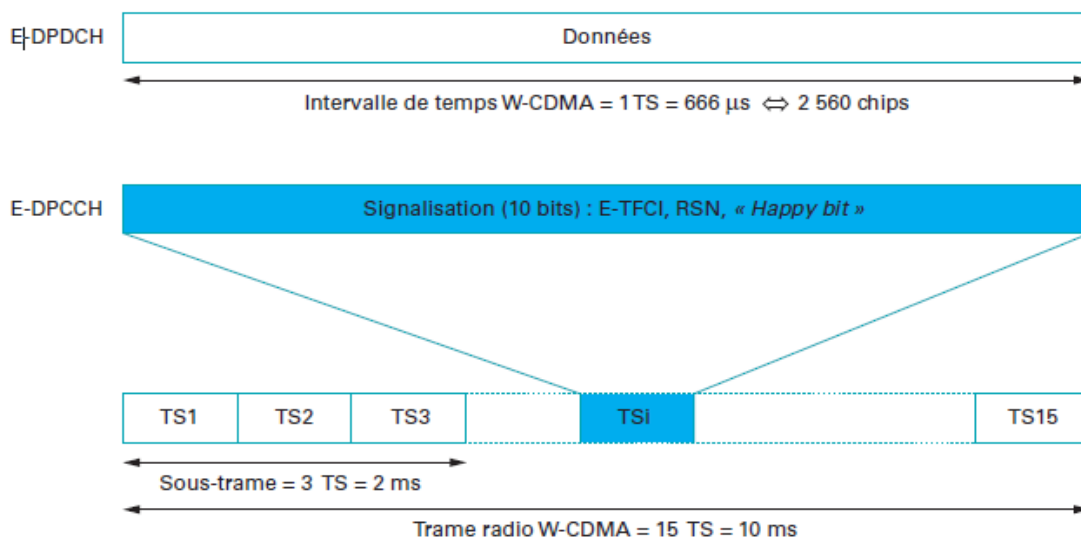


Figure I.28 : Structure de la trame E-DPDCH et E-DPCCH.

La signalisation associée est composée des informations E-TFCI, qui identifient la taille du bloc de transport sur le canal E-DPDCH, du numéro de séquence de retransmission RSN, qui est utilisé par le processus HARQ, et d'un indicateur de satisfaction appelé le « happy bit », qui est utilisé pour l'ordonnancement rapide.

I.10.3.2.4 E-HICH (HARQ Acknowledgement Indicator Channel)

Le canal physique descendant E-HICH est utilisé par le mécanisme HARQ situé dans le nœud B afin d'envoyer aux terminaux mobiles des acquittements positifs (ACK) ou négatifs (NACK) des blocs

reçus à chaque TTI. Le canal E-HICH est transmis à un débit fixe correspondant à un facteur d'étalement SF 128. Chaque intervalle de temps W-CDMA supporte 40 bits de signalisation (un acquittement nécessite un seul bit).

I.10.3.2.5 E-AGCH et E-RGCH (Absolute/Relative Grant Channel)

Afin de permettre au nœud B de transmettre aux terminaux mobiles des attributions de ressources **SG** (scheduling grants), deux canaux ont été définis sur la voie descendante : l'E-AGCH et l'E-RGCH. Une attribution de ressources peut être :

- **Absolute** (AG, pour absolute grant) et correspond à une limitation de la quantité de ressource montante attribuée au terminal mobile. Elle est transmise par la « cellule serveuse » (les « cellules serveuses » HSDPA et HSUPA sont identiques) sur le canal EAGCH.
- **Relative** (RG, pour relative grant) et constitue un faible ajustement de la quantité de ressource montante allouée au terminal mobile. Elle est transmise par la « cellule serveuse » ou une autre cellule sur le canal E-RGCH.

Le canal E-RGCH est transmis à un débit fixe correspondant à un facteur d'étalement SF 128.

Chaque intervalle de temps WCDMA supporte 40 bits de signalisation AGCH. De même, le canal E-AGCH est transmis à un débit fixe de 30 kbit/s correspondant à un facteur d'étalement SF 256. Chaque TS supporte alors 20 bits de signalisation.

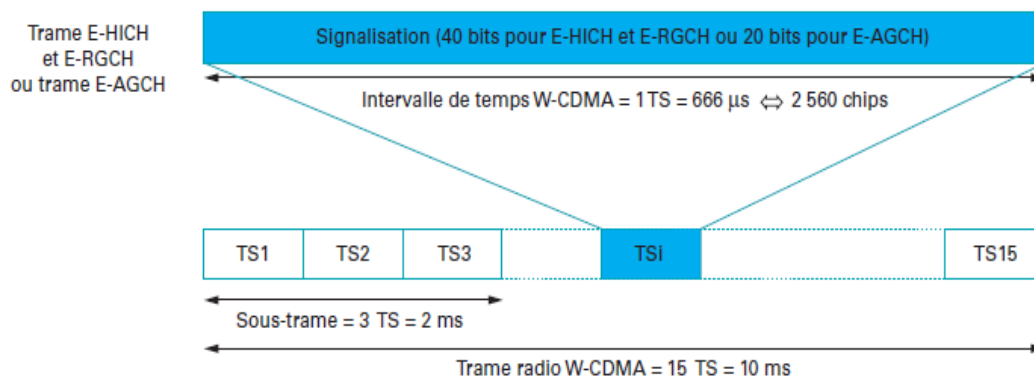


Figure I.29 : Structure de la trame E-HICH et E-RGCH ou de la trame E.

I.10.3.3. Couches protocolaires HSUPA

Le HSUPA apporte une nouvelle manière d'utiliser l'interface radio et déplace une partie des fonctions de la couche MAC, du RNC vers le nœud B, avec l'introduction de la couche MAC-e. Le HSUPA n'affecte pas les couches situées au-dessus de la couche MAC-es, c'est-à-dire les couches MAC-d, RLC et PDCP.

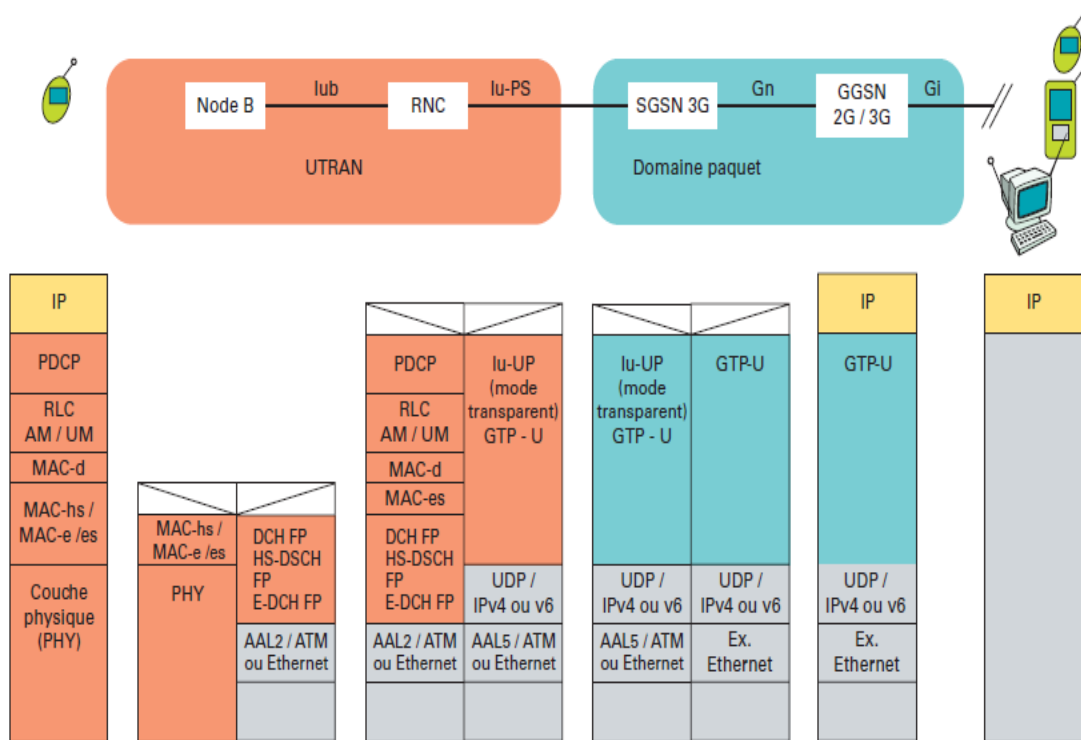


Figure I.30 : Protocoles du plan usager utilisés pour un service paquet

I.10.3.3.1 Couche physique

Le rôle de la couche physique (PHY) est modifié afin de tenir compte des mécanismes propres au HSUPA avec notamment :

- la gestion des canaux physiques dédiés à haut débit (EDPDCH, E-DPCCH, E-HICH, E-AGCH et E-RGCH) ;
- la modulation (QPSK uniquement) et le turbo codage (avec un taux de codage 1/3).
- l'ajout d'un CRC de 24 bits pour la détection d'erreurs.

I.10.3.3.2 Couche de contrôle d'accès au médium :

Dans le cadre du HSUPA, la couche de contrôle d'accès au médium (MAC) se scinde en trois entités :

La couche MAC-d (inchangée reste dans le RNC), la couche MAC-e (placée dans le nœud B) et la couche MAC-es (ajoutée au RNC). Les couches MAC-e et MAC-es sont également situées dans le terminal mobile :

- la couche MAC-e du terminal mobile assure la gestion des données transmises sur le canal de transport E-DCH, la sélection améliorée de combinaison de format de transport (sélection E-TFC) ainsi que la gestion des retransmissions rapides HARQ ;
- la couche MAC-es du terminal mobile gère principalement la macro diversité en transmettant une même PDU de type MAC-es vers plusieurs nœuds B en l'encapsulant dans plusieurs PDU de type MAC-e. Pour identifier les flux, un numéro de séquence de transmission (TSN) est ajouté à l'en-tête MAC-es de sorte que la fonction de remise en ordre des PDU de type MAC-es puisse l'utiliser dans le « RNC servant » ;
- la couche MAC-e du nœud B assure également plusieurs fonctions telles que le contrôle d'accès au canal physique E-DPDCH (via l'ordonnanceur de paquets) et la gestion des retransmissions rapides HARQ (avec l'envoi des acquittements ACK ou NACK) ;
- la couche MAC-es du « RNC servant » gère la macro diversité en combinant les flux montants issus de différents nœud B, c'est-à-dire les PDU de type MAC-e, et remet en ordre les PDU de type MAC-es (après combinaison de PDU de type MAC-e, en fonction de leur numéro de séquence TSN).
- Couche protocole de trame HSUPA : Sur l'interface Iub du réseau d'accès, les trames radio HSUPA sont transportées par le protocole de trame HSUPA (E-DCH FP) dont le rôle est de véhiculer les trames associées aux canaux de transport E-DCH.

I.10.3.4 Ordonnancement rapide

L'ordonnanceur de paquets situé dans la couche MAC-e du nœud B coordonne les transmissions des différents terminaux mobiles situés dans une même cellule. En effet, lorsque le terminal mobile souhaite se voir allouer des ressources, c'est-à-dire un canal E-DCH, il transmet une demande d'ordonnancement à l'ordonnanceur de paquets. Une demande d'ordonnancement comporte des informations d'ordonnancement ou bien un bit de satisfaction. Les informations d'ordonnancement sont transportées de manière indépendante ou bien avec d'autres données et comportent :

- l'identifiant du canal logique de plus haute priorité ;
- l'état d'occupation de la mémoire tampon du terminal mobile.
- le ratio de la puissance maximale de transmission du terminal mobile relativement à la puissance de transmission sur un canal DPCCCH. Ce ratio est appelé UPH (UE Power Headroom).

Le bit de satisfaction (happy bit) est transmis sur le canal EDPCCCH et permet au mobile d'indiquer au nœud B s'il est satisfait de son attribution de ressources (SG) courante. Ainsi, le nœud B transmet une

attribution de ressources SG au terminal mobile afin de lui indiquer la quantité de ressource qu'il peut utiliser. Cette indication est ensuite utilisée par l'entité de sélection E-TFC du terminal mobile. Lorsque l'attribution de ressources est absolue (AG), elle est valide pour un ou plusieurs terminaux mobiles et pour un TTI donné. Elle comporte plusieurs informations :

- l'identité d'un ou de plusieurs terminaux mobiles (E-RNTI) ;
- le ratio de la puissance maximale de transmission sur le canal E-DPDCH, relativement à la puissance de transmission sur le canal DPCCCH ;
- un fanion dont l'usage dépend de la valeur du TTI (2 ou 10 ms). Lorsque l'attribution de ressources est relative (RG), elle est valide pour un terminal mobile et pour un TTI donné. Elle prend plusieurs valeurs :

Il existe plusieurs politiques d'ordonnancement pour allouer la ressource radio à un terminal mobile donné afin qu'il transmette des paquets. Ces politiques ne sont pas spécifiées par le 3GPP afin de permettre aux constructeurs d'implémenter leurs propres algorithmes. Néanmoins, la littérature décrit majoritairement les deux politiques suivantes :

- multiplexage par les codes (CDM : Code Division Multiplexing) : l'ordonnanceur CDM sert tous les terminaux mobiles en parallèle.
- multiplexage en temps (TDM : Time Division Multiplexing) : l'ordonnanceur TDM sert tous les terminaux mobiles mais séquentiellement.

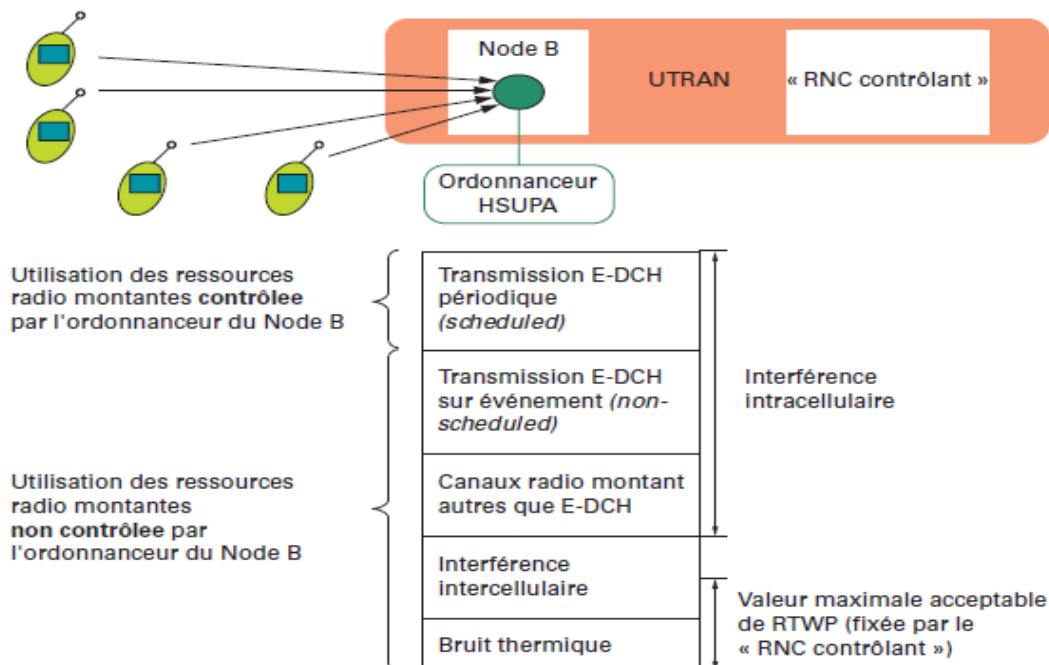


Figure I.31 : Puissance reçue au niveau du nœud B.

I.10.3.5 La technique MIMO

Les récents développements ont montré que l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et à la réception permettait d'augmenter le débit de transmission des données et cela sans augmenter ni la bande passante de l'antenne réceptrice du système SISO, ni la puissance du signal à l'émission. Cette technique de transmission s'appelle MIMO (Multiple Input, Multiple Output).

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

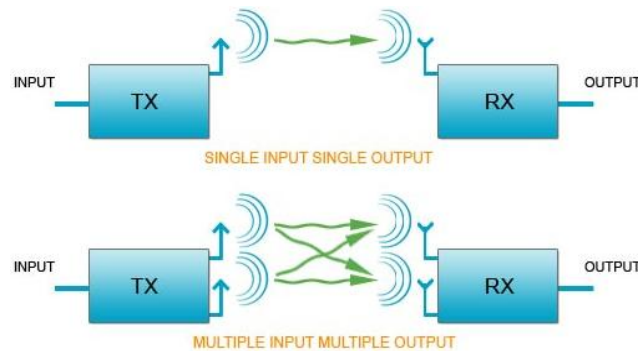


Figure I.32 : Principe de la technique MIMO.

I.10.3.6. Impact du système HSUPA sur la couche physique de l'UMTS

L'introduction du système HSUPA impose au terminal mobile ainsi qu'au réseau d'accès UTRAN d'évoluer. Le support du HSUPA impose l'introduction de nouveaux types de terminaux qui doivent supporter les nouvelles techniques introduites par le HSUPA. Parmi ces techniques nous distinguons :

- la possibilité du terminal de traiter un nombre maximal de bits du canal de transport E-DCH dans un seul TTI.
- la capacité du terminal de supporter la modulation 4-PAM.
- la capacité du terminal de supporter la technique HARQ.
- la possibilité du terminal d'utiliser des petits facteurs d'étalement variables (de 2 à 256).
- la capacité du terminal de supporter le principe multi-code.
- la possibilité du terminal de traiter des trames de durée TTI=2ms.

Dans un réseau de troisième génération sans le système HSUPA, c'est le RNC qui gère plusieurs fonctionnalités telles que l'allocation de ressources et la stratégie de retransmission HARQ. Avec le HSUPA, ces fonctionnalités sont effectuées au niveau du nœud B. Ceci permet une gestion rapide des ressources et diminue les retards de retransmission.

I.10.4. Evolutions HSPA+

L'HSPA+ (High Speed Packet Access+), parfois 3G++ ou 3G Dual Carrier [18], est une norme de téléphonie mobile 3G de la famille UMTS ; c'est une évolution de la norme HSPA permettant d'atteindre des débits théoriques crêtes de 21 Mbit/s par cellule radio en téléchargement, soit 42 Mbit/s en « Dual Carrier » et théoriquement jusqu'à 84 Mbit/s en mode DC + MIMO 2×2. Elle permet en liaison montante un débit maximal de 11,5 Mbit/s [19] [20] avec des terminaux compatibles (catégorie 7). Elle fait partie de la 3G transitionnelle issue de la famille 3GPP ; elle est définie dans les versions 7 et 8 (release-8) des normes 3GPP publiées en 2008 .

L'augmentation de débit par rapport à la norme UMTS HSPA (qui permet un débit de 14,4 Mbit/s pic en download) est obtenue en HSPA+ « release-8 » par trois moyens principaux :

- L'utilisation (optionnelle) du codage « 64QAM » au lieu du 16QAM, dans les zones où le signal radio est de très bonne qualité.
- L'utilisation simultanée de deux cellules radio « DC-HSPA+ » (Dual Cell HSPA+ ou Dual Carrier HSPA+), c'est-à-dire de deux bandes de fréquences UMTS adjacentes de 5 MHz utilisées pour une seule communication.
- Le MIMO 2×2 (utilisation simultanée de 2 antennes des cotés terminal et station de base).

Dans les versions 9 et 10 (release-9 et 10) des normes 3GPP, 2 à 4 cellules radio de 5 MHz utilisant des bandes de fréquences non adjacentes pourraient être agrégées (à partir de la release 9 de la norme DC HSDPA).

I.11 Conclusion

L'interface radio de la 3G a été conçue pour supporter une large gamme de services différents, services qui requièrent des débits supérieurs à ceux qui sont offerts par les systèmes mobiles de la deuxième génération. Malgré le fait que l'UMTS puisse atteindre des débits de 2Mb/s, de nouvelles normes sont apparues pour améliorer ce débit qui n'est que théorique (380kb/s en pratique en moyenne). Il existe à l'heure actuelle la 3,5G ou 3G+, le HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), qui peut atteindre des débits de l'ordre de 3,4 Mb/s jusqu'à 14 Mb/s au maximum en débit descendant et 320kb/s en débit montant, et la 3,75G, le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), qui a permis d'élever le débit montant à 5,8 Mb/s en théorie. Toutes ces performances ont été possibles grâce à quelques avancées techniques exposées dans ce chapitre. Le chapitre suivant traite les générations 3,9G (LTE : 3GPP Release 9) et 4G (LTE-Advanced : 3GPP Release 10-14) et les nouvelles techniques associées à leurs spécifications.

CHAPITRE 2

Réseaux cellulaires 3.9G (LTE) & 4G (LTE-Advanced)

3GPP Release 9, 10-14

II.1. Introduction

LTE (Long Term Evolution) est une évolution des normes de téléphonie mobile GSM/EDGE, CDMA2000, TD-SCDMA et UMTS, La norme LTE, définie par le consortium 3GPP a d'abord été considérée comme une norme de troisième génération 3.9G, spécifiée dans le cadre des technologies IMT-2000. Elle ne satisfaisait pas toutes les spécifications techniques imposées pour les normes 4G par l'Union internationale des télécommunications (UIT). Le consortium 3GPP la fait évoluer en permanence.

La technologie LTE s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit. LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir pour une bande 20 MHz un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en downlink.

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

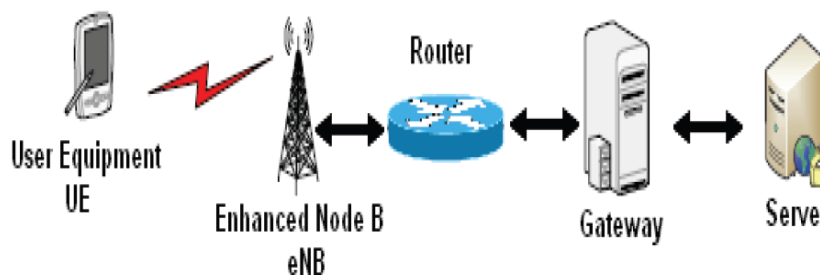


Figure II.1 : Présentation générale du système LTE.

LTE-Advanced est une norme de réseau de téléphonie mobile de 4^e génération définie par l'organisme de normalisation 3GPP qui fait partie des technologies réseaux retenues par l'Union internationale des télécommunications (UIT) comme norme 4G IMT-Advanced.

Le LTE Advanced, dont la normalisation de la première version s'est achevée fin 2011 au sein de l'ETSI et du 3GPP (normes 3GPP release 10), est une évolution de la norme LTE qui lui permet d'atteindre le statut de véritable norme 4G, tout en gardant une compatibilité ascendante complète avec le LTE, au niveau des terminaux (Smartphones, tablettes, clés 4G) et au niveau du réseau, grâce aux fréquences identiques et aux codages radio (OFDMA et SC-FDMA) qui sont ceux déjà utilisés dans les réseaux LTE.

Le LTE-Advanced est capable de fournir des débits pics descendants (téléchargement) supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et à plus de 100 Mb/s pour un terminal en mouvement, grâce aux technologies réseaux intelligentes qui permettent de maintenir des débits plus élevés en tout point de la cellule radio, alors qu'ils baissent fortement en bordure des cellules UMTS et LTE.

II.2. Objectifs

Axé sur l'amélioration de la technique d'accès radio et l'optimisation de l'architecture des systèmes de troisième génération existants UMTS, la norme LTE se donne pour objectif principal d'assurer à l'utilisateur une mobilité maximale. Une fois connecté, en utilisant le réseau disponible, celui-ci

pourra passer d'un réseau à un autre sans interruption de la communication et avec une même qualité de service à tout moment. Les principaux objectifs de ce Standard sont :

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

	Débit lien radio descendant(Mbits/s)	Débit lien radio montant(Mbits/s)	Latence (ms)	Version des spécifications 3GPP
LTE	100	50	~ 10	3GPP 8
LTE-Advanced	1000	500	? 5	3GPP 10

Tableau II.1 : les débits des liens radio LTE et LTE Advanced

II. 3. Architecture des Standards LTE et LTE-Advanced

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

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

II. 3.1. EPS

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

- Il possède une architecture plate et simplifiée comparée à celle hiérarchique 2G/3G puisque la fonction de contrôleur d'antenne disparaît. La seule entité présente dans l'accès est l'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.
- Il permet des handover vers les réseaux 2G/3G et CDMA/CDMA2000 afin d'assurer des communications sans couture en environnement hétérogène.

Les grandes fonctions assurées par l'EPS sont :

• **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 defaults bearers et des dedicated bearers afin que l'UE dispose de connectivités IP pour ses communications.

• **Fonctions de routage de paquet 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 du 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
- Mobility Management Entity (MME)
- Serving Gateway
- Packet Data Network Gateway (PDN GW)
- Home Subscriber Server (HSS)

- Policy and Charging Rules Function (PCRF)

L'EPS (Evolved Packet System) est composé de deux parties : le réseau évolué d'accès radio LTE, et le réseau cœur évolué appelé SAE (System Architecture Evolution).

a) Accès radio LTE

Comme nous l'avons vu plus haut, afin d'offrir des débits élevés dans des conditions optimisés, le LTE emploie bon nombre techniques. Le LTE respecte les délais requis par le trafic temps-réel. Cette technologie gère la mobilité des utilisateurs en exécutant le Handover à une vitesse allant jusqu'à 350 km/h. Le LTE a pris en charge l'interconnexion et l'interopérabilité avec les normes 2G et 3G, et les réseaux CDMA-2000. Aussi son utilisation de plusieurs bandes de fréquences allant de 1.4 jusqu'à 20 MHz lui permet de couvrir de grandes surfaces.

Le réseau d'accès de LTE, E-UTRAN, se compose simplement d'un réseau des eNodeB, comme illustré sur la figure ci-dessous.

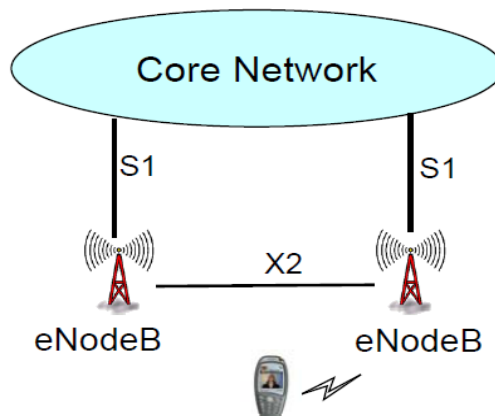


Figure II.2. Architecture de l'E-UTRAN

- **L'eNodeB**

L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G (UMTS) où sont présentes les entités Node B et RNC, l'architecture E-UTRAN 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.

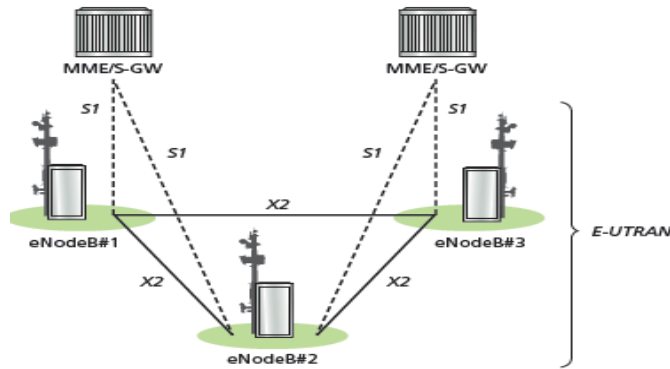


Figure II.3. Simplification de l'architecture LTE par rapport aux réseaux précédents

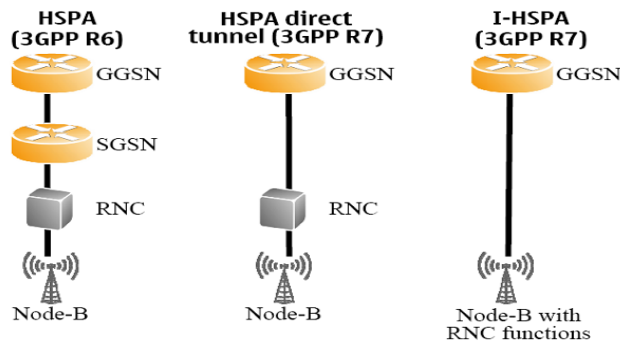


Figure II.4. Simplification de l'architecture LTE par rapport aux réseaux précédents

Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNodeB adjacents. 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 continue 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.

b) Réseau cœur SAE

Contrairement aux normes 2G et 3G qui proposent deux domaines de commutation de circuit et de paquet, SAE ne propose qu'un seul domaine paquet fondé sur l'IP. 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. Ce domaine paquet est appelé EPC (Evolved Packet Core). Il y a deux types de communication au niveau de SAE : Default bearer qui est une connectivité permanente sans garantie de débit entre un abonné et son réseau SAE d'attachement ; et

Dedicated bearer qui est une connectivité avec garantie de débit et d'une certaine QoS dans le cas de l'utilisation d'un trafic temps-réel sensible au délai. En effet Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau EPC, ce dernier lui crée un défaut 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.

Dans le SAE on distingue le MME, le SGW, le PDN.

- **Entité MME (Mobility Management Entity)**

Les fonctions de l'entité MME incluent:

- **La signalisation EMM et ESM avec l'UE.** Les terminaux LTE disposent des protocoles

EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME.

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

- **La 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.
- **Entité Serving GW (Serving Gateway)**

Les fonctions de l'entité Serving GW incluent :

- **Le 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.
- **Le 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.
- **La 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.
- **L'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.
- **Le routage des paquets et relai des paquets.** Le Serving GW route les paquets sortant au PDN GW appropriés et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.
- **La comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs.** Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements.
- **Entité PDN GW (Packet Data Network Gateway)**

Les fonctions de l'entité PDN GW incluent :

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

- **L'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.
- **La 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).

En plus de ces nœuds, le réseau inclut également d'autres nœuds et fonctions logiques telles que la fonction de serveur (HSS) d'abonné et PCRF (Policy Control and Charging Rules Function).

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

PCRF (Policy & Charging Rules Function) : il se charge de fournir les règles de la taxation. Il fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un default bearer ou un dedicated bearer est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDNGW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'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.

II.4. Caractéristiques de la norme LTE

Il offre un débit de donnée crête sur la voix montante de 50 Mbits/s

- un débit pic théorique de 100 Mbits/s à 300 sur la voix descendante et un temps d'aller- retour de moins de 10 ms sur l'interface radio (RAN).
- Le LTE utilise une largeur de bande allant jusqu'à 2x20 MHz et supporte le duplexage temporel(TDD) ou fréquentiel (FDD) ;
- la taille des cellules est de 5 km pour des performances optimales.
- Ces performances sont possibles grâce à l'utilisation d'antennes MIMO (Multiple Input-Multiple Output) avec les techniques de transmission OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), d'accès multiples : OFDMA (OFDM Multiple Access) sur la voie descendante et la technique SC-FDMA (Single-Carrier FDMA) sur la voie montante réduire le problème du canal .

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

La première étape des travaux de normalisation du LTE consista à définir les exigences que ce dernier devait satisfaire. En synthèse, 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.

En complément de ces exigences de performance, le 3GPP a aussi défini des pré requis fonctionnels tels que la flexibilité spectrale et la mobilité avec les autres technologies 3GPP. Ces exigences sont résumées dans cette section :

a- La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés

Avec l'explosion des services nécessitant une connexion *always-on*, la contrainte appliquée sur la capacité en nombre d'utilisateurs simultanés devient forte. 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.

b- L'efficacité spectrale cellulaire

Le système compte parmi ses objectifs l'accroissement de l'efficacité spectrale cellulaire (en bit/s/Hz/cellule) et, en corollaire, l'augmentation de la capacité du système (en termes de débit total). 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.

c- 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.

Nous verrons plus tard que ces exigences ont été largement dépassées. Une autre exigence a trait au débit moyen par utilisateur par MHz. Celui-ci doit être en voie descendante trois à quatre fois supérieur à celui disponible avec un UE UMTS Release 6 dans les conditions suivantes :

- pour l'UMTS : une antenne d'émission à la station de base avec un récepteur avancé au sein de l'UE;
- pour le LTE : deux antennes d'émission à la station de base et deux antennes en réception au niveau de l'UE.

Par ailleurs, le débit moyen par utilisateur par MHz en voie montante doit être deux à trois fois supérieur à celui disponible avec un UE UMTS Release 6 dans les conditions suivantes :

- pour l'UMTS et le LTE : une antenne d'émission au niveau de l'UE et deux antennes de réception à la station de base.

Le débit en bordure de cellule, défini comme le débit atteignable par au moins 95 % des utilisateurs de la cellule, a aussi fait l'objet d'exigences. Il doit être deux à trois fois supérieur à celui offert par le HSPA Release 6 dans les conditions précédentes, en sens descendant comme en sens montant.

d- La latence

Nous avons vu que la latence du système se traduit concrètement par sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se décline en latence du plan de contrôle et latence du plan usager.

- **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 est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un noeud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, 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.

e- 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.

f- La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). Les services temps-réel comme le service voix doivent être proposés avec le même niveau de qualité qu'en UMTS Release 6.

L'effet des handovers intrasystème (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent. Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra système.

Le LTE doit aussi coexister avec les autres technologies 3GPP. Pour ce faire, les exigences suivantes ont été définies.

- L'UE qui met en oeuvre 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, ainsi que les mesures associées. Les conséquences de ces mécanismes sur la complexité de l'UE et du système doivent rester limitées.
- 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.

II.5. Les paramètres de modulation en LTE

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM

II.6. Structure d'une trame LTE

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

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

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

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-trames utilisables dans chaque direction de transmission[36].

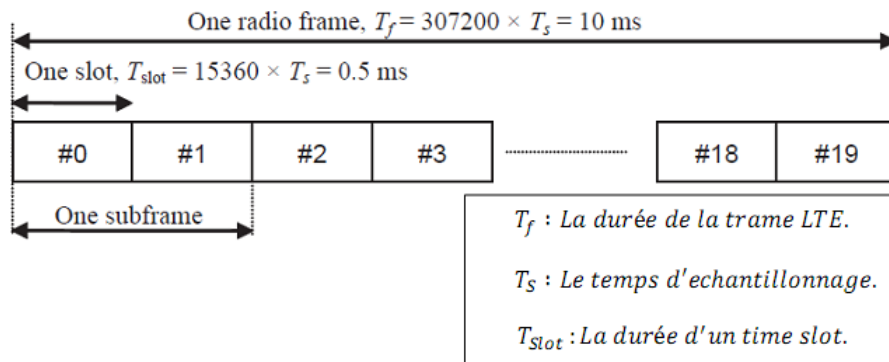


Figure II.5 : Structure de trame en FDD et FDD half-duplex

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

LTE Band Number	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Width of Band (MHz)	Duplex Spacing (MHz)	Band Gap (MHz)
1	1920 - 1980	2110 - 2170	60	190	130
2	1850 - 1910	1930 - 1990	60	80	20
3	1710 - 1785	1805 - 1880	75	95	20
4	1710 - 1755	2110 - 2155	45	400	355
5	824 - 849	869 - 894	25	45	20
6	830 - 840	875 - 885	10	35	25
7	2500 - 2570	2620 - 2690	70	120	50
8	880 - 915	925 - 960	35	45	10
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	35	95	60
10	1710 - 1770	2110 - 2170	60	400	340
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9	20	48	28
12	698 - 716	728 - 746	18	30	12
13	777 - 787	746 - 756	10	-31	41
14	788 - 798	758 - 768	10	-30	40
15	1900 - 1920	2600 - 2620	20	700	680
16	2010 - 2025	2585 - 2600	15	575	560
17	704 - 716	734 - 746	12	30	18
18	815 - 830	860 - 875	15	45	30
19	830 - 845	875 - 890	15	45	30
20	832 - 862	791 - 821	30	-41	71
21	1447.9 - 1462.9	1495.5 - 1510.9	15	48	33
22	3410 - 3500	3510 - 3600	90	100	10
23	2000 - 2020	2180 - 2200	20	180	160
24	1625.5 - 1660.5	1525 - 1559	34	-101.5	135.5
25	1850 - 1915	1930 - 1995	65	80	15

Tableau II.4: Les bandes de FDD

LTE Band Number	Allocation (MHz)	Width of Band (MHz)
33	1900 - 1920	20
34	2010 - 2025	15
35	1850 - 1910	60
36	1930 - 1990	60
37	1910 - 1930	20
38	2570 - 2620	50
39	1880 - 1920	40
40	2300 - 2400	100
41	2496 - 2690	194
42	3400 - 3600	200
43	3600 - 3800	200

Tableau II.5: Les bandes de TDD

II.7. Les Resources Block

II.7.1. Les Resources Block en Downlink (PRB)

En transmission downlink les sous-porteuses sont divisées en plusieurs blocs appelés « Resources blocks ». Cette technique permet au système de fractionner dans une bande passante la sous-porteuse en petites parties sans mélanger les données de celle-ci avec à les autres sous-porteuses.

Dans la norme LTE, les sous-porteuses ont un espacement de 15kHz. Une « Resource block » contient 12 sous-porteuses avec un slot de durée de 0.5ms et possède une taille identique quelque soit les bandes passantes [38].

Bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Physical Resource Block (PRB) Bandwidth (kHz)	180					
Subcarrier Bandwidth (kHz)	15					
Number of Resource Blocks	6	15	25	50	75	100

Tableau II.6 : Nombre de « Resource blocks » pour les différentes Bandes passantes.

La figure ci-dessous montre la structure d'un slot ou Ressource block

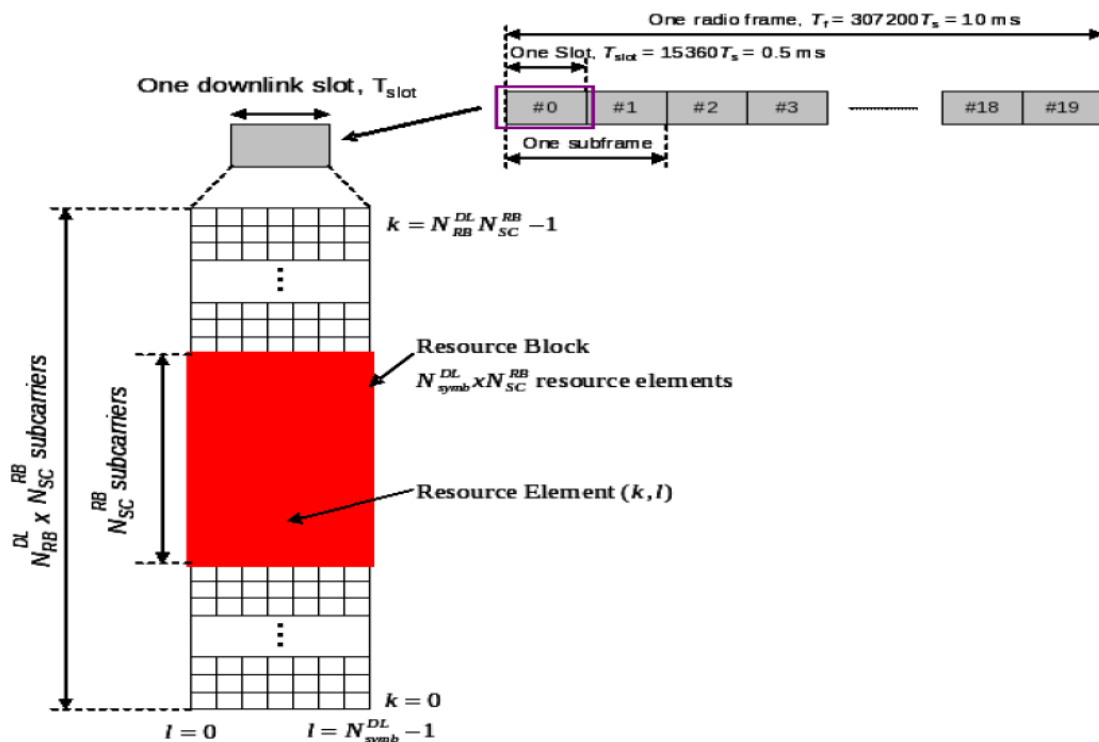


Figure II.8 : la structure d'un slot ou Ressource block

II.7.2. Resource block en uplink

Car SC-FDMA peut être considéré comme l'OFDM conventionnel avec un precoder DFT-basé, la grille de ressource pour l'uplink est semblable à celle pour le downlink, illustré sur le schéma ci-dessous, c.-à-d., elle comporte un certain nombre de blocs de ressource dans l'espace temps-fréquence.

Le nombre de blocs de ressource dans chaque grille de ressource, N_{RB}^{UL} dépend de la largeur de bande de transmission d'uplink configurée dans la cellule et devrait satisfaire :

$$N_{RB}^{min,UL} \leq N_{RB}^{UL} \leq N_{RB}^{max,UL}$$

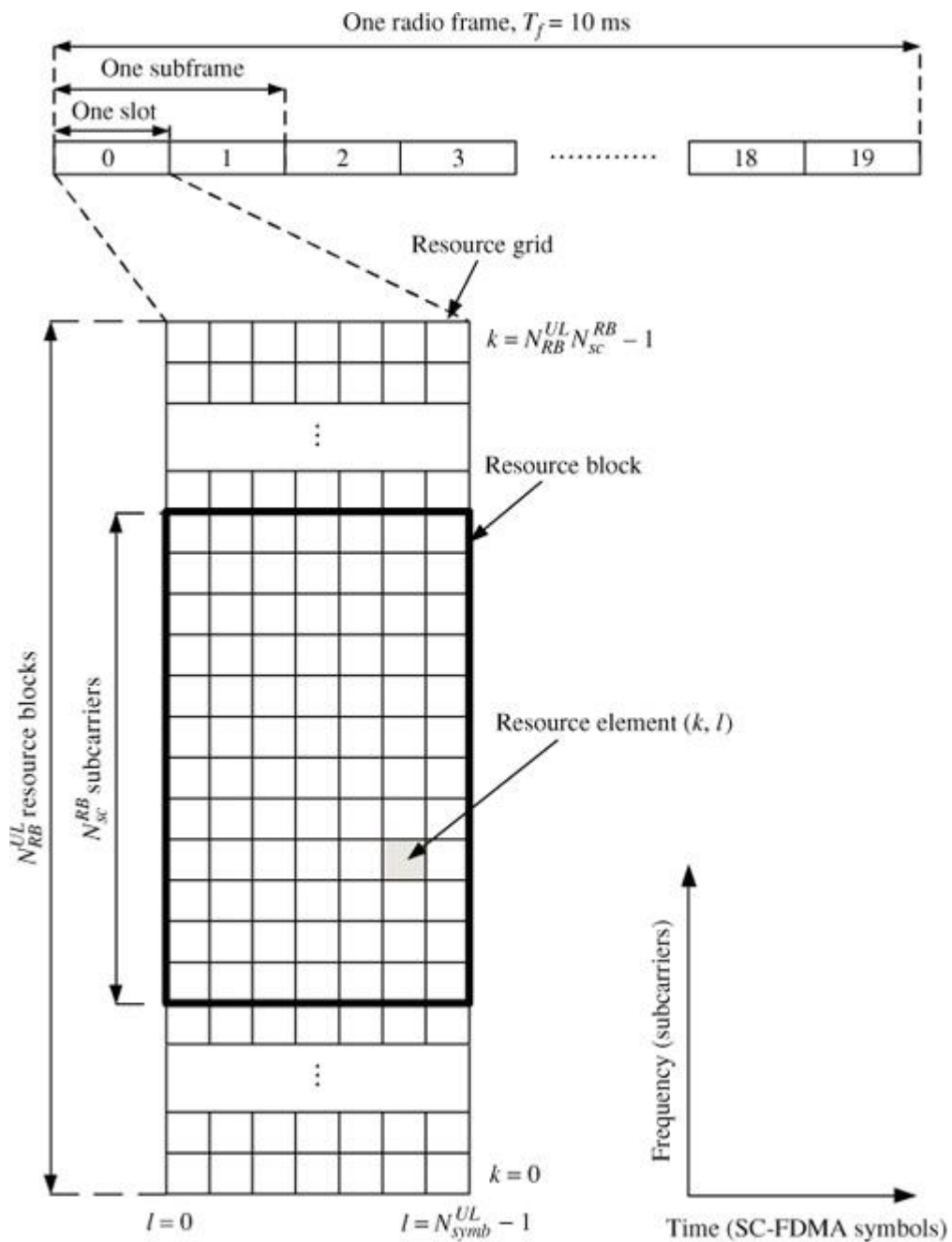


Figure II .9 : la structure de la grille de ressource d'uplink

$N_{RB}^{min,UL} = 6$ et $N_{RB}^{max,UL} = 110$ correspondent à la plus petite et plus grande largeur de bande d'uplink, respectivement. Il y a des éléments de la ressource $N_{sc}^{RB} \times N_{symb}^{RB}$ dans chaque bloc de ressource. Les valeurs (N_{sc}^{RB}) et N_{symb}^{UL} pour le CP normal et prolongé sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Configuration	(N_{sc}^{RB})	N_{symb}^{UL}
Normal CP	12	7
Extended CP	12	6

II.8. Les canaux

On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés :

- 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).

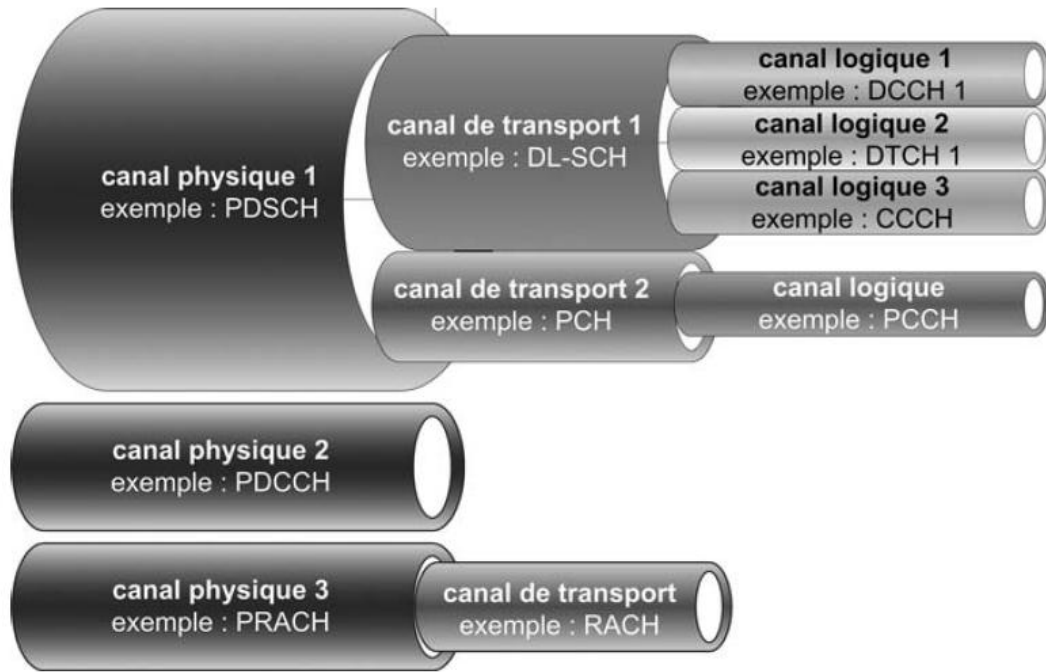


Figure II .10. Les canaux de l'interface radio LTE et leurs imbrications

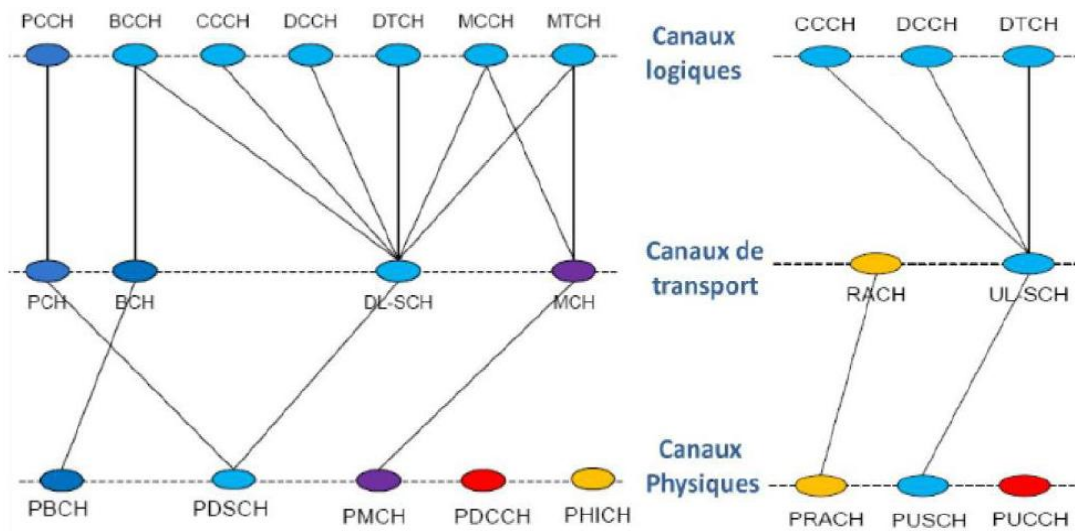


Figure II.11: Les canaux radio en liaison montante et descendante

II.8.1. Canaux physiques en downlink

Dans le Long Term Evolution, le but principal des canaux physiques est le transport d'information depuis les couches supérieures. Les canaux physiques sont dits aussi canaux de transport spécifiques. Dans la norme LTE on a trois différents types de canaux physiques.

- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH)

- Common Control Physical Channel (CCPCH)

Chaque canal physique définit son algorithme de modulation, « bit scrambling » et « layer mapping ».

a) Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)

Le canal PDSCH est construit pour les données ayant un flux élevé. Il est donc utilisé pour le transport de multimédia et de données. Les techniques de modulation utilisées pour le PDSCH sont les modulations QPSK, 16-QAM, 64-QAM

b) Physical Downlink Control Channel (PDCCH)

Le PDCCH est typiquement utilisée pour le contrôle de signalisation d'information. Il est attribué au « Resource element » (ensemble de Resource blocks) au premier slot de la Sub-frame précisément aux trois premiers symboles OFDMA. Le PDCCH utilise seulement la modulation QPSK comme technique de modulation et il porte les réponses NACK/ACK au canal Uplink. Dans une seule sub-frame on peut transmettre plusieurs PDCCH.

c) Common Control Physical Channel (CCPCH)

Le CCPCH est utilisé pour le transport de la « cell-wide control information » qui contrôle la couverture des cellules. Le CCPCH utilise seulement la modulation QPSK et elle est toujours transmise à une fréquence environnante de la fréquence centrale. Au contrôle d'information dans le CCPCH, le signal est attribué au « Resource element ».

II.8.2. Les canaux de transport

Les Canaux de transport sont situés dans les blocs de transport en bas de la couche MAC. Certains canaux logiques sont utilisés pour la liaison descendante, d'autres sont réservés pour la liaison montante.

Les canaux de transport sont utilisés pour transférer les informations aux couches supérieures et au MAC (Media Access Contrôle), et ils servent comme interface entre la couche physique et le MAC. On a plusieurs types de canaux de transport :

- **Broadcast Channel (BCH)** : Le canal Broadcast (ou le canal diffusion) est un canal à format fixe qui permet la diffusion des paramètres du système pour permettre l'accès des équipements (devises) au système. Ces paramètres doivent être diffusés sur toute la couverture de la cellule.
- **Paging Channel** : Le « Paging Channel » est utilisé pour le transport du « paging information » ou signalisation et aussi comme un commutateur entre l'état « idle state » (inactif) et l'état « connected state » (fonctionnement). Il exige aussi une diffusion sur toute la couverture de la cellule

- **Multicast Channel** : Le « multicast Channel » est utilisé pour transférer les services multicast aux UE et il doit contenir les informations relatives :

- Au Fournissement d'un support de diffusion multicast dans un réseau à fréquence unique
- A l'allocation des ressources.

II.8.3. Les canaux physiques en uplink

- PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) qui transporte les données utilisateur et la signalisation des couches hautes.
- PUCCH (Physical Uplink Control Channel) transporte les informations de contrôle, comprends les réponses ACK et NACK du terminal aux transmissions downlink, relative au mécanisme HARQ.
- PRACH (Physical Random Access Channel) qui transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux au réseau d'accès.

II.8.4. Les canaux logiques

- Broadcast Control Channel (BCCH), utilisé pour transmettre les systèmes d'information du réseau à tous les terminaux mobiles d'une même cellule.
- Paging Control Channel (PCCH), utilisé pour la pagination de terminaux mobiles dont l'emplacement au niveau cellulaire n'est pas connu de la part du réseau.
- Common Control Channel (CCCH), utilisé pour la transmission des informations de contrôle à l'aide d'un accès aléatoire.
- Dedicated Control Channel (DCCH), dédié pour la transmission des informations de contrôle du terminal mobile ou vers celui-ci. Ce canal est utilisé pour les configurations individuelles des terminaux mobiles comme les messages de Handover.
- Multicast Control Channel (MCCH), utilisé pour transmettre les informations demandées pour une réception multicast.
- Dedicated Traffic Channel (DTCH), utilisé pour la transmission des données de l'utilisateur vers/de un terminal mobile.
- Multicast Traffic Channel (MTCH), utilisé pour la transmission des services MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Service) en liaison descendante.

II.8.5. Les signaux physiques

Outre les canaux physiques, la couche physique utilise également des signaux physiques, qui ne portent pas d'information issue des couches supérieures (c'est-à-dire de canaux de transport) mais sont

nécessaires aux opérations de la couche physique. Les signaux physiques correspondent également à des éléments de ressource et sont associés à des paramètres de transmission physiques prédéfinis.

On distingue deux grands types de signaux physiques :

- les signaux de référence ou Reference Signals (RS) ;
- les signaux de synchronisation.

a) Les signaux de référence :

portent des séquences de symboles prédéfinies et connues du récepteur, qui lui permettent notamment d'estimer le canal de transmission. Cette information est cruciale L'interface radio du LTE pour de nombreuses fonctions de la couche physique : l'estimation de la qualité du canal pour le scheduling, l'adaptation de lien et la détermination des paramètres MIMO, la démodulation cohérente, ainsi que les mesures nécessaires à la mobilité.

b) Les signaux de synchronisation :

permettent au mobile de se synchroniser à la cellule et sont présents en voie descendante uniquement. Chaque cellule émet un signal de synchronisation qui l'identifie de manière unique dans une zone donnée.

-divisé en signaux primaire et secondaire de synchronisation

Physical Signals	Modulation Schemes
Reference Signals	Orthogonal Sequence of Binary PN Sequence
Primary Synchronization Channel (P-SCH)	Cycle of 3 Zadoff-Chu Sequence
Secondary Synchronization Channel (S-SCH)	Two 31 Bit BPSK M Sequence

Tableau II.7 : Techniques de modulation utilisée par les signaux de référence et synchronisation

II.9. L'interface radio

II.9.1. Transmission Downlink

A l'instar des téléphonies de première et deuxième génération le Long Term Evolution utilise aussi la technique de la répartition de fréquence pour l'accès à l'interface radio. Cependant cette fois le LTE utilise l'OFDM qu'il a revisité pour en faire l'OFDMA. Cette technique est utilisée pour la réception sur le terminal mobile. Comme nous l'avons vu L'OFDMA est bénéfique pour les transmissions dans des canaux sélectifs en fréquences qui comportent des trajets multiples, c'est pourquoi on retrouve cette technique dans plusieurs normes de diffusion telle que les communications numériques à hauts

débits. Elle simplifie la tâche des égalisateurs, tout en maintenant un débit élevé. Son choix pour le LTE n'est donc pas fortuit. Nous ferons dans la suite de notre travail une analyse de cette technique.

❖ **OFDMA :**

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

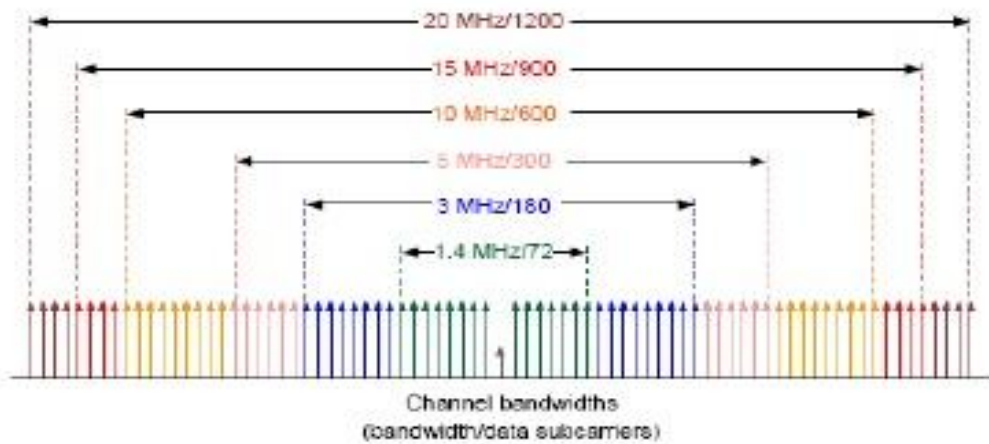


Figure II .12. Nombre de sous-porteuses pour différentes bandes spectrales

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

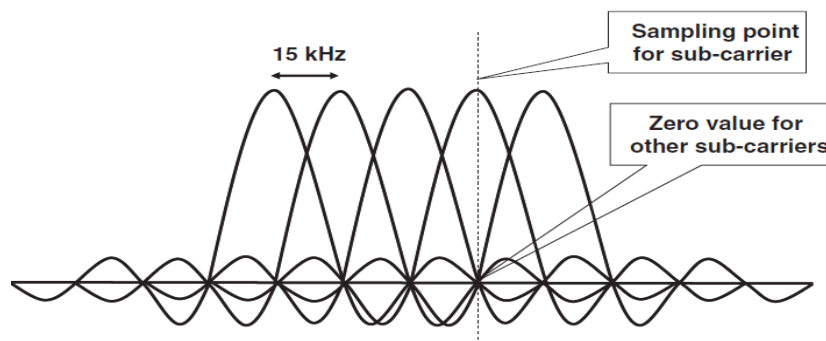


Figure II.13. l'espacement entre sous porteuse

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

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

Cela implique que l'interaction entre sous porteuses est approximativement nulle telle que :

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

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

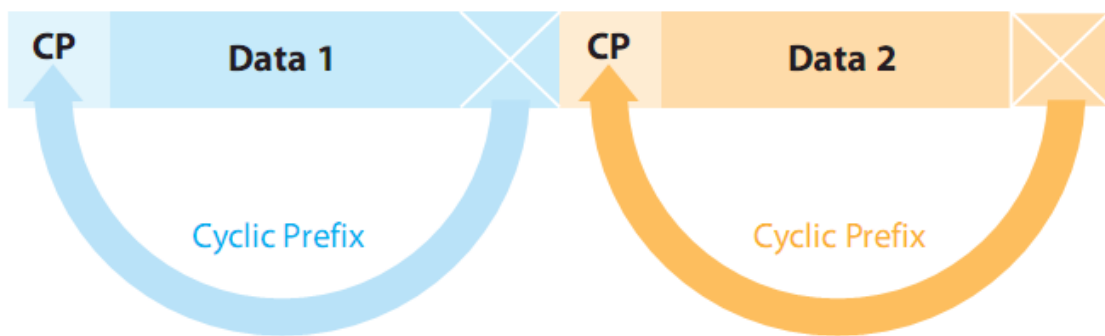


Figure II.14. OFDM : le préfixe cyclique

L'intervalle de garde normal est utilisé pour les hautes fréquences dans le milieu urbain et l'intervalle de garde étendu pour les basses fréquences en milieu rural. La norme utilise l'intervalle de garde étendu lorsque l'utilisateur se trouve sur une cellule de grande taille dans laquelle il est susceptible d'obtenir des interférences très sévères dues aux multi-trajets du canal. Le système est alors sous dimensionné et le nombre de symboles OFDMA dans un slot est réduit à 6. Par contre avec l'intervalle de garde normal qui est plus utilisé et adapté pour les cellules de taille moyenne, le nombre de symboles OFDMA par slot est de 7. Au récepteur, le CP est enlevé, les sous-porteuses sont converties en série par le bloc « parallèle -série » et à l'étage FFT les symboles OFDMA sont convertis en Domain fréquentielle suivie par démodulation comme le montre la figure ci-dessous.

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

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

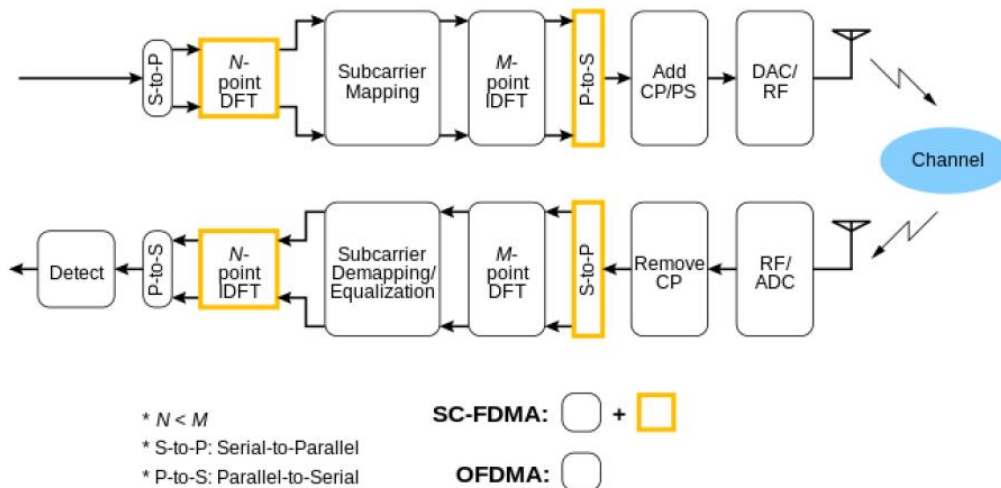


Figure II.15. Codages radio OFDMA et SC-FDMA

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

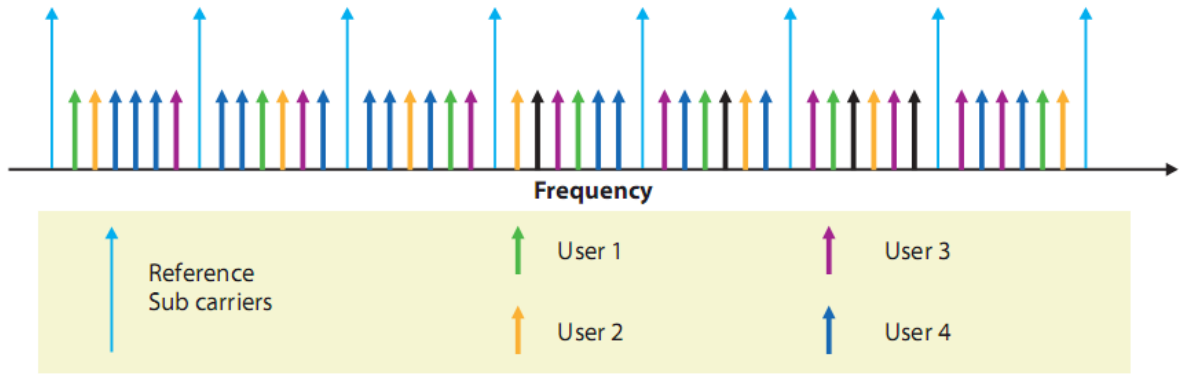


Figure II.16 : sous-porteuses en mode OFDMA

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

II.9.2. Emission et réception

Dans le principe de l'OFDMA, au niveau de l'émetteur le spectre est divisé en plusieurs nombres de sous-porteuses orthogonales. Dans la norme LTE l'espacement entre ces sous-porteuses est 15KHz avec $66.67 \mu s$ de durée pour un symbole OFDMA. Les symboles qui ont un flux assez élevé et passent via un modulateur. Par contre les symboles BPSK, QPSK, 16-QAM et 64-QAM sont modulés directement aux sous-porteuses qui seront convertis en sous-porteuses parallèle par le bloc « série - parallèle ». A l'étage du bloc IFFT les symboles sont convertis en domaine temporelle ainsi on obtient des symboles OFDMA.

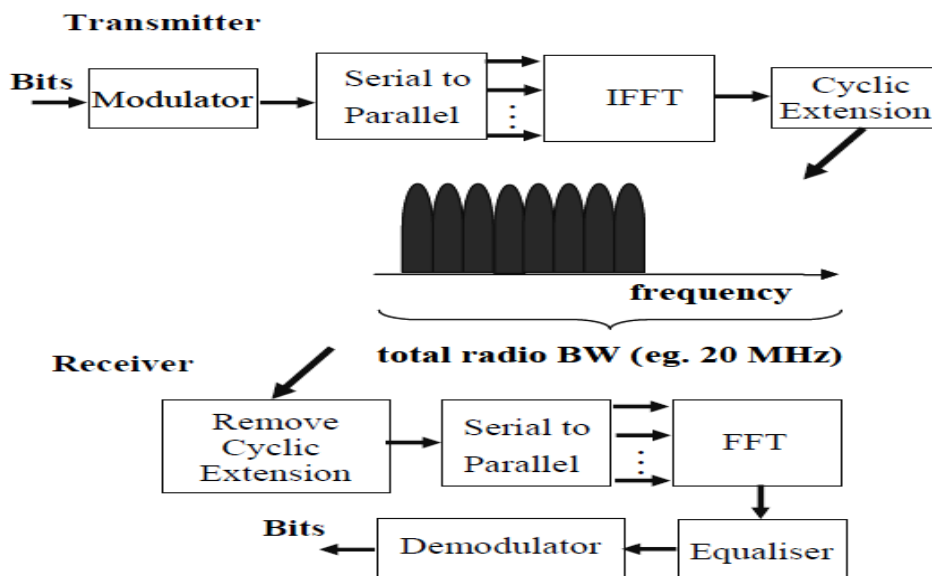


Figure II.17 : Emetteur et récepteur OFDMA

II.10. Transmission Uplink

Dans les études d'optimisation de la transmission Uplink de la norme LTE, plusieurs techniques de multiplexage ont été étudiées par exemple TDMA, CDMA, OFDMA, SC-FDMA etc... Si l'OFDMA a été choisi pour son caractère optimal en transmission Downlink, en revanche ses propriétés sont moins favorables pour les transmissions Uplink. Ainsi l'utilisation de l'OFDMA en Uplink pourrait entraîner des mauvaises couvertures.

La technique de transmission Uplink pour les structures FDD (Fréquence Division Duplex) et TDD (time Division Duplex) est basée sur le multiplexage SC-FDM (Single Carrier – Frequency Multiplexing) avec un cyclic préfix. Le principe est le même que celui de l'OFDM et partage quelques-uns de ses avantages. Les signaux SC-FDMA ont les meilleures propriétés du point de vue énergétique, comparé aux signaux OFDMA. C'est la raison principale du choix du SC-FDMA pour les transmissions Uplink avec le Long Term Evolution. Les caractéristiques PARP sont très importantes pour les économies d'énergie (faible consommation de puissance) des amplificateurs dans les UE. En plus du fait de la similarité du traitement des signaux SC-FDMA avec ceux de l'OFDMA les paramètres Downlink et Uplink peuvent être facilement synchronisés.

II.10.1. La Paramétrisation de la SC-FDMA

La structure LTE Uplink étant similaire à la structure downlink et aux applications FDD, La longueur du PRB (Physical Resource Blocks) et l'espacement des sous-porteuses sont aussi similaires à la transmission downlink.

Les structures utilisant les modes FDD et TDD vu précédemment dans la transmission downlink sont encore utilisés en transmission uplink. D'autre part, dans le domaine temporel, comme nous l'avons déjà vu précédemment, une ressource block RB qui n'est rien d'autre qu'un slot, est constituée dans ce cas de 6 ou 7 symboles SC-FDMA selon la configuration de l'intervalle de garde CP « Normal cyclic prefix » ou « Extended cyclic prefix ». La Figure ci-dessous donne une représentation en temps de la structure d'un slot ou RB.

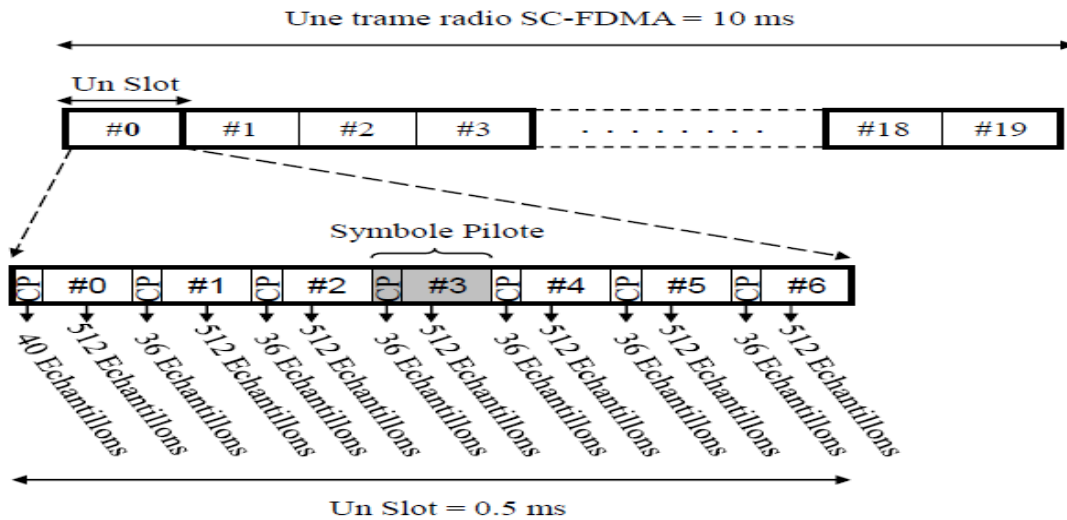


Figure II.18 : Représentation temporelle du slot d'un système

SC-FDMA à 5 Mhz de largeur de bande

La Transmission Uplink se divise en émetteur SC-FDMA et récepteur SC-FDMA :

On utilise la DFT-spread-OFDMA (transformé de Fourier) pour la génération de signal SC-FDMA. Pour la DFT-s-OFDMA, une DFT de taille Q (Q étant le nombre de sous-porteuses) est appliquée d'abord au bloc de modulation. Son rôle est la transformation des symboles en domaine fréquentiel.

Le traitement dans le bloc N -point IDFT reste le même comme dans l'OFDMA suivie par la conversion parallèle-série et une addition de cyclic prefix. Le traitement DFT est donc la différence principale entre la génération des signaux SC-FDMA et OFDMA. Dans la technique SC-FDMA, chaque sous-porteuse est utilisée pour la transmission d'information relative aux symboles modulés transmis. En effet à la sortie de la DFT les informations sont toutes transmises directement aux sous-porteuses contrairement au cas OFDMA où ce sont les symboles modulés eux même qui seront transmis. La Transmission LTE Uplink sera expliquée de manière suivante.

II.10.2. Émetteur SC-FDMA

D'après ce que nous venons de voir avec SC-FDMA un étage supplémentaire 'Q-point DFT' est donc ajouté à l'émetteur et un étage N -point IDFT au récepteur. A l'entrée de l'émetteur on aura des symboles modulés.

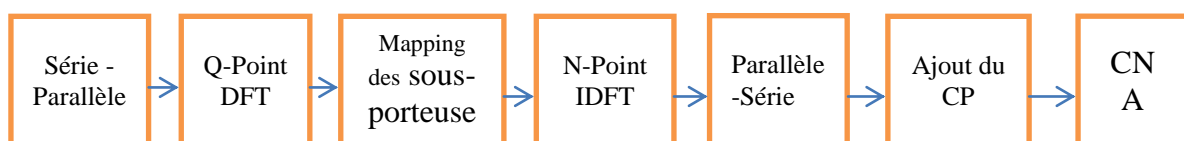


Figure II.19 : Schéma de block de SC-FDMA a l'émetteur

En SC-FDMA les données sont organisées en constellation de signal suivant les différentes modulations QPSK, 16-QAM et 64-QAM. Elles sont attribuées aux canaux avec des conditions similaires à l'OFDMA. Cependant au lieu d'envoyer les symboles préalablement modulés en (QPSK ou QAM) directement vers les sous-porteuses comme dans l'OFDMA, les symboles ici, passent après la conversion série- parallèle au bloc DFT qui les transforme en domaine fréquentiel. A sa sortie ces symboles seront modulés aux sous-porteuses par le bloc « Mapping des sous porteuses ». Après cette affectation les sous porteuses modulées, étant dans le domaine fréquentiel seront convertis en domaine temporel via le bloc IDFT. Les autres blocs suivront les opérations similaires à l'OFDMA.

Dans le multiplexage SC-FDMA les signaux sont représentés par des sous-porteuses discrète d'où l'appellation SC pour Single Carrier. Contrairement à l'OFDMA les sous-porteuses SC-FDMA ne sont pas modulées indépendamment mais globalement. L'allocation de la sous-porteuse (ressources) joue un rôle important en SC-FDMA.

II.10.2.1. Allocation des ressources radio dans le système SC-FDMA

Dans la modulation SC-FDMA, le multiplexage des utilisateurs du système est effectué dans le domaine fréquentiel. Pour supporter un grand nombre d'utilisateurs simultanés, le système utilise la technique de l'étalement spectral permettant d'augmenter la ressource spectrale à partager. Ainsi chaque utilisateur se voit allouée une portion de la largeur de bande totale du système, de manière à éviter toute interférence avec un autre utilisateur. Deux modes d'allocations de ressources existent pour cette modulation : Il s'agit du mode distribué et du mode localisé.

a) Allocation de ressource en mode distribué

Dans le mode distribué les Q symboles fréquentiels $U_Q^a(n) = \{U_0^{n,a}, \dots, U_{Q-1}^{n,a}\}$, Correspondant à la sortie du modulateur DFT de l'émetteur, viennent moduler un multiplex de Q sous-porteuses régulièrement réparties sur toute la largeur de la bande passante du système, Figure II.17. Les N - Q sous-porteuses non modulées sont affectés à des signaux nuls. La modulation SC-FDMA qui utilise ce mode d'allocation est appelée IFDMA ou (Interleaved-FDMA), L'IFDMA comporte plusieurs avantages. Il permet d'une part de garantir l'orthogonalité entre les différents utilisateurs du système, mais possède également une grande diversité fréquentielle du fait de la répartition des porteuses modulées sur toute la bande passante. Cette technique est aussi très intéressante du point de vu implémentation. En effet ce signal peut être généré dans le domaine temporel sans utilisation des modulateurs DFT et IDFT grâce à une simple compression et répétition du signal source à transmettre avec un déphasage propre à chaque utilisateur. Par contre le système I-FDMA est très sensible aux offsets de fréquence qui sont souvent introduit par une mauvaise synchronisation ou une forte mobilité causant ainsi une perte de l'orthogonalité entre les utilisateurs.

b) Allocation de ressource en mode localisé

L'autre mode d'allocation de ressources utilisé dans la modulation SC-FDMA est beaucoup plus robuste et a été adopté pour la voix montante de la norme LTE. Il s'agit du mode localisé qui donne son nom au système L-FDMA ou (Localised FDMA). Cette fois-ci les Q symboles fréquentiels $U_Q^a(n) = \{U_0^{n,a}, \dots, U_{Q-1}^{n,a}\}$ correspondant à la sortie du modulateur DFT, viennent moduler un multiplex de Q sous-porteuses

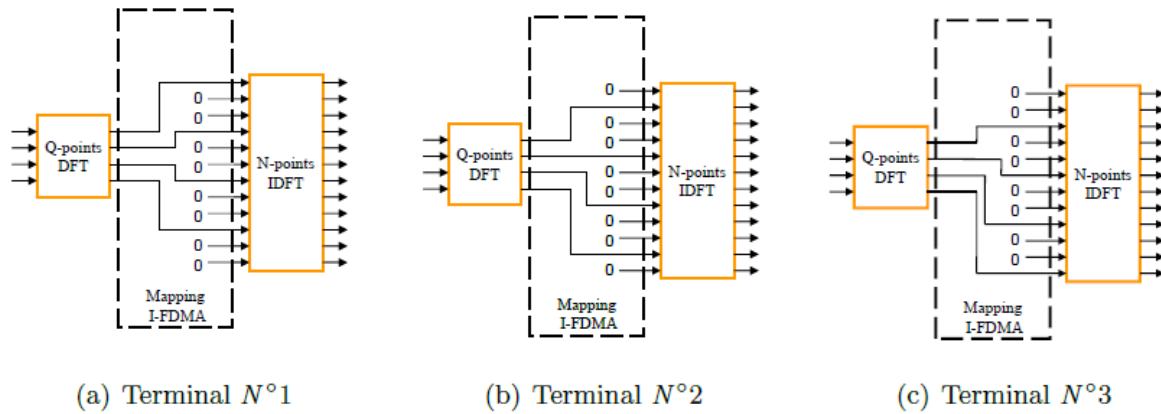


Figure II.20: Mapping I-FDMA

Les $N-Q$ autres sous-porteuses non modulées étant affectées à des signaux nuls. Les sous porteuses n'étant plus réparties sur toute la bande du système, on perd en diversité fréquentielle. Par contre le système est plus robuste à l'offset de fréquence en garantissant dans ce cas l'orthogonalité des signaux des différents utilisateurs.

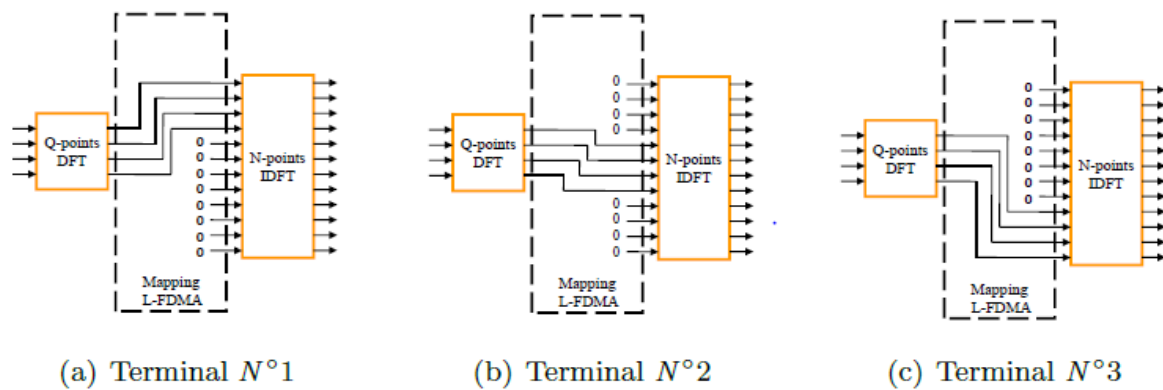


Figure II.21 : Mapping L-FDMA

Pour l'une ou l'autre des deux techniques d'allocation, le choix du multiplex de fréquences allouées à chaque utilisateur peut se faire de deux manières : Soit de façon statique c'est à dire sur toute la durée de la communication, soit par un algorithme d'ordonnement de canaux CDS ou « Channel Dépendent Scheduling ») qui octroie à chaque utilisateur, le multiplex de sous-porteuses en fonction de la qualité de son canal de transmission. Un utilisateur peut donc se voir octroyer différents multiplex de sous-porteuses durant la même communication ou même être supprimé du système lorsque son canal de transmission est très médiocre. De plus, le CDS permet d'accroître considérablement la diversité multi-utilisateurs ainsi que le débit total du système dans le cas du mapping L-FDMA comparé à celui de l'I-FDMA . Cela se justifie par le fait que le mapping I-FDMA, pour laquelle les sous-porteuses sont réparties sur toute la totalité de la bande disponible, aura un débit meilleur que dans la sous-bande déterminée par le CDS.

Au niveau récepteur, lorsque le système fonctionne dans sa capacité maximale en termes de nombre d'utilisateurs, le spectre du signal est donné par la figure ci-dessous. On peut constater l'orthogonalité entre les différentes sous-porteuses allouées à chaque utilisateur, et également l'orthogonalité entre les utilisateurs dans le domaine fréquentiel. En présence d'offset de fréquences, il est clair que le mode localisé est plus robuste que le mode distribué. Ceci vue dans le chapitre suivant à travers la simulation utilisant une variation du facteur de Roll-off.

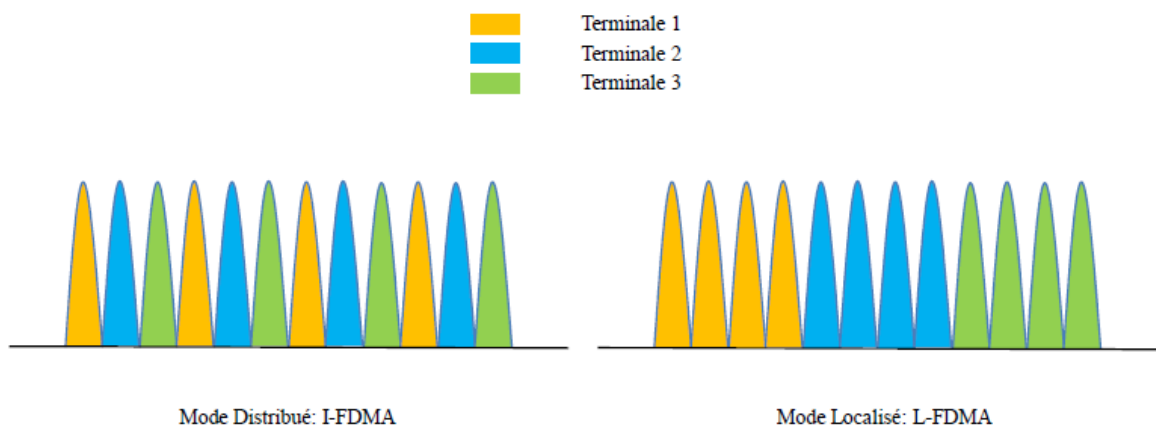


Figure II.22 Comparaison des modes I-FDMA et L-FDMA

II.10.3. Récepteur SC-FDMA

Encore ici tout est quasiment pareil à l'OFDMA mais avec les blocs supplémentaires de « demapping des sous-porteuses » et IDFT. La réallocation des Q sous-porteuses attribués permet d'obtenir N -signaux discrets. A la fin de l'IDFT on obtient les signaux SC-FDMA.

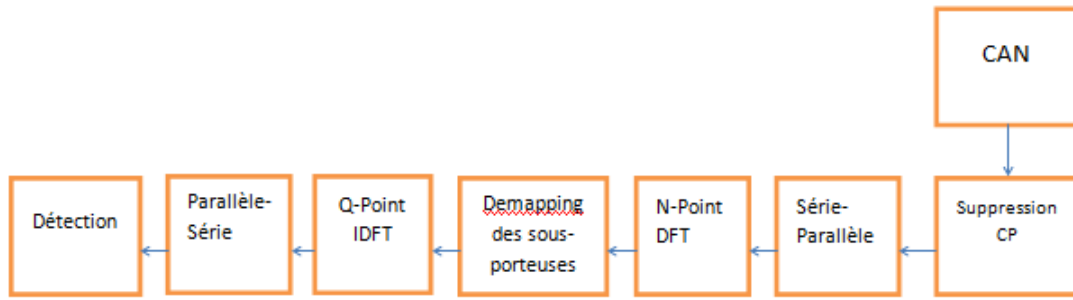


Figure II.23: SC-FDMA au Récepteur[43].

En transmission uplink, on a des signaux porteurs de données supplémentaires à savoir les signaux de référence, les signaux de contrôle et le « Random access preamble ». C’est signaux sont considérés comme des séquences de signalisation et on une amplitude constante avec une autocorrélation nulle. Contrairement aux signaux informatifs, ces signaux ne font pas parti des systèmes de modulation SC-FDMA.

❖ **Modulation SC-FDMA comparée à l’OFDMA**

Le principal avantage du SC-FDMA tient à un facteur de crête et à un PAPR (peak-to-average power ratio en anglais) plus faibles que ceux du codage OFDMA ; cela bénéficie au terminal mobile en termes d’efficacité énergétique, 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.

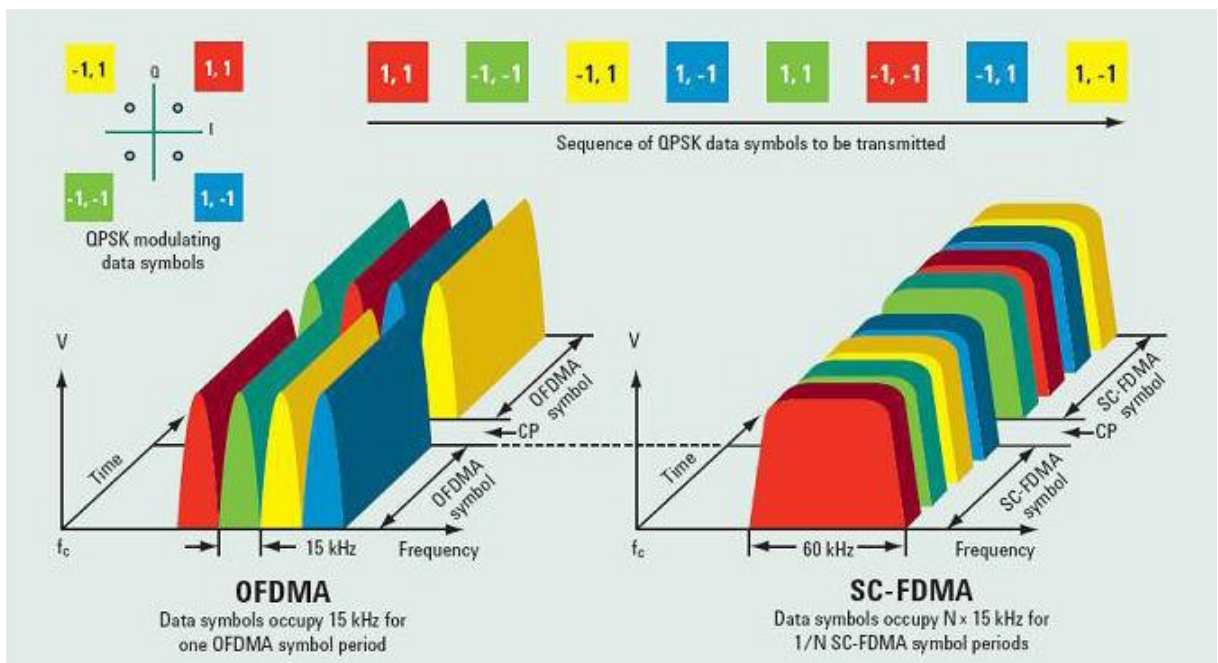


Figure II.24 : Modulation SC-FDMA comparée à l’OFDMA

II.11. Le Handover dans LTE

Handover est l'une des procédures principales pour s'assurer que les utilisateurs se bougent librement par le réseau tout en étant relié toujours et étant offert des services de qualité. Puisque son taux de succès est un indicateur principal de satisfaction d'utilisateur, il est essentiel que ce procédé se produit aussi rapidement et aussi seamlessly que possible. Mais le problème de fournir l'accès sans couture devient bien plus important dans LTE puisqu'il emploie un handover hard.

Par conséquent, la linéarisation du procédé de handover pour obtenir l'exécution exigée est considéré une question importante dans des réseaux LTE.

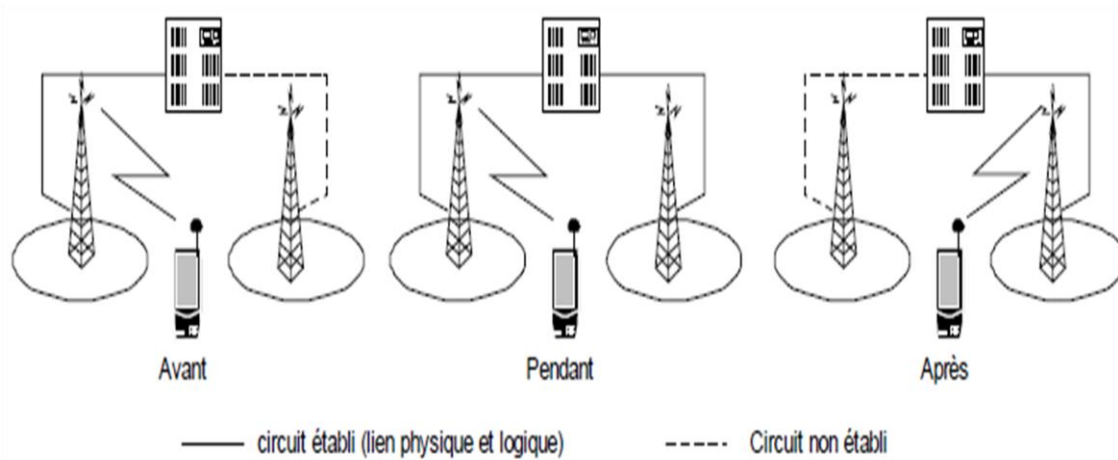


Figure II.25 : Hard Handover

II.12. Les techniques LTE-Advanced

La figure suivante résume les techniques avancées qui ont conduit à LTE-Advanced :

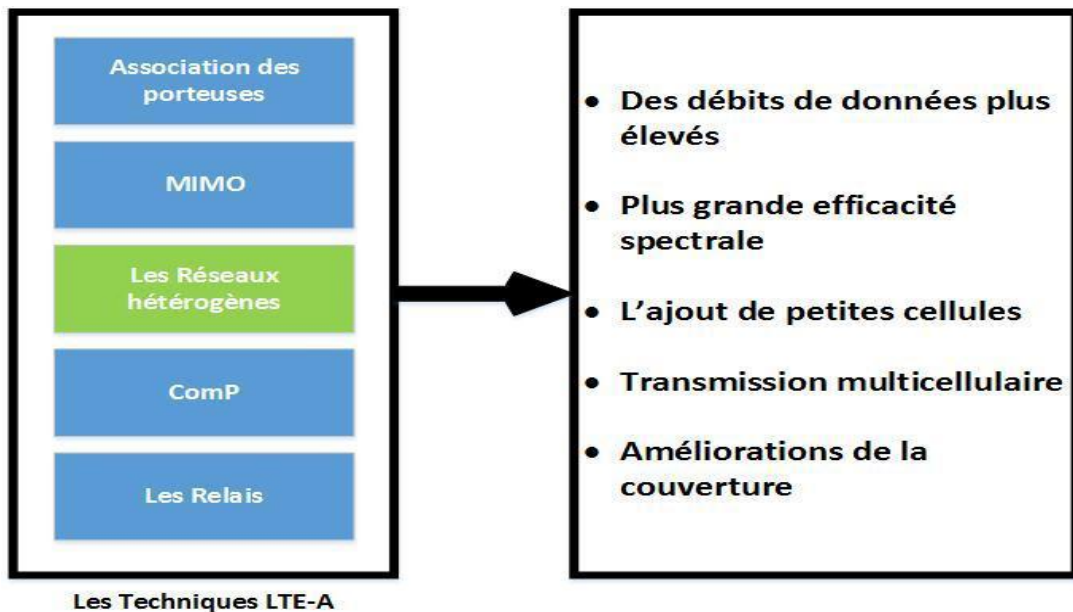


Figure II .26 : les techniques LTE-A et leurs apports

II.12.1. Agrégation de porteuses

Carrier Aggregation ou l'agrégation de porteuses est une caractéristique importante qui a donné un plus pour la normalisation du LTE-Advanced. Dans l'agrégation de porteuses en amont ou en liaison descendante les porteuses dans les bandes de fréquences sont contiguës ou non contiguës peuvent être regroupés (voir figure ci-dessous).

Chacune des porteuses constitutives proprement dit sera rétro compatible pour accueillir les versions 8, 9 et les UEs émettant des signaux de synchronisation et les informations de transmission du système via le canal de diffusion.

La façon la plus simple pour augmenter la capacité est d'ajouter plus de bande passante. Comme il est important de garder la compatibilité ascendante avec les Release 8 et 9. L'augmentation de la bande passante dans le LTE-Advanced est fournie par l'agrégation de porteuses de R8/R9. L'agrégation de porteuses peut être utilisé à la fois pour FDD et TDD.

Chaque porteuse agrégée est considéré comme un ensemble de porteuses. Cet ensemble peut avoir une largeur de bande de 1,4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz, et d'un maximum de cinq porteuses constitutives peuvent être regroupées. D'où la bande passante maximale est de 100MHz.

Le nombre de porteuses agrégées peut être différent dans DL et UL, cependant le nombre de porteuses constitutives UL n'est pas plus grand que le nombre de porteuses constitutives DL. Les porteuses

constitutives individuelles peuvent également être de différentes largeurs de bande (voir figure ci-dessous)

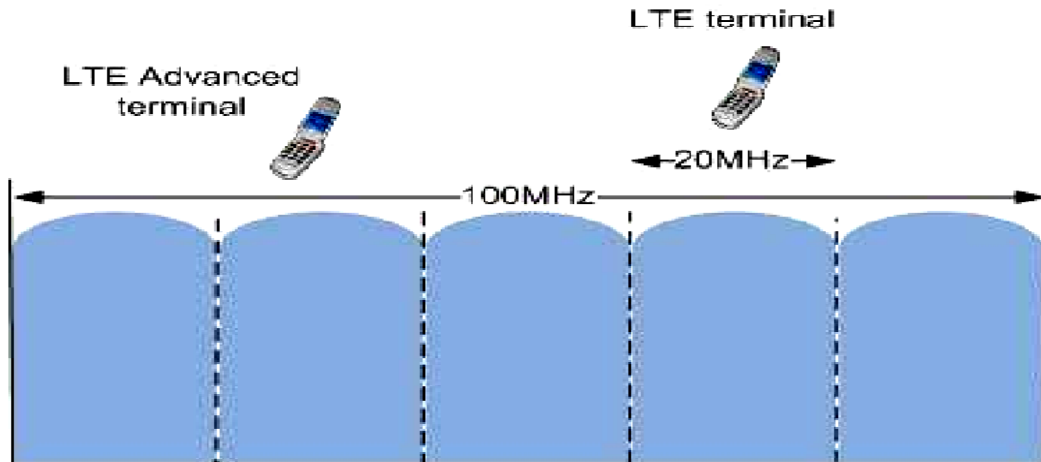


Figure II.27: Technique Carrier Aggregation

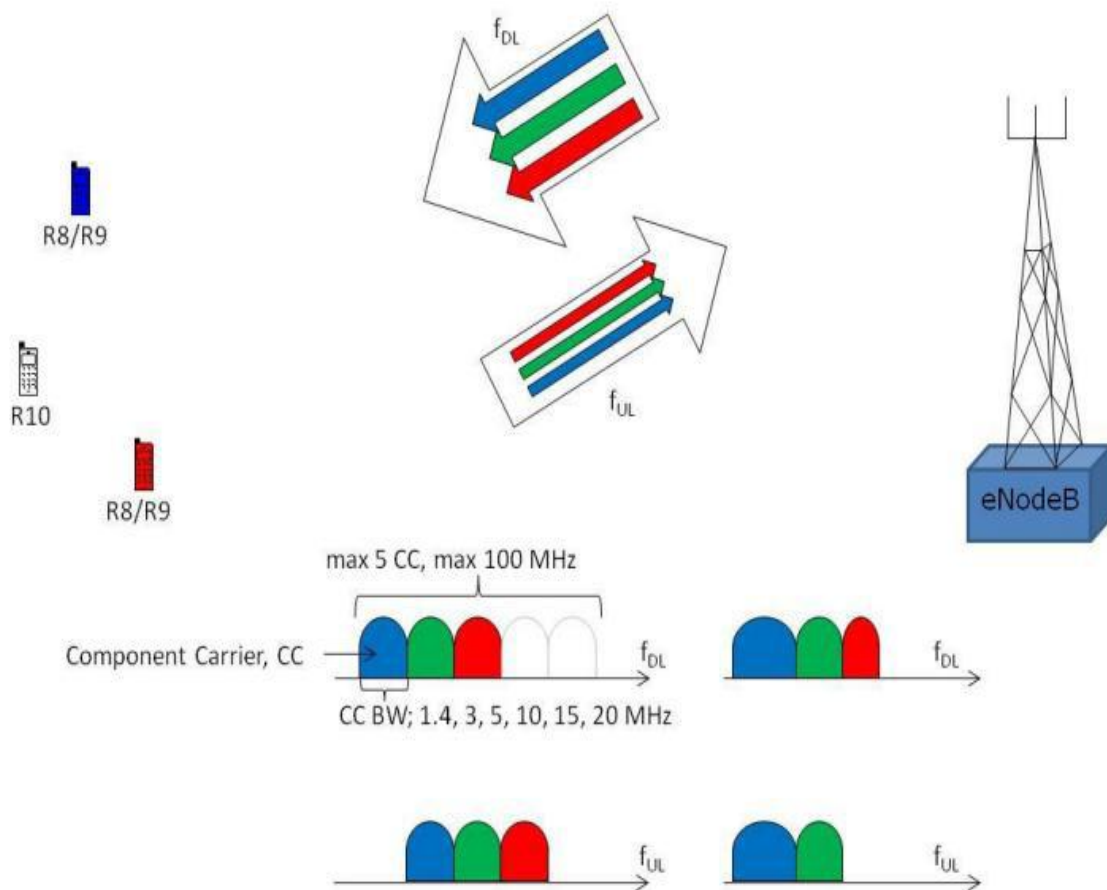


Figure II.28: Carrier Aggregation FDD

La R10 du UE peut être alloué des ressources DL et UL sur un maximum de cinq Component Carriers (CC). Ces dernières peuvent être de différentes largeurs de bande. La meilleure façon d'organiser

l'agrégation consiste à utiliser des porteuses constitutives contigus dans la même bande de fréquence, dite intra-bande contiguë. Cela pourrait ne pas être toujours possible, en raison de scénarios d'attribution des fréquences.

Pour l'allocation non contiguë, il pourrait être soit intra-bande, c'est à dire les porteuses constitutives appartiennent à la même bande de fréquences de fonctionnement, mais sont séparées par un intervalle de fréquence, ou il pourrait être inter-bande, dans ce cas, les porteuses constitutives appartiennent à la fréquence de fonctionnement de différentes bandes, voir figure ci-dessous.

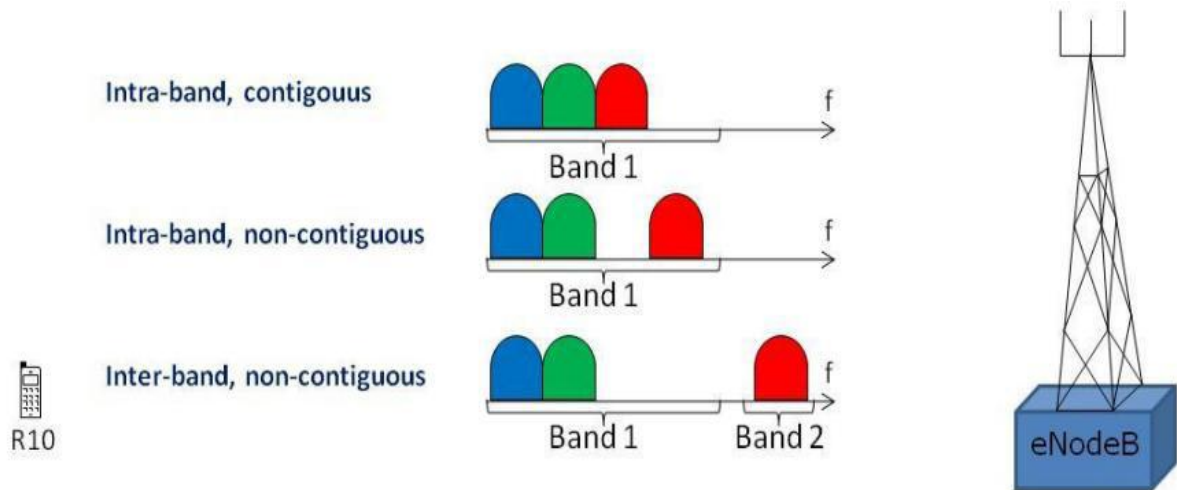


Figure II.29 : Carrier Aggregation Intra et inter-band alternatives

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

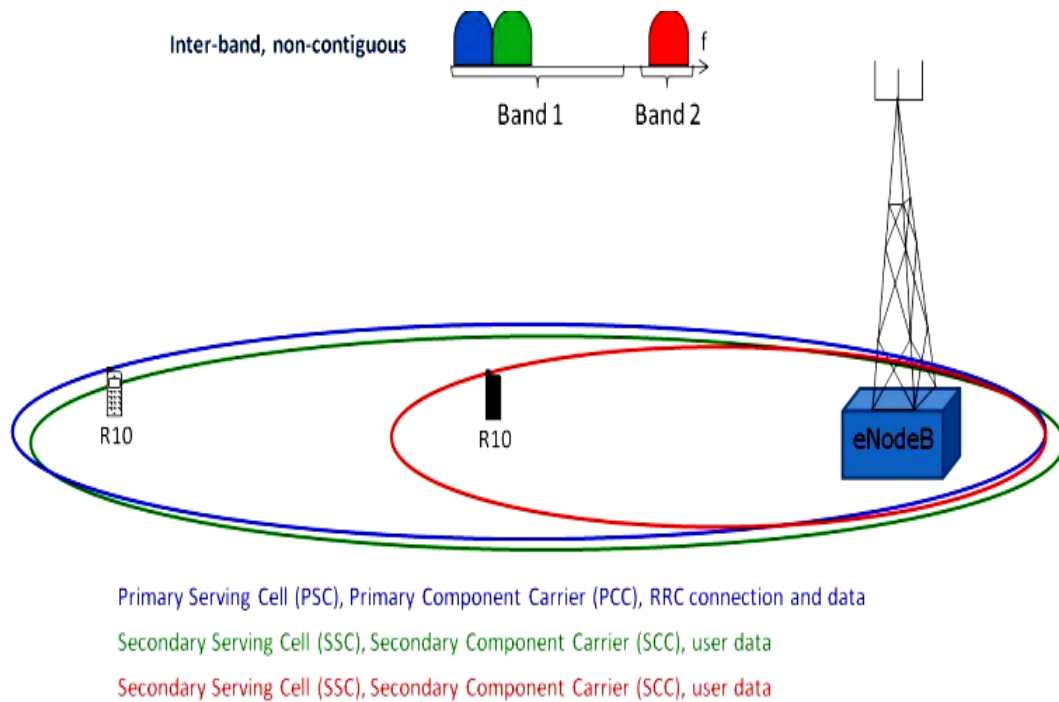


Figure II.30: Carrier Aggregation Serving Cells

II.12.2. Le Concept Coordinated multipoints (CoMP)

LTE CoMP ou Coordinated Multipoint est une installation qui est développée pour la LTE-Advanced, la plupart des installations sont encore en développement et peut changer à mesure que les normes définissent les différents éléments du CoMP plus précisément. LTE CoMP est essentiellement une gamme de différentes techniques qui permettent la coordination dynamique de transmission et de réception sur une variété de différentes stations de base.

L'objectif est d'améliorer la qualité globale de l'utilisateur ainsi que l'amélioration de l'utilisation du réseau.

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

Les bases CoMP de transmission et réception désignent en fait un large éventail de techniques qui permettent la coordination de la transmission et la réception avec plusieurs eNBs géographiquement et dynamiquement séparées. Son objectif est d'améliorer la performance globale du système, et

l'utilisation des ressources de manière plus efficace et d'améliorer la qualité de service de l'utilisateur final

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

Évidemment, les bords de la cellule sont les plus difficiles. Non seulement le signal diminue en force à cause de la distance entre la station de base (eNB), mais aussi des niveaux d'interférence d'eNB voisins sont susceptibles d'être plus élevés que l'UE sera plus proche d'eux. la 4G LTE CoMP, nécessite une coordination étroite entre un certain nombre d'eNBs géographiquement séparés. Ils coordonnent de façon dynamique pour fournir la planification et la transmission des articulations ainsi que la preuve de traitement commun des signaux reçus. De cette manière, un UE au niveau du bord d'une cellule est capable d'être desservie par deux ou plusieurs eNBs pour améliorer les signaux de réception et transmission et augmenter le débit en particulier dans des conditions de bord de la cellule.

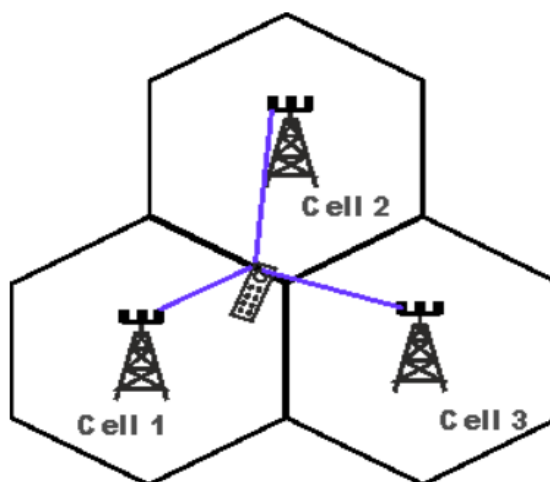


Figure II.31 : Concept de LTE Advanced COMP « Coordinated Multipoint »

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

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

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

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

➤ **Downlink LTE CoMP**

La liaison descendante LTE CoMP nécessite une coordination dynamique entre plusieurs eNBs géographiquement séparées pour faire la transmission à l'UE.

Les systèmes de traitement sont communs pour la transmission en liaison descendante dans ce cas, les données sont transmises à l'UE en même temps à partir d'un nombre de différentes eNB. L'objectif est d'améliorer la qualité du signal reçu. Elle peut aussi avoir pour but d'annuler activement l'interférence de transmissions destinée aux autres UEs. Cette forme de coordonnées multipoint accorde une grande demande sur le réseau, car les données à transmettre à l'UE ont besoin d'être envoyés à chaque eNB qui va lui aussi les transmettre à l'UE. Cela peut facilement doubler ou tripler la quantité de données dans le réseau qui dépend du nombre d'eNBs responsables de l'envoi des données. En plus le traitement de données conjointes doivent être envoyé entre toutes les eNBs actives dans le domaine CoMP.

➤ **Uplink LTE CoMP**

La réception et le traitement conjoint: Le concept de base derrière ce format est d'utiliser des antennes sur différents sites. En coordonnant entre les différents eNBs il est possible de former un réseau d'antennes virtuel. Les signaux reçus par les eNBs sont ensuite combinés et traités pour produire le signal de sortie final. Cette technique permet aux signaux qui sont très faibles d'avoir la force, ou ceux qui sont masqués par des interférences dans certaines régions d'avoir moins d'erreur.

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

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

II.12.2.1. Les mécanismes de LTE COMP

a- CB/CS (Coordinated BeamForming/Coordinated Scheduling)

L'idée de ce mécanisme, est de mettre à jour les eNodeBs, de manière où elles négocient entre elles les vecteurs de formation de voies (ou BeamForming : BF) employés.

Les vecteurs de BF sont des pré-codeurs (un codeur employé pour pré-coder les symboles informations avant les transmettre), utilisé pour modifier la phase et orienter le lobe dans une direction privilégiée dans l'espace, de façon à réduire l'interférence entre les lobes provenant des autres stations de base. Auparavant, cette technique a été employée pour séparer spatialement les utilisateurs de la même cellule, en générant des flux de données séparés dans l'espace, appelés des couches, pour créer en fin une technique d'accès multiple appelée SDMA (Space Division Multiple Access).

b- Joint Transmission

Pour le cas de Coordinated Beamforming/Coordinated Scheduling (CB/CS), les informations sur l'état du canal d'un terminal mobile donné sont partagées entre toutes les cellules appartenant à l'ensemble de coopération et l'information n'existe que dans la station de service. Par contre, dans le schéma de JT-CoMP, les données sont disponibles au niveau de toutes les stations et elle sont transmises de façon jointe. Ainsi, le canal PDSCH est composé de plusieurs stations qui émettent simultanément.

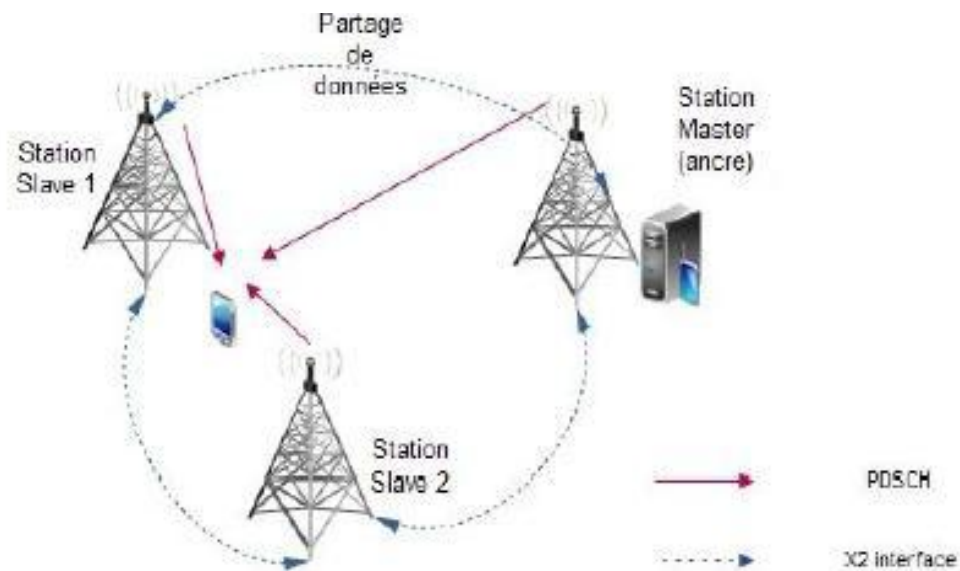


Figure II.32 : Exemple de JT-CoMP

La station master, étant l'ancre ou la station de service, partage les données, destinées vers l'UE, avec toutes les stations de la zone de coopération. Cette opération doit se dérouler en temps réel, pour ne pas introduire un délai supplémentaire et elle nécessite une synchronisation temporelle des stations de

bases coopérantes. Le délai de transport via l'interface X2 doit être négligeable, on a ainsi recours à la technologie de fibre optique.

L'avantage majeur d'une telle configuration consiste à la diversité spatiale que puisse introduire un réseau de systèmes MIMO, un gain important au niveau de débit sur les bordures de la cellule: L'interférence devient constructive, lorsqu'elle contient un minimum d'information utile.

c- Dynamic Cell Selection : DCS pour le sens descendant

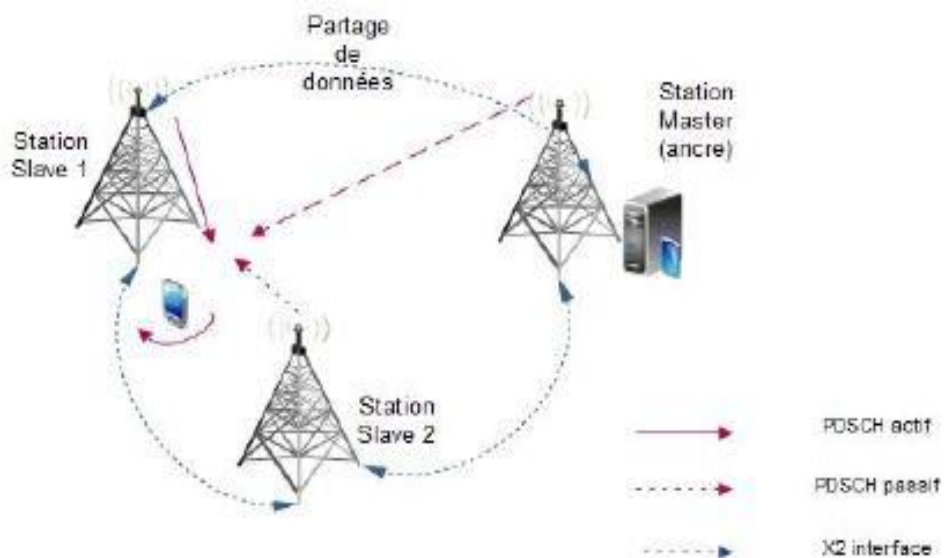


Figure II.33 : Exemple de DCS-CoMP

La sélection dynamique de cellule (Dynamic Cell Selection : DCS) ressemble à JT-CoMP. Le canal PDSCH est composé de toutes les stations constituant la zone de coopération, mais une seule station peut émettre sur une sous-trame (sub-frame SF). La station active change dynamiquement, selon les états du canal de toutes les stations dans la zone CoMP.

II.12.3. LTE Relais

Dans LTE-Advanced, la possibilité pour la planification efficace de réseaux hétérogènes (heterogeneous network) c.-à-d. un mélange de grandes et petites cellules est augmenté par l'introduction des nœuds de relais (RNs). Les nœuds de relais sont des basses stations de base de puissance qui fourniront les capacités augmentées aux bords de cellules, et des secteurs pour se relier aux régions éloignées sans raccordement de fibre. Le nœud de relais est relié à l'eNB de distributeur (DeNB) par l'intermédiaire d'une interface radio, qui est une modification de l'interface Uu.

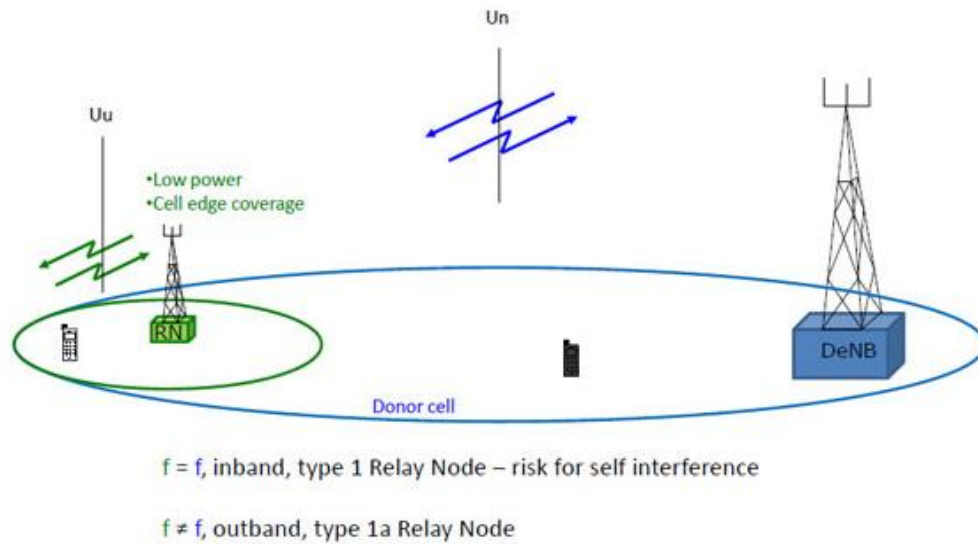


Figure II.34 : Le noeud de relais (RN) est relié au DeNB par l'intermédiaire de l'interface radio (un UEs au bord de la cellule)

II.12.4. Généralités de MIMO

MIMO est employé pour augmenter le débit global par la transmission des deux (ou plus) différents flux de données sur deux (ou plus) différentes antennes - en utilisant les mêmes ressources dans la fréquence et le temps, séparés seulement par l'utilisation de différents signaux de référence - à recevoir par deux antennes ou plus.

MIMO – Spatial Multiplexing (2x2)

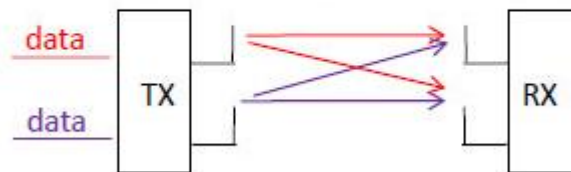
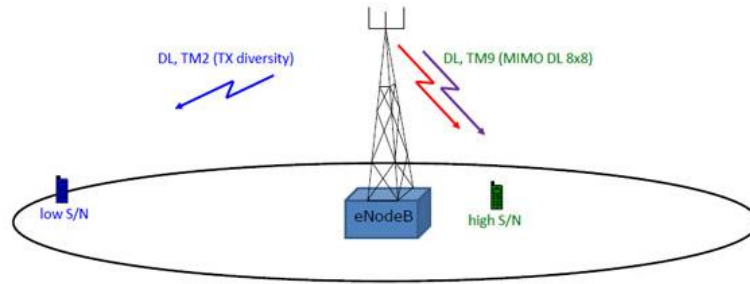


Figure II.35 : Illustration simplifiée de 2x2 MIMO (multiplexage spatial)

Un changement important d'LTE-Advanced est l'introduction de 8x8 MIMO dans la DL et le 4x4 à l'UL.

MIMO peut être employé quand le SNR (rapport signal-bruit) est haut, c.-à-d. le canal radio de haute qualité. Pour des situations avec un bas SNR il vaut mieux employer d'autres types de technique multi-antenne telle que la diversité TX.



Le schéma II.36 : MIMO est recommandé pour un haut SNR

et la diversité TX est de préférence employée pour de bas scénarios de SNR.

Pour pouvoir ajuster le type d'arrangement de transmission multi-antenne, selon par exemple l'environnement radio, un certain nombre de différents modes de transmission (TM) a été définis. La volonté d'UE par la signalisation de RRC soit informée au sujet du mode de transmission employé. Dans la DL il y a neuf modes de transmission différents, où TM1-7 ont été présentés dans R8, TM8 a été présenté dans R9 et TM9 a été présenté dans R10. À l'UL il y a TM1 et TM2, où TM1, le défaut, a été présenté dans R8 et TM2 a été présenté dans R10.

Ports d'antenne utilisés :

Type de signal de référence, de signal Cellule-spécifique de référence (CRS) ou de signal de référence de démodulation (DM-RS), présenté dans R10.

Précodage du type :

Par l'introduction de DL TM9 8x8 MIMO , et par l'introduction de l'utilisation de l'UL TM2 de 4x4 MIMO.

Dans les techniques de multi-antennes le précodage est employé pour tracer les symboles de modulation sur les différentes antennes. Le type de précodage dépend de la technique d'anti-antenne utilisée aussi bien que sur le nombre de couches et le nombre de ports d'antenne. Le but avec le précodage est de réaliser la meilleure réception de données au récepteur.

Dans R10 les DM-RSs (la référence de démodulation signal) sont ajoutés aux différents flux de données avant le précodage. La connaissance au sujet du signal de référence fournira des informations au sujet de l'influence combinée du canal radio et précodant, aucune pré-connaissance au sujet du

precoder n'est exigée par le récepteur, ce cas désigné sous le nom du précodage basé par non-codebook.

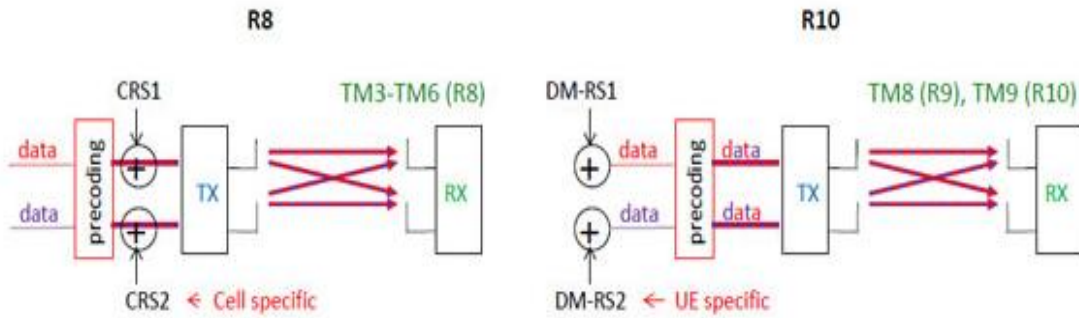


Figure II.37 : MIMO DL avec le signal de précodage et de référence

pour la démodulation dans R8 et R10.

Le downlink soutient un maximum de quatre couches spatiales de transmission (4x4, assumant quatre récepteurs d'UE) et l'uplink un maximum de un par UE (1x2, assumant un récepteur de diversité d'eNB).

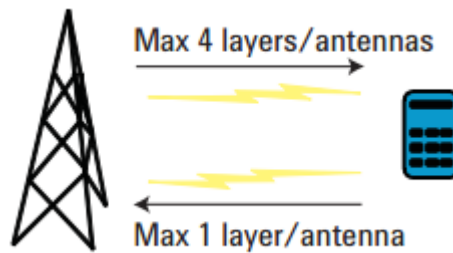


Figure II.38 : Libérer le nombre maximum de 8 LTE des ports d'antenne et des couches spatiales

LTE-Avancé indique jusqu'à huit couches dans le downlink par ce qui, avec les huit récepteurs requis dans l'UE, permet la possibilité par le downlink du multiplexage 8x8 spatial. L'UE sera indiqué à support par jusqu'à quatre émetteurs permettant la possibilité de jusqu'à la transmission 4x4 dans par uplink une fois combiné avec quatre récepteurs d'eNB.

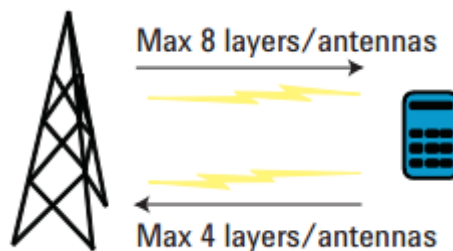


Figure II.39 : .Nombre maximum LTE-Avancé des ports d'antenne et des couches spatiales

Item	Subcategory	LTE-		
		LTE (3.9G) target [9]	Advanced (4G) target [10]	IMT-Advanced (4G) target [11]
Peak spectral efficiency (b/s/Hz)	Downlink	16.3 (4x4 MIMO)	30 (up to 8x8 MIMO)	15 (4x4 MIMO)
	Uplink	4.32 (64 QAM SISO)	15 (up to 4x4 MIMO)	6.75 (2x4 MIMO)
Downlink cell spectral efficiency (b/s/Hz), 3 km/h, 500 m ISD	2x2 MIMO	1.69	2.4	
	4.2 MIMO	1.87	2.6	2.6
	4x4 MIMO	2.67	3.7	
Downlink cell-edge user spectral efficiency (b/s/Hz) 5 percentile, 10 users, 500 m ISD	2x2 MIMO	0.05	0.07	
	4x2 MIMO	0.06	0.09	0.075
	4x4 MIMO	0.08	0.12	

Tableau II.8 : Les technique MIMO**II.12.5. Les réseaux hétérogènes (HetNet)**

Les réseaux hétérogènes, souvent appelés HetNet (Heterogeneous Network), ne mentionne pas une technologie spécifique, mais ils correspondent à la technique de déploiement multicouches. Autrement dit, plusieurs techniques d'accès, plusieurs formats de cellule, plusieurs types de couverture sont mis en œuvre dans la même zone de déploiement. Le besoin découle du fait que la plupart des zones de déploiement ont un certain degré d'hétérogénéité en termes d'exigences de couverture, de débits, de délai, etc.

En effet, une macro cellule permet de réaliser le plus grand rayon de couverture, une pico cellule ou femto cellule est caractérisée par une surface de couverture plus petite, donc elle sert moins d'abonnées ce qui obéit à la contrainte de capacité.

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

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

II.12.5.1. Amélioration de la mobilité du HeNB

Face à l'évolution continue des demandes des usagers, de nouvelles technologies et améliorations ont été introduites dans le système LTE-Advanced afin de satisfaire aux spécifications des systèmes IMT Advanced. Parmi ces technologies, on trouve le support des réseaux HetNet, qui déploient différents types de cellules afin d'étendre la couverture du réseau et d'améliorer la qualité de service offerte aux usagers. Dans la section suivante, on détaille le concept de réseau HetNet, ainsi que celui de cellules femtos.

Le réseau HetNet est un moyen attractif pour augmenter la capacité des systèmes de communication sans fil. Il est typiquement composé de diverses technologies d'accès radio, architectures, solutions de transmission et stations de base caractérisées par des puissances de transmission différentes.

On distingue trois types de stations de base composant un réseau HetNet LTE : la cellule macro, la cellule pico et la cellule femto.

- Le groupe 3GPP a travaillé pour introduire le concept de cellule femto depuis le système UMTS.

Ces travaux ont été étendus dans le système LTE dans sa version 8 et les versions qui la succèdent.

De ce fait, des cellules caractérisées par une couverture étroite et une faible puissance de transmission, dites HeNBs, ont été introduites. La version 9 de LTE a spécifié la mobilité « inbound » de la cellule macro au HeNB.

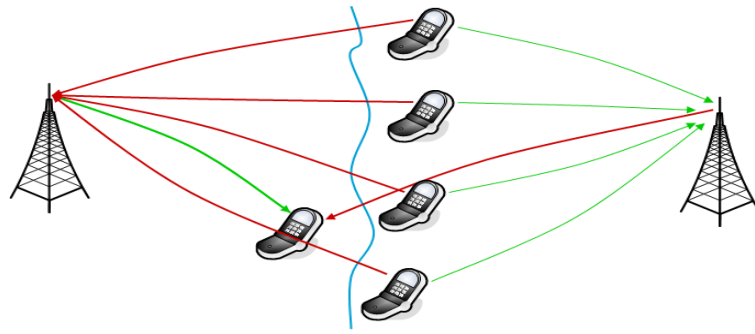
Dans LTE-Advanced, de nouvelles améliorations ont été effectuées telles que la gestion de mobilité HeNB-HeNB. Cette fonctionnalité est considérée très importante dans le déploiement de cellules femtos dans un environnement d'entreprise.

Le concept de déploiement de cellule HeNB est différent de celui des nœuds de relai. En effet, le nœud HeNB est connecté au réseau Core à travers une connexion internet fixe, telles qu'une connexion ADSL, câble, fibre optique, . . .

II.12.6. Coordination Augmentée D'Interférence Inter-Cellule (eICIC)

La manipulation convenable des interférences au niveau les frontières de cellules étaient une matière importante des versions 8 et suivantes.

Dans un macro réseau pur de cellules, un UE lié à sa cellule respective souffre aux interférences de bord de cellules d'une cellule voisine UEs additionnel crée des interférences sur l'UL en question, ce qui ne peut pas être enlevé en choisissant convenablement la puissance de transmission.



Le schéma II.40 : Scénario d'interférence dans un macro réseau de cellules

Pour manipuler ces interférences d'une manière appropriée, les méthodes suivantes sont employées :

- Randomization dans le train binaire de couche physique
- Annulation d'interférence sur le récepteur
- Coordination d'interférence, où échange d'eNBs au-dessus de l'interface X2 informations sur des interférences possibles ou existantes.

Cependant pour des réseaux de la version 10, ces méthodes ne sont plus suffisantes. De nouvelles méthodes de coordination d'interférence sont nécessaires quand le prétendu hétérogène Des réseaux (HetNets) sont roulés à l'intérieur:

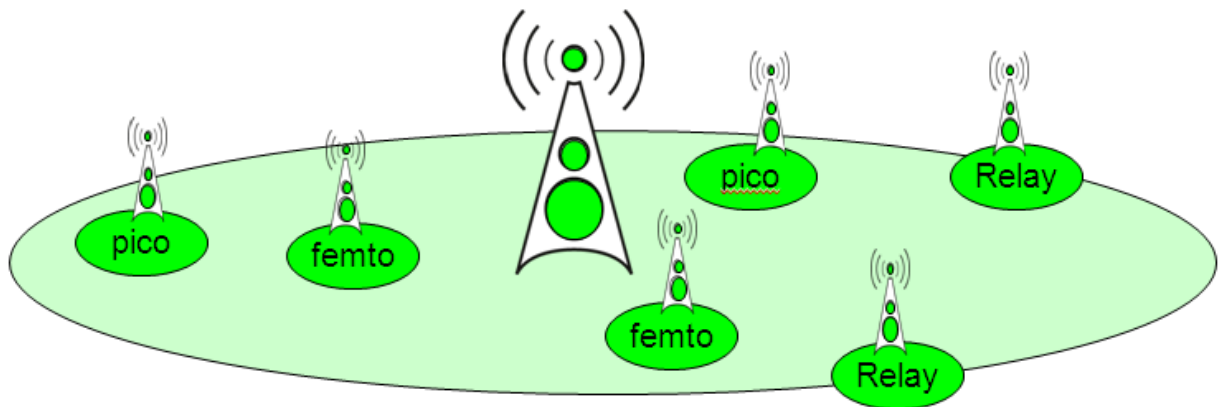


Figure II.41 : Exemple de disposition de cellules d'un HetNet

Ce sont des réseaux qui sont accumulés par une macro cellule (MC), par les cellules pico (PC), les cellules de femto (FC) et les stations de relais ;

Toutes les cellules emploient la même fréquence et plus de scénarios graves d'interférence sortent comparé aux déploiements simples de couche.

Pour le PC, la situation peut mieux être décrite par l'image suivante :

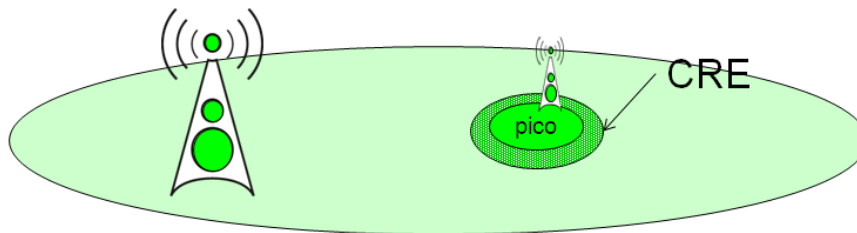


Figure II.42 : Disposition de cellules d'exemple d'un HetNet

en utilisant une cellule pico dans une cellule macro

Il y a deux frontières au PC, le bord conventionnel de cellules d'où le signal de DL le PC est le plus fort, et une prétendue prolongation de chaîne de cellules (CRE).

En cela la gamme, la déperdition en circuit sur l'UL au PC est encore plus petite que la déperdition en circuit à MC, considérant que le signal de DL de MC est le plus fort. C'est différent à MC, MC déploiement, où on peut assumer cela si un signal voisin des cellules DL devient plus fort que le signal des cellules DL de portion, également l'uplink de cette cellule voisine sera le choix meilleur.

En revanche dans MC au cas de PC/FC, dans le CRE il peut réellement être meilleur pour rester relié au FC/PC. La raison derrière cette asymétrie est la différence entre les puissances de transmission, qui est habituellement beaucoup plus haut pour MC par conséquent CRE est facultatif et est employé pour éviter des interférences à l'UL et pour une charge convenable équilibrant.

Il pose des problèmes pour que l'UE obtienne les signaux de DL décodés, parce que ceux-ci sont également interférés par MC. Dans le cas de la FCS il y a le problème des prétendus groupes d'abonné fermés (CSG). Ceci signifie que seulement UEs choisis sont autorisés pour se relier au FC, considérant qu'on ne permet pas l'autre UEs, indépendamment de la qualité de signal.

L'UE n'est pas une partie du CSG et ne doit pas donc se relier à MC. Il est facile d'imaginer que cet UE est fortement interféré par le FC dans la DL et s'y mêle vice versa l'UL de FC.s.

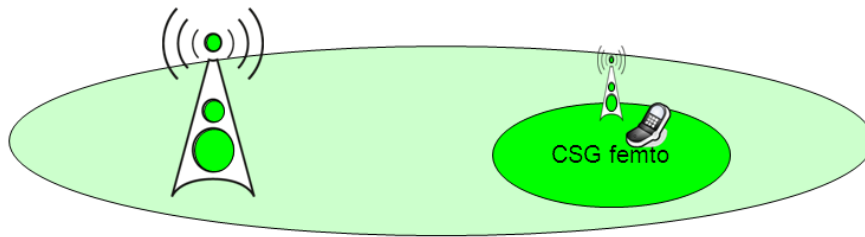


Figure II.43 : Scénario d'interférence pour des cellules de Femto

En conséquence, il y a deux nouvelles issues qualitatives à résoudre dans HetNets :

- il est difficile de décoder le canal de commande.
- les mesures d'UE sur les signaux de référence sont falsifiés.
- Les méthodes ICIC dans la version 8 et 9 sont limitées aux canaux de données et donc ne pas contribuer à un soulagement de ces problèmes.
- Afin de faire face à ces nouveaux défis, le concept des subframes presque blancs (ABS) a été présenté. Ce sont des subframes sans n'importe quelle transmission de données et ainsi sans paramètres correspondants.

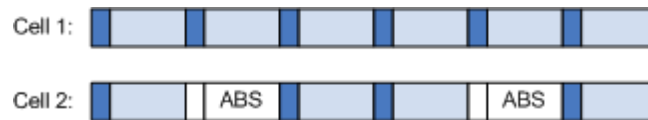


Figure II.44 : Visualisation des subframes presque blancs

II .13. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons mis en lumière les caractéristiques des réseaux cellulaires LTE et LTE-A, nous avons présenté les plus importantes techniques qui dépendent des interfaces radio l'OFDMA et SC-FDMA, de l'architecture mais aussi des les techniques avancées qui ont translaté LTE à LTE-Advanced.

Il va de soit que l'organisation 3GPP avait pour objectif de standardiser LTE-Advanced (Release 10) selon les spécifications qui ont été définies, mais ça n'empêche l'apparition d'autres releases plus améliorées, en tirant profit des nouvelles techniques avancées et des dernières technologies.

CHAPITRE 3

Comparaison 3G/4G et Perspectives 5G

III.1. Les améliorations de LTE

Bien qu'il y a de majeures étapes à franchir entre la LTE et ses prédécesseurs 3G, elle est néanmoins considérée comme une évolution de l'UMTS. Bien qu'elle utilise une forme différente d'interface radio, en utilisant l'OFDMA / SC-FDMA au lieu de la CDMA, il existe de nombreuses similitudes avec les formes antérieures d'architecture 3G. La LTE peuvent être vus pour fournir une plus loin évolution de fonctionnalité, une augmentation des débits et de meilleures performances générales. (voir tableau ci-dessous)

	WCDMA (UMTS)	HSPA (HSDPA / HSUPA)	HSPA+	LTE
Vitesse maximum bps de liaison descendante	384 k	14M	28M	100M
Vitesse maximum bps de liaison montante	128 k	5.7M	11M	50M
Latence Temps aller-retour	150 ms	100ms	50ms (ms)	~10 ms
Méthode d'accès	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC- FDMA

Tableau III.1 : Comparaison des performances des générations 3G

Le LTE a introduit un certain nombre de nouvelles technologies par rapport aux systèmes cellulaires précédents. Ils permettent à LTE d'être en mesure de fonctionner plus efficacement à l'égard de l'utilisation du spectre, et également pour fournir des débits beaucoup plus élevés requis.

Les méthodes d'accès diffèrent entre la liaison montante et descendante: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est utilisé dans le sens downlink, tandis que SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) est utilisée dans le sens uplink. SC-FDMA est utilisé en vue du fait que son rapport de puissance crête à moyenne est faible de plus la puissance constante permet une haute efficacité d'amplification de puissance RF dans les terminaux mobiles - un facteur important pour les batteries d'alimentation des équipements.

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

Paramètres	Détails
Vitesse maximale de liaison descendante 64QAM Mbps	100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO)
La liaison montante maximale expédiée (Mbps)	50 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM)
Type de données	Toutes les données de commutation de paquets (voix et données). Pas de commutation de circuit.
Channel bandes passantes (MHz)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Duplex régimes	FDD et TDD
Mobilité	0 - 15 km/h (optimised), 15 - 120 km/h (haute performance)
Latence	Inactif à l'état actif de moins de 100ms Petits paquets ~ 10 ms
Efficacité spectrale	liaison descendante : 3 - 4 times Rel 6 HSDPA Liaison montante : 2 -3 x Rel 6 HSUPA
Arrangements d'accès	OFDMA (Downlink) SC-FDMA (Uplink)
Types de modulation supportée	QPSK, 16QAM, 64QAM (Uplink and downlink)

Tableau III.2 : spécifications et performances du LTE

Ces spécifications donnent une vue globale des performances que LTE offre. Ceci répond aux exigences de l'industrie pour le téléchargement de données haute vitesse ainsi que des temps de latence réduit - un facteur important pour de nombreuses applications de la VoIP, au gaming et l'utilisation interactive des données.

On peut résumer ces améliorations comme suit :

III.1.1. Débit :

- un débit descendant théorique allant jusqu'à 326,4 Mbit/s crête (300 Mbit/s utiles) en mode MIMO 4×4 ;
- un débit montant théorique allant jusqu'à 86,4 Mbit/s crête (75 Mbit/s utiles) ;
- cinq classes de terminaux LTE ont été définies, elles supportent des débits allant de 10 Mbit/s (catégorie 1), jusqu'au débit maximal descendant prévu par la norme LTE (300 Mbit/s pour la catégorie 5). Tous les terminaux LTE doivent être compatibles avec les largeurs de bandes de fréquence allant de 1,4 à 20 MHz ;
- un débit de données trois à quatre fois plus important que celui de l'UMTS/HSPA ;

III.1.2. Efficacité spectrale :

- une efficacité spectrale (nombre de bits transmis par seconde par hertz) trois fois plus élevée que la version de l'UMTS appelée HSPA ; ; un temps de latence RTT (Round Trip Time) proche de 10 ms (contre 70 à 200 ms en HSPA et UMTS). Ceci a été possible grâce à des modulations d'ordre supérieur : QAM-64, 6 bits par symbole OFDM).

III.1.3. Latence :

- un temps de latence RTT (Round Trip Time) proche de 10 ms (contre 70 à 200 ms en HSPA et UMTS) ;

III.1.4. Méthodes d'accès :

- l'utilisation du codage OFDMA pour la liaison descendante et du SC-FDMA pour la liaison montante (au lieu du W-CDMA en UMTS) ;

III.1.5. Bandes de fréquence :

- la possibilité d'utiliser une bande de fréquence allouée à un opérateur variant de 1,4 MHz à 20 MHz, permet une plus grande souplesse (par rapport à la largeur spectrale fixe de 5 MHz de l'UMTS / WCDMA) ;
- une large gamme de bandes de fréquences hertziennes supportées, y compris celles historiquement attribuées au GSM et à l'UMTS et de nouvelles bandes spectrales notamment autour de 800 MHz et de 2,6 GHz : 39 bandes sont normalisées par le 3GPP (dont 27 en LTE FDD et 11 en TDD). La possibilité d'utiliser des sous-bandes de fréquences non-contiguës ;
- la contrepartie du grand nombre de bandes de fréquences prévues par la norme est la quasi impossibilité pour un terminal de prendre en charge simultanément toutes les fréquences normalisées ; il y a donc des risques importants d'incompatibilité entre terminaux mobiles et réseaux nationaux ;
- la prise en charge de plus de 200 terminaux actifs simultanément dans chaque cellule ;
- un bon support des terminaux en mouvement rapide. De bonnes performances ont été enregistrées jusqu'à 350 km/h, voire jusqu'à 500 km/h, en fonction des bandes de fréquence utilisées.

III.1.6. Architecture

Avec les exigences en très hauts débits et en faible latence pour la 3G LTE, il a été nécessaire de faire évoluer l'architecture du système pour permettre l'amélioration des performances à atteindre. Une nouveauté réside dans un certain nombre de fonctions qui étaient auparavant traitées par le réseau cœur qui ont été transférés vers la périphérie. Essentiellement, cela donne une forme beaucoup plus "plate" à l'architecture réseau. De cette manière les temps de latence peuvent être réduits et les données peuvent être acheminées plus directement à leur destination. La figure suivante montre une simple comparaison entre l'architecture du réseau de troisième génération et celui de la quatrième génération.

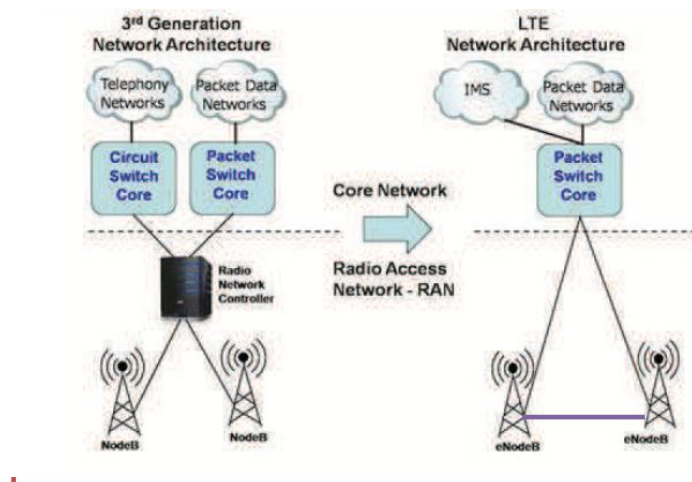


Figure III.1 : Comparaison d'architecture 3G/4G

Les MME (Mobility Management Entity) remplacent les dispositifs RNCs.

Les eNodeBs remplacent les NodeB Serving.

Les PDN (Packet Data Network) remplacent les GGSN.

III.1.7. Réseau cœur orienté paquet

Un autre changement principal de LTE est l'abandon de la commutation de circuit. Les technologies 3G emploient un hybride de la commutation et de la commutation par paquets de circuit. La commutation de circuit est une technologie très vieille qui a été employée dans des systèmes de téléphone pendant un temps très long. Le du côté incliné à cette technologie est qu'elle attache la ressource tant que le raccordement est continué. La commutation par paquets est une technologie qui est très répandue dans des réseaux informatiques mais a depuis lors apparu dans réseaux cellulaires aussi bien.

III.1.8. Les ressources blocs :

LTE utilise des ressources blocs (PRBs). Un PRB correspond à une bande de 180 kHz.

Si la communication utilise :

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

Si l'opérateur a une bande de :

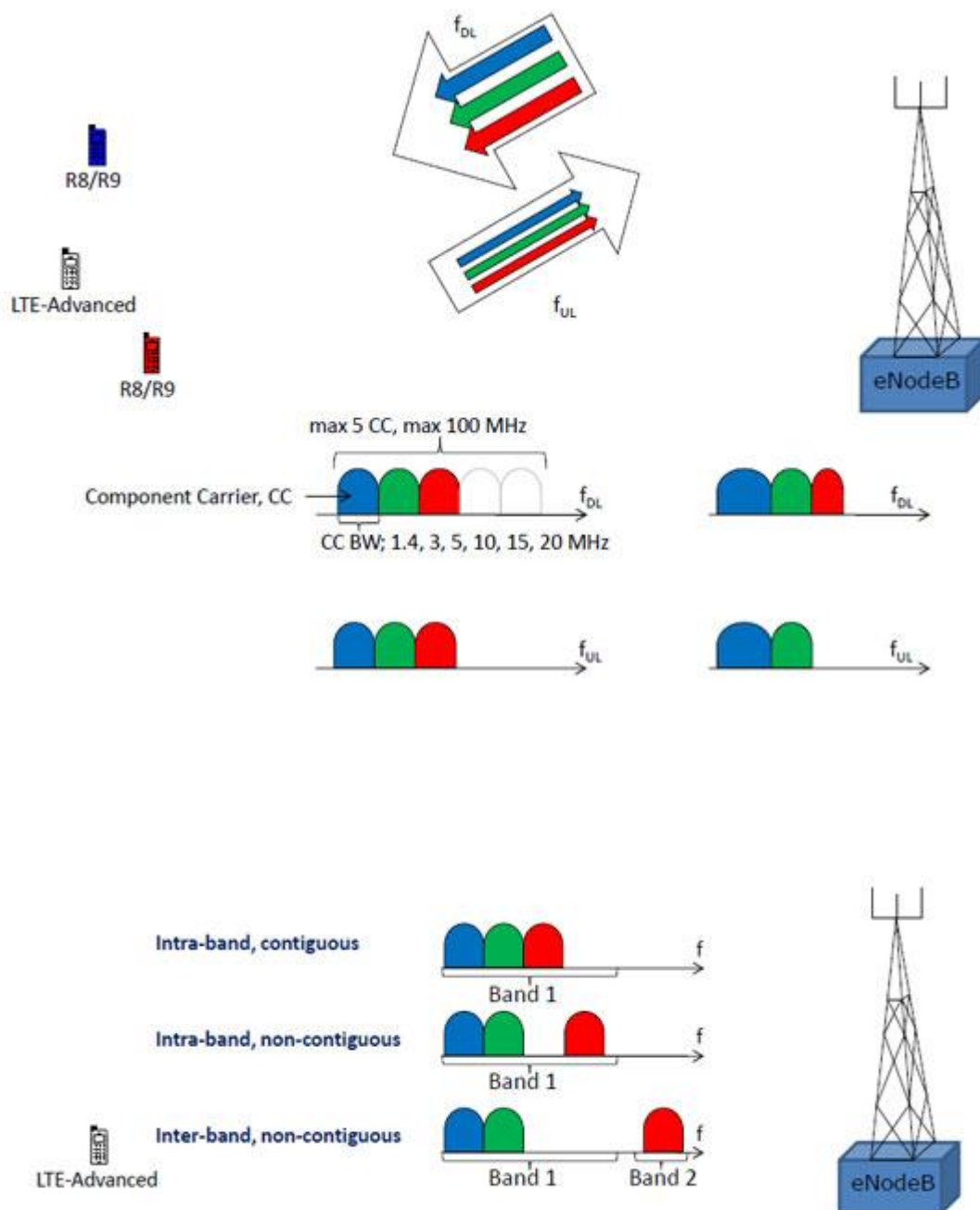
- 15 MHz : Il possède 75 RB, il peut donc transmettre 75×84 symboles * 6 bits en 0,5 ms. Autrement dit, 37800 bits sont transmis en 0,5 ms. Le débit s'exprime en bit par seconde dont $37800/0.0005 = 75,6$ Mbits/s
- 20 MHz : Il possède 100 RB, il peut donc transmettre 100×84 symboles * 6 bits transmis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

III.2. Les améliorations de LTE-Advanced

Cinq points essentiels :

III.2.1. Support of Wider Bandwidth (Carrier Aggregation) :

Des débits plus élevés sur les liens descendants et optionnellement les liens montants, grâce à l'agrégation de porteuses (en anglais : « Carrier Aggregation ») qui permet d'utiliser un spectre hertzien (continu ou pas) pouvant atteindre 100 MHz de largeur (à comparer à 20 MHz maximum en LTE);



III.2.2. Advanced MIMO techniques :

Des performances radios accrues au niveau d'une cellule pour pouvoir servir plus de terminaux mobiles, grâce, entre autres, aux évolutions de la technologie MIMO (Mimo 8x8) ;

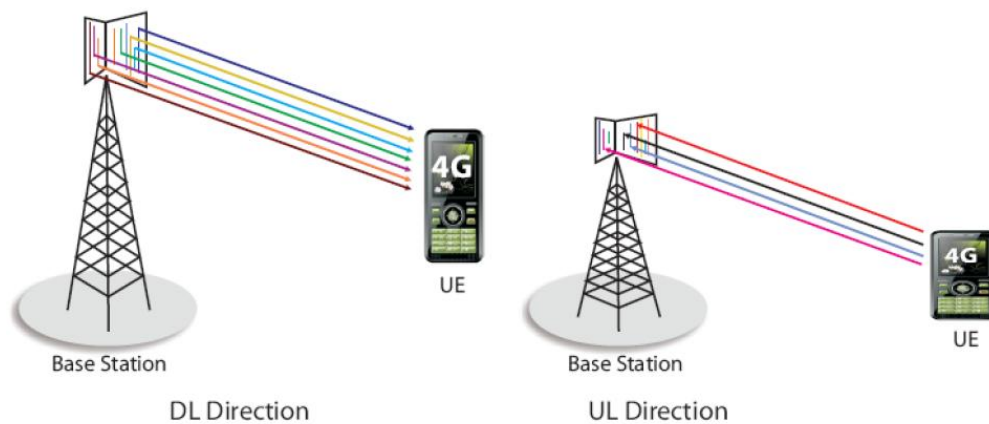
LTE

Voie DL /UL: MIMO 2x2

LTE-Advanced

Voie DL : MIMO 8x8

Voie UL : MIMO 4x4



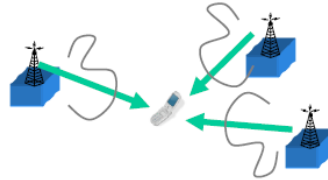
MIMO Tx & Rx Schemes LTE-A (8 X 4 MIMO)

Le tableau suivant donne les améliorations en efficacité spectrale pour les différentes configurations MIMO :

Item	Subcategory	LTE-		
		LTE (3.9G)	Advanced (4G)	IMT-Advanced
Peak spectral efficiency (b/s/Hz)	Downlink	16.3 (4x4 MIMO)	30 (up to 8x8 MIMO)	15 (4x4 MIMO)
	Uplink	4.32 (64 QAM SISO)	15 (up to 4x4 MIMO)	6.75 (2x4 MIMO)
Downlink cell spectral efficiency (b/s/Hz), 3 km/h, 500 m	2x2 MIMO	1.69	2.4	
	4.2 MIMO	1.87	2.6	2.6
	4x4 MIMO	2.67	3.7	
Downlink cell-edge user spectral efficiency (b/s/Hz) 5 percentile, 10 users, 500 m	2x2 MIMO	0.05	0.07	
	4x2 MIMO	0.06	0.09	0.075
	4x4 MIMO	0.08	0.12	

III.2.3. Coordinated Multi-Point transmission and reception (CoMP)

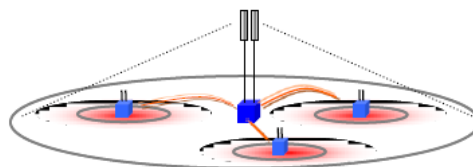
De meilleures performances dans les zones mitoyennes de 2 cellules grâce aux techniques de micro-synchronisation entre cellules « CoMP » (Coordinated Multi-Point) et grâce au beamforming actif permis par les antennes MIMO.



III.2.4. Heterogeneous network and eICIC(enhanced Inter-Cell Interference Coordination) :

Le LTE-Advanced est capable de fournir des débits pics descendants (téléchargement) supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et à plus de 100 Mb/s pour un terminal en mouvement, grâce aux technologies réseaux intelligentes qui permettent de maintenir des débits plus élevés en tout point de la cellule radio, alors qu'ils baissent fortement en bordure des cellules UMTS et LTE.

Coordination d'interférence pour le déploiement de superposition de cellules avec une puissance de transmission différente >>>>>> (Amélioration du débit cellulaire de pointe et de la couverture).



III.2.5. Relay :

La possibilité de déployer des relais radio annexes à coûts plus faibles qui viennent étendre la couverture des cellules principales ;



III.2.6. Tableau de comparaison récapitulatif

Génération	Standard	Bandes de Fréquences en MHz	Largeur de canal	Débit max	Delay (ms)	Techniques d'accès	modulation
3	UMTS	1185-2025 2010-2200	5MHz	2 Mbps	<120	WCDMA	PSK (4PSK)
3.5	HSDPA	1185-2025 2010-2200	5MHz	14 Mbps (DL) 384Kbps (UP)	<100	WCDMA	QAM/ QPSK
3.75	HSUPA	1185-2025 2010-2200	5MHz	14 Mbps (DL) 5 Mbps (UP)	<80	WCDMA	QAM/QPSK
3.9	LTE	1920-1980 2110-2170	1,4-3-5- 10-15-20 (MHz)	300Mbps (DL) 86 Mbps (UL)	<30	OFDMA/ SCFDMA	QPSK/QAM
4	LTE Adv		100 MHZ	1Gbps	<10	OFDMA/ SCFDMA	QPSK/QAM

III.3. Perspectives liées à la génération 5G

III.3.1. Présentation

Dans un premier temps, la 5G souhaite apporter des débits de l'ordre du gigabit par seconde, mais sa priorité n'est pas la vitesse brute : elle veut surtout réduire le temps de latence dans la transmission de données. À l'heure actuelle, le temps de réaction des réseaux mobiles peut atteindre la demi-seconde, voir plus quand les réseaux sont surchargés. Une demi-seconde, ça paraît peu, mais c'est beaucoup trop quand il est question, par exemple, de voitures autonomes.

Pour répondre à ce futur usage, les industriels et les institutions s'accordent donc sur le fait que le standard devra avoir un temps de réponse de moins d'une milliseconde. Autrement, on imagine facilement les répercussions que pourrait avoir une latence supérieure dans un trafic chargé ou sur une autoroute.

Le futur standard est placé sous le signe de la convergence. Il n'y aura vraisemblablement pas une seule 5G, mais différentes technologies adaptées aux différents usages de demain et capables de communiquer entre elles.

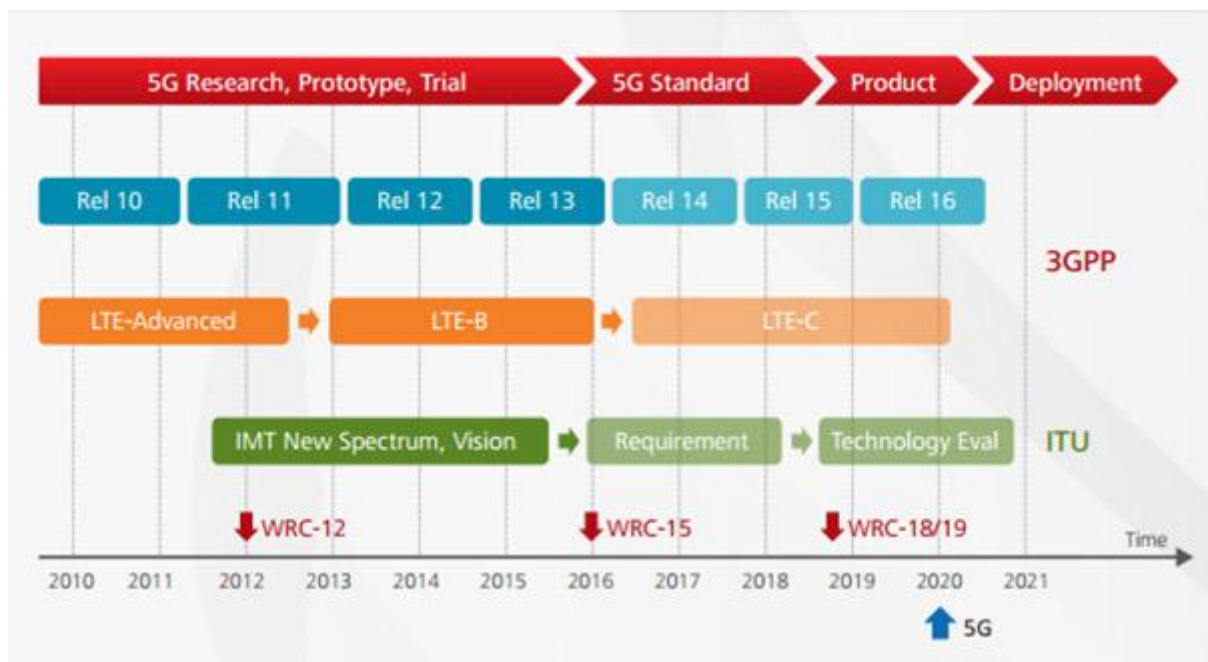
le modèle de réseau 5G est un modèle Tout-IP basé pour l'interopérabilité de réseau mobile et sans fil. Le réseau Tout-IP (dorénavant référencé comme AIPN) a la capacité de satisfaire les demandes gigantesques toujours croissantes du marché cellulaire en pleine expansion. C'est également une plateforme générale pour toutes les technologies et normes par radio d'accès. Les utilisations du réseau

Tout-IP de commutation par paquets par rapport à la commutation de circuit ont employé ses prédécesseurs, et son évolution continue fournit l'optimisation d'exécution et de coût. Dans 5G, l'architecture de réseau se compose d'une borne d'utilisateur (qui a un rôle crucial dans la nouvelle architecture) et un certain nombre de technologies par radio indépendantes et autonomes d'accès (dorénavant référencées comme RAT). Des applications et les services mobiles basés par AIPN tels que les portails mobiles, le commerce mobile, les soins de santé mobiles, le gouvernement mobile, les opérations bancaires mobiles et plusieurs autres sont offerts par l'intermédiaire des ressources informatiques de nuage (dorénavant référencées comme CCR). Le meilleur dispositif au sujet du nuage calculant est qu'un utilisateur peut accéder à n'importe quelles données téléchargées sur le nuage omniprésent de n'importe où, de n'importe quelle borne avec une connexion internet ou un raccordement bloqué au nuage de stockage sans nécessité d'installer tous les tiers application ou logiciels.

III.3.2. Feuilles de route 5G et chronologie

La 5G est actuellement à ses étapes préliminaires de recherches. L'UIT est actuellement au travail sur des conditions de spectre d'IMT pour 2020 et au-delà. Après WRC-15, l'UIT aura un chemin plus clair pour déterminer des conditions de système et de technologie de réseau.

La figure ci-dessous expose une feuille de route possible pour l'évolution technologique 5 G :



III.3.3. Caractéristiques de la 5G

Les caractéristiques officielles de la 5G n'ont pas encore été arrêtées mais des opérateurs, fournisseurs et établissements universitaires imaginent déjà les scénarios envisageables. Il est prévu que la 5G fournisse un débit uniforme d'au moins 1 Gbit/s, avec un pic autour de 10 Gbit/s, avec quelques millisecondes de latence et un service extrêmement fiable. En Europe, le consortium Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (Catalyseurs de communications hertziennes et mobiles pour la société de l'information de 2020) (METIS) s'emploie à jeter les bases des systèmes 5G. Il prévoit que la 5G fournira un service mobile illimité et véritablement ubiquitaire grâce à des terminaux dotés de capacités d'intelligence artificielle. De nouvelles applications sont attendues pour prendre en charge des domaines comme la cybersanté et la communication de machine à machine.

Du point de vue du réseau, la 5G nécessite un interfonctionnement resserré et transparent entre les normes existantes et futures. La demande croissante de trafic mobile imposera de nouvelles méthodes pour renforcer les capacités, comme un déploiement dense de petites cellules ainsi que des modalités intelligentes d'orientation et de délestage du trafic. La consommation croissante d'énergie dans les réseaux hertziens impose de nouveaux mécanismes de maîtrise et de réduction de l'utilisation d'énergie. Enfin, il faut une gestion autonome du réseau en raison de la complexité et de l'hétérogénéité de ce dernier.

Communication de machine à machine

Les dispositifs deviennent plus puissants et plus nombreux. En plus d'objets comme les téléphones intelligents, les tablettes ou les consoles de jeu, le paysage des communications hertziennes de demain devra prendre en charge des voitures, des terminaux de réseaux intelligents, des dispositifs de suivi de la santé, des appareils ménagers, etc. On estime que le trafic de machine à machine sera multiplié par 24 entre 2012 et 2017.

Pour prendre la cybersanté comme exemple, le suivi à distance d'un patient avec un réseau radioélectrique corporel dans lequel plusieurs capteurs hertziens à la fois disposés sur la peau et implantés enregistrent les paramètres de santé du patient et envoient des notifications au médecin sera bientôt une réalité. C'est pourquoi, pour offrir des services de cybersanté, la 5G devra fournir une grande largeur de bande, respecter des caractéristiques contraignantes de qualité du service (comme une latence très faible et une compression vidéo sans pertes) et appliquer des mécanismes de sécurité renforcés. Des efforts devront être accomplis pour gérer efficacement les ressources radioélectriques en raison de la diversité des types de trafic, allant de notifications envoyées régulièrement par des compteurs à des transmissions vidéo médicales de haute qualité.

III.3.4. Pénurie de capacité

Avec les nouveaux services larges bande et la forte demande de données mobiles, les systèmes hertziens futurs nécessiteront beaucoup plus de capacité que ce qui peut être fourni actuellement. Il

existe trois pistes principales pour accroître la capacité, à savoir le déploiement dense, des bandes de fréquences supplémentaires et une plus grande efficacité spectrale.

Le spectre utilisé par les systèmes de communications mobiles atteint aujourd'hui la saturation. Une idée novatrice consiste à utiliser des bandes lumineuses visibles, des diodes électroluminescentes (LED) pouvant être à la fois une source de lumière et un point d'accès public. En raison de sa nature locale, cette technique améliorerait la couverture à l'intérieur pour les données en général et offrirait une sécurité et une confidentialité plus grandes que les communications radioélectriques. Toutefois, cette technologie n'est pas encore suffisamment évoluée.

Les bandes de fréquences très élevées (comme 28 ou 60 GHz) présentent un potentiel considérable car elles peuvent fournir une plus grande largeur de bande et prendre en charge des débits de données plus élevés. En outre, l'utilisation de fréquences sans licence autour de 2,4 et 5 GHz, ainsi que le réaménagement des bandes de 900 et 1800 MHz, pourraient accroître le spectre disponible pour les données large bande. Par ailleurs, il est prévu que de nouvelles bandes seront disponibles après la Conférence mondiale des radiocommunications de 2015. Toutefois, à elles seules de nouvelles bandes de fréquences ne suffiront pas à répondre aux besoins futurs du trafic et il conviendra donc d'accroître l'efficacité spectrale. Des modes d'accès multiples exploitant des techniques de non-orthogonalité et d'antennes multiples, associés au partage du spectre, sont des facteurs clés pour parvenir à une plus grande efficacité spectrale.

Enfin, la poursuite de la densification du réseau est un moyen de relever le défi de la croissance du trafic dans les réseaux mobiles. La création de petites cellules comme des métrocellules, des picocellules et des femtocellules est une solution économique permettant d'accroître encore la capacité du réseau.

Passer à la 5G imposera des changements non seulement dans le réseau d'accès radioélectrique mais aussi dans le réseau central, où de nouveaux concepts sont nécessaires pour assurer la connectivité à un nombre croissant d'utilisateurs et de dispositifs.

La tendance actuelle est de découpler le matériel du logiciel et de faire migrer les fonctions du réseau vers le logiciel.

III.3.5. Virtualisation du réseau central

Les réseaux pilotés par logiciel, normalisés par l'Open Networking Foundation, se fondent sur une séparation entre la commande et les données. En conséquence, grâce à la centralisation et à la programmabilité, la configuration de la transmission peut être largement automatisée.

Des efforts de normalisation visant à définir la virtualisation des fonctions du réseau sont menés par de nombreux partenaires commerciaux, notamment des exploitants de réseau et des équipementiers au sein de l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI). Lancer une nouvelle solution

logicielle est beaucoup plus rapide qu'installer un dispositif spécialisé supplémentaire doté d'une fonctionnalité particulière.

Ces deux solutions amélioreraient l'adaptabilité du réseau et le rendraient facilement modulable. Avec une exploitation plus simple, de nouvelles caractéristiques du réseau seraient probablement déployées plus rapidement.

III.3.6. L'évolution de l'architecture réseau

Même s'il est évident que les réseaux cellulaires 5G incorporeront une nouvelle couche physique, l'utilisation d'entrées multiples, sorties multiples massives et les ondes radio millimétriques, il est important de comprendre ces innovations d'un point de vue d'évolution de l'architecture des réseaux. Historiquement parlant, un réseau cellulaire était constitué d'une seule station de base servant un grand nombre d'utilisateurs. Aujourd'hui, toutefois, l'architecture moderne des réseaux cellulaires devient de plus en plus hétérogène, pour de bonnes raisons. Dans ces réseaux hétérogènes, également connus sous le nom de "HetNets", les stations de base sont souvent augmentées avec un grand nombre de petites cellules comme les femtocellules et les picocellules. Ces petites cellules sont en fait des stations de base miniatures qui peuvent être utilisées afin d'améliorer la couverture dans des environnements difficiles et d'augmenter la capacité du réseau. Tout porte à croire que, dans le moyen long terme, les réseaux cellulaires utiliseront un nombre de plus en plus élevé de petites cellules. De plus, les radios Wi-Fi de classe télécommunication peuvent définitivement contribuer aux réseaux cellulaires en augmentant la capacité. En fait, ces évolutions dans la topologie réseau sont déjà en cours. Dorénavant, les ingénieurs peuvent considérer les technologies considérées comme étant utopiques dans le passé pour les communications cellulaires présentes et futures. Par exemple, les ingénieurs peuvent maintenant, grâce à la réduction de la taille des cellules, songer à utiliser une gamme de fréquences plus élevées qui n'étaient pas viables, à l'époque, à cause des problèmes de propagation sur la distance.

III.3.7. Nouvelles couches physiques

Le premier domaine de recherche dans les réseaux cellulaires 5G est, sans aucun doute, l'évolution de la couche physique. Historiquement, l'évolution de la couche physique avait permis une plus grande vitesse de transfert grâce à l'utilisation de modulation d'ordre supérieur et d'une structure de signal plus sophistiquée. Par exemple, la progression du GSM vers l'UMTS a introduit la technologie du CDMA. De plus, la progression du LTE avait impliqué l'introduction de l'OFDM) et de SC-FDMA. Comme à l'époque, les chercheurs continuent de concevoir et de rendre plus efficaces les structures de signaux. Par exemple, le Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM) utilise un filtre spécial afin d'atténuer l'interférence sur les canaux adjacents par rapport au traditionnel OFDM. De plus, les technologies telles que le multiplexeur Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) utilisent le domaine d'énergie de transmission pour une meilleure utilisation du spectre. Le GFDM et le NOMA

ne sont que deux des domaines à explorer pour les nouvelles structures de signaux qui seront conçues pour augmenter la capacité et l'efficacité à l'intérieur d'un spectre donné

III.3.8. MIMO de masse

MIMO constitue un autre domaine de recherche pour le 5G. La prémisse première du MIMO est que l'utilisation de plusieurs antennes permet une transmission de données sur un spectre de plus grande d'envergure. L'utilisation de plusieurs antennes permet de diviser la transmission des flux de données et d'améliorer la qualité du rapport signal sur bruit. De nos jours, plusieurs standards de communication cellulaire permettent l'utilisation du MIMO afin d'améliorer la capacité par canal. Depuis 2007 avec la release 7 du 3GPP, le HSPA+ supportait déjà une transmission en aval avec un MIMO de 2 par 2. Qui plus est, le standard LTE introduit avec la release 8 de 3GPP en 2008 permettait, quant à lui, un MIMO de 8 par 8. Le 5G va s'accompagner donc du déploiement de systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output) à très grand nombre d'antennes. Ces techniques multi-antennaires à très grand nombre d'antennes, connues sous l'appellation de « Large MIMO » ou « Massive MIMO », sont en effet fortement pressenties pour atteindre les débits attendus tout en améliorant l'efficacité énergétique et donc la consommation de ces futurs systèmes.

III.3.9. Bandes de fréquence

La majorité des réseaux cellulaires actuels opèrent dans des bandes particulièrement étroites en deçà des 2 GHz et dans laquelle les signaux se propagent sur une grande distance dans l'air libre, en demeurant, toutefois, dans un spectre quelque peu limité. La bande passante du spectre disponible affecte la vitesse maximale de transmission des données dans ces bandes. Étant donné les limitations du spectre sous la barre des 2 GHz, les chercheurs explorent les fréquences qui peuvent supporter une plus grande capacité. Parmi les bandes les plus prometteuses pour les réseaux cellulaires futurs, on y retrouve les ondes radio millimétriques telles que 28 GHz, 38 GHz et 72 GHz. Les ondes millimétriques ou Extremely High Frequency (EHF) sont les fréquences qui se situent entre 1 millimètre et 1 centimètre, donc de 30 à 300 GHz. Les ondes millimétriques offrent une bande passante substantiellement plus grande que les bandes présentement utilisées dans les télécommunications.

III.4. Conclusion

Différentes technologies se complèteront mutuellement pour atteindre l'objectif commun qui est de fournir un service ubiquitaire dans tous les réseaux mobiles 5G. Il va de soi qu'il existe un potentiel énorme dans l'exploitation de bandes de fréquences plus élevées, les techniques d'antennes multiples et la création de petites cellules, auxquelles succéderont des modalités qui prennent en charge la communication de type machine et réduisent la consommation d'énergie dans les réseaux mobiles. Le

Wi-Fi recèle de grandes possibilités comme technologie d'accès de soutien et les solutions logicielles joueront un rôle essentiel dans les réseaux centraux.

Durant la prochaine décennie, des efforts de recherche et de normalisation considérables seront nécessaires pour répondre aux nouveaux besoins et défis en matière de réseaux 5G. En conséquence, on peut s'attendre qu'un réseau convergent offre une large palette de nouveaux services tout en présentant une bonne efficacité énergétique. De plus, la convergence des normes assurera un accès véritablement ubiquitaire et permettra ainsi de créer un environnement hertzien futur parfaitement intégré.

Conclusion générale

Nous arrivons au terme de notre travail de projet de fin d'étude portant sur une étude comparative entre les réseaux cellulaires 3G et 4G et perspectives vers la 5G.

Aujourd'hui, le mobile permet d'accéder à un large panel de services voix, internet, applications, vidéo..., à travers des interfaces de plus en plus variées et sophistiquées : écran tactile haute définition, reconnaissance vocale, Bluetooth, WiFi, NFC, GPS.... Ces vingt dernières années, les réseaux mobiles ont énormément évolué.

L'objectif de ce mémoire était de comprendre ces évolutions et de détailler les technologies sous-jacentes au travers d'un panorama plus ou moins complet des réseaux cellulaires des dernières générations, 3G et suivantes.

Nous avons présenté les évolutions architecturales de ces réseaux dans lesquels IP a fini par prendre une place prépondérante. Nous avons présenté les normes relatives aux générations 3G de réseaux cellulaires. D'abord l'UMTS (release 99) a été décrit en détail, puis on enchainé avec ses évolutions HSPA, HSDPA, HSUPA, HSPA+ et LTE. Nous avons mis en évidence les besoins qui ont poussé à ces évolutions ainsi que les solutions qui ont été apportées.

Nous avons passé en revue les idées nouvelles qui ont été introduites au niveau de la radio afin d'augmenter les débits dans LTE-Advanced et nous avons traité également l'évolution des services : la voix, service star des années 2G, a été supplantée par les applications dites « data » au gré des évolutions 3G, 3G+, 3G+, 3.9G et 4G.

Nous avons essayé enfin de nous projeter vers l'avenir. Si la standardisation 5G n'est pas encore d'actualité, nous avons déjà une idée de quoi elle sera faite.

Comme la 4G actuelle, la 5G sera OFDM : un OFDM amélioré par des techniques de filtrage le rendant plus efficace spectralement. Elle sera aussi massivement MIMO pour laquelle des techniques dites MIMO-3D verront le jour. On parlera également de NOMA en tant que technique DMA venant compléter la logique OFDMA. Enfin du côté radio on pourrait voir des techniques duplex nouvelles apparaître, comme le single channel FDD.

Mais cette 5G s'annonce également comme une révolution architecturale : des cellules de plus en plus petites portées par des fréquences de plus en plus hautes (3, 5, 10, 30 à 300 GHz) matérialisées par des têtes radio déportées commandées par des équipements centralisés et décidant de l'attribution de toutes les ressources radio nécessaires pour un vaste espace géographique. Le tout associé à un cœur de réseau dans le lequel les concepts Cloud et Virtualisation entreront en force.

Nous retenons en conséquence, pour les recherches scientifiques en 5 G, les points suivants :
Evolutions radios pour la 5G : OFDM filtrées, massive MIMO, NOMA, Single Channel FDD, Spectre 5G, schémas de Carrier Agrégation évolués

Evolutions d'architecture causées par la 5G : cloud RAN, virtualisation, SDN, émergence des small cells, Hetnet

Evolutions des usages permises par la 5G : du M2M à l'Internet des Objets

Bibliographie

1. ITU-R , <http://www.itu.int/en/ITU-R/Pages/default.aspx>
2. ITU-T, <http://www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx>
3. 3GPP2, http://www.3gpp2.org/Public_html/Misc/AboutHome.cfm
4. 3GPP, <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
5. IMT-2000, <http://www.itu.int/osg/spu/imt-2000/>
6. 3GPP TS 25.104 v3.5 (12/2000) – “Technical Specification Group Radio Access Networks – UTRA (BS) FDD; Radio Transmission and Reception (Release 1999)”
7. 3GPP TS 25.101 v5.2 (02/2002) – “Technical Specification Group Radio Access Networks –UE Radio Transmission and Reception (FDD) (Release 5)”
8. Technical Specification Group Radio Access Network; Feasibility study for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), Release 9; 3GPP TR 36.912 V 9.1.0, December 2009
9. Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) LTEAdvanced, Release 8; 3GPP TR 36.913 V 8.0.1, March 2008
10. La technologie 4G LTE : vers des réseaux IP mobiles, 01 net.entreprise.com (Avril 2012).
11. 3GPP, Long Term Evolution, www.3gpp.org , (Mars 2012).
3GPP LTE Overview, cours Mastère spécialisé Architecture réseaux Telecom Paristech, (2011).
12. EPS Principes et architecture, <http://www.efort.com>, (2009).
3GPP TS 36.211; Physical Channels and Modulation (Release 8).
13. 3GPP TS 36.101; User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 8).
14. Rohde & Schwarz ,” 2007 ;UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction,”
15. E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, and P. Beming,2007, ”3G evolution HSPA and LTE for mobile broadband,” Academic Press is an Imprint of Elsevier
16. Laiho, J., Wacker, A., Novosad, T., Radio Network Planning and Optimization for UMTS, John Wiley & Sons, 2006, Chichester, Angleterre
17. Sanchez, J. et Thioune, M., UMTS, Hermes Sciences,2004, Paris, France.
18. Nawrocki, J.N., Dohler, M., et Aghvami, A.H., Understanding UMTS Radio Network Planning and Automated Optimization, John Wiley & Sons, 2006, Chichester, Angleterre.
19. Ericsson Radio Systems,WCDMA Radio Network Design, Ericsson, 2000, Suède

20. Chevallier, C., Brunner, C., Garavaglia, A., Murray, K.P., et Baker, K.R., WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning and Optimization Aspects, John Wiley & Sons, 2006, Chichester, Angleterre.
21. Holma, H., et Toskala, A., WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, 2007, Chichester, Angleterre.
22. Mobile Communication Division, UMTS Radio Network Planning Guidelines, ALCATEL, 2001, France.
23. J. Cellmer, "Réseaux cellulaires - Système UMTS", Techniques de l'ingénieur, TE 7 368, 2002
24. H. Sizun, "Propagation des ondes radioélectriques des réseaux terrestres", Techniques de l'ingénieur, TE E 1 162, 2006
25. Téléphonie mobile GSM)/www.ulg.ac.be (Décembre 2011).
26. 3G Overview, Formation RRM Mastère Spécialisé, Telecom Paristech
27. La technologie 4G LTE : vers des réseaux IP mobiles, 01 net.entreprise.com (Avril 2012).
28. 3GPP LTE Overview, cours Master spécialisé Architecture réseaux Telecom Paristech, (2011).
29. EPS Principes et architecture, <http://www.efort.com>, (2009).
30. H. Holma and A. Toskala, LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio access, John Wiley & Sons Inc. 2009.
31. 5G Radio Access. Ericsson White paper. Uen 284 23-3204 Rev C April 2016
32. Jay R. Churi et al. Evolution of Networks (2G-5G). International Conference on Advances in Communication and Computing Technologies (ICACACT) 2012
33. 5G: A Technology Vision. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. 2013