

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة جيجل
مكتبة كلية العلوم والتكنولوجيا
أرقام الجرد: MA946

Université de JIJEL
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique



Projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme
de Master en Electronique

Option : Electronique et Systèmes de Communication

Thème :

Etude et simulation de la transmission de
données dans un système de communications
mobiles de 3^{ème} génération.

Présenté par :

M^{elle}. BOUHARICHE Imene.

M^{elle}. BENNINI Hana.

Encadré par :

Mr. BOUBAKIR Chaâbane.

Mr. BOUFERSADA Ammar

Promotion – Juin 2014

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de JIJEL
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique

Projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme
de Master en Electronique

Option : Electronique et Systèmes de Communication

Thème :

Etude et simulation de la transmission de
données dans un système de communications
mobiles de 3^{ème} génération.

Présenté par :

M^{elle}. BOUHARICHE Imene.

M^{elle}. BENNINI Hana.

Encadré par :

Mr. BOUBAKIR Chaâbane.

Mr. BOUFERSADA Ammar

Promotion – Juin 2014

Remerciements :

« Louange à Allah qui nous a guidés à ceci. Nous n'aurions pas été guidés, si Allah ne nous avait pas guidés »

C'est avec un grand plaisir que nous réservons ces lignes en signe de reconnaissance à tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à rendre ce travail possible. Même si des fois nos expressions nous trahissent et n'expriment pas réellement nos sentiments les plus sincères.

Nous tenons vivement à remercier notre encadreur *Mr : BOUBAKIR Chabane*, qui a supervisé ce travail de recherche. Son soutien, sa disponibilité, sa patience, sa compréhension, ainsi que ses conseils judicieux tant lors de nos recherches que lors de l'écriture de ce mémoire, et la confiance qu'il nous apporté tout au long de notre études ont fait en sorte que nous puissions accomplir ce projet dans les meilleurs conditions. Ses connaissances et ses jugements nous ont permis d'acquérir des compétences essentielles en recherche.....Nous lui devons beaucoup.

Nos remerciements vont également à *Mr : BOUFERSADA Ammar* qui a eu l'amabilité de discuter avec nous certains points clés de notre analyse, ses remarques pertinentes nous ont amené à reconsidérer notre position et réviser bien des points. Nous le remercions aussi pour sa disponibilité chaque fois qu'il ait été sollicité, de nous avoir supervisées durant notre stage pratique au sein du Centre d'Amplification Hertzien (CAH Jijel). Nous remercions aussi tous le personnel du centre pour l'aide et l'hospitalité.

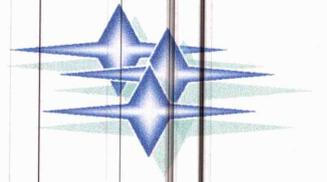
Nous remercions évidemment les enseignants avec qui nous avons eu le plaisir à étudier durant ces dernières années : *C. Boubakir, F. Boukkeroum, K. Kemih, S. Haddad, A. Kacha, A. Melit, K. Aissous, S. Dib, H. Merdjana, T. Ammar.....*

Nous ne manquerions pas non plus de dire un grand merci aux membres du jury qui ont accepté, sans aucune réserve, d'évaluer ce mémoire à sa juste valeur, et de nous faire part de leurs remarques sûrement pertinentes qui, avec un peu de recul, contribueront, sans nul doute, au perfectionnement du présent travail.

Nos remerciements sont adressés également au chef du département d'électronique *Mr : R. REMMOUCHE*.



Dédicaces



A mes très chers parents IBRAHIM et HABIBA:

Dont leurs mérites, leurs sacrifices m'ont permis de vivre ce jour :

Les mots me manquent pour exprimer toute la reconnaissance, la fierté et le profond amour. Que je vous porte pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour ma réussite, qu'ils trouvent ici le témoignage de mon attachement, ma reconnaissance, gratitude et respect, que DIEU leur préservent bonne santé et longue vie. Tous mes sentiments de reconnaissance pour vous.

A mes frères AHMED et HOCINE

J'espère atteint le seuil de vos espérances. Que ce modeste travail soit l'expression de ma profonde affection. Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordés. Je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez.

A la mémoire de mon grand-père paternel

A mes grandes mères et mon grand-père

Je vous souhaitant une bonne santé et une longue vie.

A toute la famille « BENNINI » de près et de loin

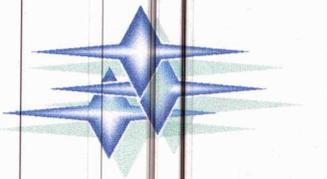
A mes chères amies :

WISSEM, ZAHRA, IMENE K, FOUZIA, ASMA K, NESRINE, MERIEM, ROKIA, ASMA B et mon binôme IMENE.....

A tous mes collègues d'électronique promotion 2014

A toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment

A tous ceux qui ont su m'apporter aide et soutien aux moments propices, je dédie ce modeste travail, reconnaissant et remerciant chaleureusement.



Dédicaces

A mes très chers parents,

*Pour l'éducation et le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance,
Pour leurs patiences et leurs sacrifices m'ont permis de vivre ce jour : Tous mes
sentiments de reconnaissance pour vous et J'essaierai toujours d'être à la hauteur de
vos espoirs.*

"وجودكم في حياتي أعلى ما أستطيع الحفاظ عليه بين أهذاب عيني فمكانكم ليس في الصفحة البيضاء الأولى،
ولا حتى داخل صفحات الكتاب، وإنما مكانكم في المكان الطبيعي "القلب" الذي أتمنى على فوضاه وصغره أن
يكون مناسباً لكم، والذي من دونكم سوف لن يكون إلا موحشاً كصحراء وبارداً كمقبرة... إلى أمي وأبي.

A mes chères frères : FAROUK et KHALED,

En leur souhaitant un brillant avenir.

A mes chères sœurs : BASMA et mon adorable KHAWLA,

*Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez
accordés. Je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez.*

A la mémoire de mes grands-parents maternels,

Que Dieu les accueille dans son infini miséricorde.

A mes grands-parents paternels,

Leur souhaitant une bonne santé et une longue vie.

A mes oncles et tantes, cousins et cousines,

Pour m'avoir poussé jusqu'au bout et pour avoir été toujours un confort moral.

A toute la famille « BOUHARICHE »

*A mes chères amies : FOUZIA, WISSAM, FATIMA, AMINA, ZAHRA,
MERIEM... et mon binôme HANA pour les moments agréables que nous avons
passés ensemble.*

*A tous mes collègues d'électronique promotion 2014 et tous ceux qui mon
encourager même avec un sourire.*

A tous ceux que j'aime.

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicaces.....	ii
Sommaire.....	iv
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des abréviations.....	x
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de communications

I.1 : Introduction.....	03
I.2 : Générations des systèmes de communications mobiles.....	03
I.2.1: Première Génération «1G».....	03
I.2.2: Deuxième Génération «2G».....	04
I.2.3: GPRS «2.5G».....	05
I.2.4: EDGE «2.75G».....	05
I.2.5 : Troisième Génération «3G».....	06
I.2.6 : Quatrième génération «4G».....	07
I.3 : Modèle d'une chaîne de transmission numérique.....	08

I.4 : Architecture du réseau GSM.....	09
I.4.1 : Station mobile «MS».....	10
I.4.2 : Sous-système radio «BSS».....	10
I.4.3 : Sous-système réseau «NSS».....	12
I.4.4 Centre d'exploitation et de maintenance «OMC».....	13
I.4.5 Interfaces.....	14
I.5 Limitations du réseau GSM.....	16
I.6 Conclusion.....	16

Chapitre II : Architecture de l'UMTS et les techniques d'accès

II.1 : Introduction.....	17
II.2 : Définition de l'UMTS.....	17
II.2.1 : Plan de fréquence.....	17
II.2.2 : Organisation fréquentielle.....	18
II.2.3 : Organisation temporelle.....	18
II.2.4 : Services de l'UMTS.....	18
II.2.5 : Caractéristiques d'un système UMTS.....	19
II.2.6 : Architecture de l'UMTS.....	20
II.2.6.1 : L'UMTS Radio Access Network (UTRAN).....	20
II.2.6.2 : Réseau cœur.....	22
II.2.6.3 : Terminaux UMTS.....	24
II.2.6.4 : Interfaces du réseau UMTS.....	25
II.2.6.5 : Différentes classes de services.....	25
II.2.6.6 : Canaux radio de l'UMTS.....	26

II.3 :	Techniques d'accès multiples	29
II.3.1 :	FDMA (AMRF) :	30
II.3.2 :	TDMA (AMRT).....	30
II.3.3 :	CDMA (AMRC).....	32
II.4 :	Conclusion.....	33

Chapitre III : Principe du WCDMA et étalement de spectre

III.1 :	Introduction.....	34
III.2 :	Présentation du WCDMA.....	34
III.2.1 :	Principales caractéristiques du WCDMA.....	34
III.3 :	Multiplexages.....	35
III.3.1 :	Mode FDD.....	35
III.3.2 :	Mode TDD.....	35
III.4 :	Contrôle de puissance en WCDMA.....	37
III.5 :	Le Handover.....	39
III.6 :	Étalement de spectre.....	40
III.6.1 :	Techniques d'étalement de spectre.....	41
III.6.1.1 :	Etalement par saut de fréquence.....	41
III.6.1.2 :	Etalement par séquence directe.....	42
III.6.1.3 :	Etalement par saut de temps.....	46
III.6.2 :	Codes d'étalement.....	46
III.6.2.1 :	Codes de canalisation.....	46
III.6.2.2 :	Codes d'embrouillage.....	47
III.7 :	Simulations et résultats.....	48

III.7.1 : Exemple d'étalement du spectre dans le cas d'un seul utilisateur.....	48
III.7.2 : Exemple d'étalement du spectre dans le cas de deux utilisateurs.....	51
III.7.3 : Modèle d'étalement du spectre avec multi-trajets, cas d'une séquence PN.....	52
III.7.4 : Modèle d'étalement du spectre, cas d'un seul utilisateur avec multi-trajets.....	53
III.7.5 : Modèle d'étalement du spectre, cas de deux utilisateurs avec multi-trajets.....	55
III.8 : Conclusion.....	55

Chapitre IV : Etude et simulation de la liaison descendante du WCDMA

IV.1 : Introduction.....	56
IV.2 : Protocoles de l'interface radio de l'UMTS.....	56
IV.3 : Structure générale de la couche physique de la liaison descendante.....	57
IV.3.1 : Détails des traitements.....	58
IV.3.2 : Transport des données avec le canal DPCH descendant.....	61
IV.4 Simulations et interprétations.....	62
IV.4.1 Description du modèle utilisé.....	62
IV.4.2 Paramètres du modèle et affichage.....	63
IV.4.3 Résultats de simulation pour différents standards.....	66
IV.5 Conclusion.....	69

Liste des figures

Figure I.1 :	Modèle d'un système de transmission numérique.....	08
Figure I.2 :	Architecture de réseau GSM.....	09
Figure I.3 :	Terminal et la carte SIM.....	10
Figure I.4 :	Station de base du réseau GSM.....	11
Figure I.5 :	Architecture générale du BSS.....	12
Figure I.6 :	Architecture générale du NSS.....	13
Figure I.7 :	Architecture générale de l'OSS.....	14
Figure I.8 :	Interfaces du réseau GSM.....	15
Figure II.1 :	Plan de fréquences pour la 3G.....	17
Figure II.2 :	Utilisation de la bande de fréquences pour l'UMTS.....	18
Figure II.3 :	Organisation temporelle de l'UMTS.....	18
Figure II.4 :	Besoins en débit des services de l'UMTS.....	19
Figure II.5 :	Architecture de l'UMTS.....	20
Figure II.6 :	Architecture de l'UTRAN.....	21
Figure II.7 :	Implémentations possibles du Node B.....	21
Figure II.8 :	RNC et Node B.....	22
Figure II.9 :	Eléments du réseau cœur de l'UMTS.....	23
Figure II.10 :	Canaux radio de l'UMTS.....	27
Figure II.11 :	Accès multiples par répartition de fréquence (FDMA).....	30
Figure II.12 :	Accès multiples par répartition dans le temps (TDMA).....	31
Figure II.13 :	Accès multiples par répartition de code (CDMA).....	32
Figure III.1 :	WCDMA.....	34
Figure III.2 :	Mode FDD.....	35

Figure III.4 :	Principe du contrôle de puissance en boucle fermée.....	37
Figure III.5 :	Effet near-far.....	38
Figure III.6 :	Comparaison des puissances sans contrôle de puissance.....	38
Figure III.7 :	Comparaison des puissances avec contrôle de puissance.....	38
Figure III.8 :	Principe du softer handover.....	39
Figure III.9 :	Principe du Soft handover.....	40
Figure III.10 :	Synoptique de l'étalement.....	41
Figure III.11 :	Exemple d'étalement et désétalement de spectre.....	43
Figure III.12 :	Etalement et désétalement des signaux de deux utilisateurs.....	43
Figure III.13 :	Arbre de génération des codes OVSF.....	47
Figure III.14 :	Mécanisme de scrambling.....	48
Figure III.15 :	Modèle Simulink simple de l'étalement de spectre.....	49
Figure III.16 :	Variations du BER vs SNR.....	50
Figure III.17 :	Chaine de transmission avec étalement de spectre, cas de deux utilisateurs.....	51
Figure III.18 :	BER vs SNR, cas de plusieurs utilisateurs.....	51
Figure III.19 :	Etalement du spectre, cas d'un seul utilisateur avec multi-trajets.....	52
Figure III.20 :	Modèle simple du récepteur RAKE.....	52
Figure III.21 :	Etalement de spectre avec multi trajets, cas d'une séquence PN ..	53
Figure III.22 :	BER vs SNR, cas d'un seul utilisateur avec multi trajets.....	54
Figure III.23 :	Etalement de spectre avec multi trajets, cas de deux utilisateurs.....	55
Figure IV.1 :	Architecture des protocoles de l'interface radio de l'UMTS.....	56
Figure IV.2 :	Couche physique.....	57
Figure IV.3 :	Opérations de la couche physique.....	58
Figure IV.4 :	Chaîne de codage et de multiplexage Downlink.....	59
Figure IV.5 :	Multiplexage DPDCH et DPCCH sur le canal Downlink DPCH....	61
Figure IV.6 :	WCDMA End-to-End Physical Layer 3GPP WCDMA FDD Downlink.....	62
Figure IV. 7:	Bloc de choix des paramètres de simulation.....	64
Figure IV.8 :	Parties réelles des signaux d'un flux binaire.....	68

Figure IV.8 :	Parties réelles des signaux d'un flux binaire.....	68
Figure IV.9 :	Parties imaginaires des signaux d'un flux binaire.....	68
Figure IV.10 :	Partie réelle et imaginaire du signal à la sortie de l'estimateur du canal...	68

Liste des Tableaux

Tableau I.1 :	Paramètres du standard 1G.....	05
Tableau I.2 :	Interfaces dans un système GSM.....	16
Tableau II.1 :	Interfaces de l'UMTS.....	25
Tableau II.2 :	Classes de services et leurs contraintes.....	26
Tableau II.3 :	Canaux de transports.....	27
Tableau II.4 :	Canaux logiques.....	28
Tableau II.5 :	Canaux physiques.....	29
Tableau III.1 :	Caractéristiques des modes d'accès.....	36
Tableau IV.1 :	Blocs du modèle étudié et ses fonctions.....	62
Tableau IV.2 :	Description et paramètres de la case "The show Transport Channel Settings".....	65
Tableau IV.3 :	Description et paramètres de la case "The Show Antenna Settings".....	65
Tableau IV.4 :	Description et paramètres de la case "The Show Channel Model Settings".....	66
Tableau IV.5 :	BER et BLER pour différents standards.....	66
Tableau IV.6 :	BER et BLER pour différents conditions de propagation.....	67

Liste des Abréviations

AICH	Acquisition Indicator Channel
AWGN	Additif White Gaussien Noise
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
ARIB	Association of Radio Industries and Business
AuC	Authentication Center
BoD	Bandwith on Demand
BS	Base Station
BSC	Base Station Controler
BSS	Base Station Sub-system
BTS	Base Transceiver Station
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BLER	BlockError rate
BCH	Broadcast Channel
BCCH	Broadcast Control Channel
CWTS	China Wireless Télécommunication Standard Group
CS	Circuit Switched
CCrTCH	Code Composite Transport CHannel
CDMA	Code Division Multiples Access
CDCA-ICH	Collision Detection / Channel Assignment Indicator Channel
CCCH	Common Control Channel
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilote Channel
CTCH	Common Traffic Channel
CEPT	Conférence des administrations des Postes et Télécommunication
CN	Core Network
CSICH	CPCH StatusIndicator Channel
CRC	CyclingRedundant Check
DCCH	Dedicated Control Channel
DPCCH	DedicatedPhysical Control Channel
DPDCH	DedicatedPhysical Data Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel

DCH

Dedicated transport Channel

2 G

Deuxième Génération

Direct Séquence CDMA

Downlink

DownlinkShared Channel

Enhanced Data Rates for GSM Evolution

Equipment Identification Register

Européen Télécommunication Standards Institute

FastFrequencyHopping

FeedBack Information

Forward Access Channel

Frequency Division Duplex

Frequency Division Multiple Access

FrequencyHoppingSpread Spectrum

Gateway GPRS Support Node

Gateway MSC

GaussianFrequency Phase Keying

General Packet Radio Service

Global System for Mobile communication

Home Location Register

International Mobile Equipment Identity

International Mobile SubscriberIdentity

International Télécommunication Union

Long Terme Evolution

Mobile Equipment

Mobile Station

Mobile Station International ISDN Number

Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network

Mobile-services Switching Center

Network SwitchingSubsystem

Nordic Mobile Téléphone

Operating and Maintenance System

Orthogonal Variable Spreading Factor

PacketSwitched

Paging Channel

GFSK

GPRS

GSM

HLR

IMEI

IMSI

ITU

LTE

ME

MS

MSISDN

MSISDN

MSC

NSS

NMT

OMC

OVSF

PS

PCH

Fiche de Sélection

Norm et Prénom : BOU Z. R. SAU R. A. A / KRSA

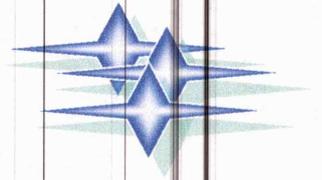
Côte (1) : 20 14 / 06 Option : E.S.C.

Côte (2) : Option :

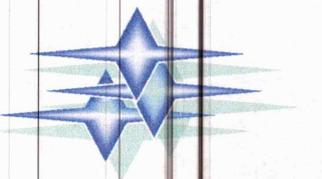
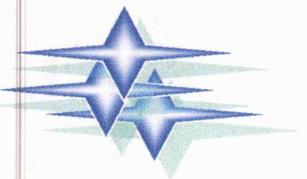
Côte (3) : Option :

OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor
PCCH	Paging Control Channel
PCCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PCH	Paging Channel
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PICH	Paging Indicator Channel
PIN	Personal Identification Number
PN	Pseudo Random Noise code
PRACH	Physical Random Access Channel
PS	Packet Switched
RA	Routing Area
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
RTCP	Réseau Téléphonique Commuté Public
SCCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SCH	Synchronisation Channel
SF	Spreading Factor
SFH	Slow Frequency Hopping
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SIR	Signal-to- Interference Ratio
SMG	Subtechnical Commuté Group
STTD	Space Time Transmit Diversity
TACS	Total Access Communication System
TC	Transcodeur
TDM A	Time Division Multiple Access
TFCI	Transport Format Combination Indicator
TPC	Transmit Power Control
TS	Time Slot
TSG	Technical Spécifications Groups
TTA	Télécommunications Technology Association
TTI	Time Transmission Interval
UE	User Equipment

UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Télécommunication
USIM	Universel Subscriber Identitiy Module
UTRAN	UMTS Terrestrial RAN
VLR	Visitor Location Register
WARC	World Administrative Radio Conférence
WCDMA	Wide band Code Division Multiple Access



Introduction générale



Introduction générale

Les systèmes de communications mobiles ont considérablement évolué durant ces dernières années et la demande en termes de débit et de qualité de service ne cesse de croître. Ce fait a encouragé le déploiement de plusieurs systèmes ou réseaux cellulaires multi-technologique. Le besoin d'instantanéité et d'interaction dans les échanges, l'intégration de services multimédia (voix, données et vidéo) de débit variable et de haute qualité exigent des systèmes de communication mobiles de plus en plus performants pour répondre à ces attentes.

La qualité de service offerte aux utilisateurs mobiles s'améliore d'un système à l'autre. Les systèmes de troisième génération (3G), comme l'UMTS (Universel Mobile Télécommunications System), offrent une meilleure qualité de service par rapport à celle offerte par ceux de deuxième génération (2G), comme le GSM (Global System for Mobile communication). De plus, les réseaux de quatrième génération (4G) permettent, quant à eux, d'élargir la couverture cellulaire tout en offrant un débit supérieur.

Plusieurs travaux de recherches et de normalisation ont été consacrés aux systèmes et architectures de deuxième et troisième générations et d'autres sont en cours pour la quatrième génération des systèmes de communication mobiles.

Actuellement en Algérie le déploiement et l'installation du réseau UMTS à travers le territoire national est en cours. Cela nous a encouragé à entamer une étude théorique approfondie des deux systèmes de (2G) et (3G), de passer un mois de stage pratique au sein du service technique de l'opérateur Mobilis et de compléter ses notions théoriques et pratiques par des simulations sous Matlab / Simulink de la chaîne de transmission numérique complète de l'UMTS, qui est moins étudiée dans les différents travaux consacrés aux différentes générations de communication mobiles [1]-[10].

L'objectif de notre travail est l'étude des différents blocs de la chaîne d'émission et de réception d'un système de communication mobile de troisième génération, suivie par une simulation sous Matlab / Simulink et évaluation des performances du système pour différents types de canaux de transmission, de récepteurs, de rapports signal sur bruit, ...

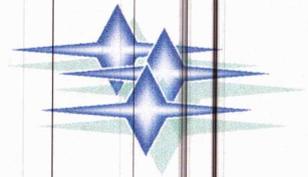
Au cours du premier chapitre, nous présenterons des généralités sur les systèmes de communication mobiles. Ainsi, une description brève des générations des systèmes de communication mobiles, des généralités sur la chaîne de transmission numérique et des notions de base de l'architecture GSM seront présentées et détaillées.

Dans le deuxième chapitre, nous intéresserons à l'architecture de l'UMTS et les différentes techniques d'accès multiples.

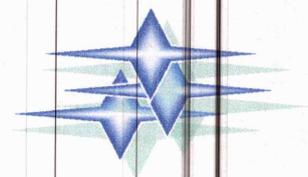
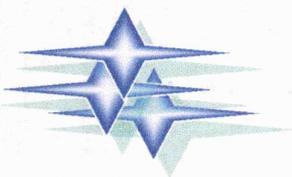
Le troisième chapitre sera consacré à l'interface radio de l'UMTS qui est le WCDMA (Wide band Code division Multiple Access) et l'étude détaillée de la technique d'étalement de spectre par code (CDMA). En plus, des simulations sous Matlab / Simulink de plusieurs modèles de transmission numérique de troisième génération seront présentées à la fin.

Le quatrième chapitre focalisera sur l'étude et la simulation de la liaison descendante du WCDMA, où nous présenterons les différents blocs qui constituent l'émetteur, le canal et le récepteur dans le cas d'une transmission entre le Node B et un terminal utilisateur (liaison descendante : Downlink).

Enfin, nous résumons nos résultats dans une conclusion générale ainsi que des perspectives pour d'autres travaux futurs.



*Chapitre I : Généralités sur les systèmes
de communications mobiles*



Sommaire

I.1 : Introduction.....	03
I.2 : Générations des systèmes de communications mobiles.....	03
I.2.1: Première Génération «1G».....	03
I.2.2: Deuxième Génération «2G».....	04
I.2.3: GPRS «2.5G».....	05
I.2.4: EDGE «2.75G».....	05
I.2.5 : Troisième Génération «3G».....	06
I.2.6 : Quatrième génération «4G».....	07
I.3 : Modèle d'une chaîne de transmission numérique.....	08
I.4 : Architecture du réseau GSM.....	09
I.4.1 : Station mobile «MS».....	10
I.4.2 : Sous-système radio «BSS».....	10
I.4.3 : Sous-système réseau «NSS».....	12
I.4.4 Centre d'exploitation et de maintenance «OMC».....	13
I.4.5 Interfaces.....	14
I.5 Limitations du réseau GSM.....	16
I.6 Conclusion.....	16

I.1 Introduction :

Durant les dernières décennies, les réseaux mobiles ont connu un développement et une extension mondiale, devenant ainsi le principal succès du domaine des télécommunications. Ceux-ci permettront de faire converger la téléphonie, les données et le multimédia en introduisant divers services qui viennent s'ajouter au service de voix. Les utilisateurs se trouveront entraînés vers les nouvelles générations par une avalanche de nouvelles applications mobiles multimédia indispensables, qui n'ont pu voir le jour que grâce aux capacités évoluées des réseaux 3G [1].

Au cours de ce premier chapitre, nous allons décrire brièvement les générations des systèmes de communication mobiles, des généralités sur la chaîne de transmission numérique et des notions de base de l'architecture GSM.

I.2 Générations des systèmes de communications mobiles :

À chaque génération de réseau mobile (2G, 3G, 3G+, etc.) correspond une nouvelle technologie (GSM, GPRS, EDGE, UMTS). À chaque évolution technologique, le réseau mobile gagne en performance : les données transitent plus rapidement. Ces meilleurs débits améliorent la qualité du service existant et permettent de nouveaux usages (Internet mobile, visiophonie, télévision, etc.), on distingue plusieurs générations :

I.2.1 Première Génération « 1G » :

Le réseau mobile 1G est basé sur la technologie analogique. Tous les systèmes cellulaires à 1G utilisent la modulation FM et les téléphones sans fils utilisent uniquement une station de base pour communiquer avec un terminal portable.

Les réseaux mobiles 1G incluent des terminaux mobiles, des stations de base BS et des centres de commutations des services de mobile (MSC). Dans les réseaux mobiles 1G, le contrôle de système qui gère tous les informations reliés au mobile se situe dans le MSC. De plus, le MSC doit effectuer tous les fonctions de gestion de réseau, par exemple traitement des appels, facturation et détection de fraude.

Les standards utilisés comme réseaux 1G sont AMPS (Advanced Mobile Phone Service), TACS (Total Access Communication System) basé sur AMPS et NMT (Nordic Mobile Téléphone). Dans ces standards, l'AMPS est développé le plus tôt. L'AMPS est un exemple typique pour les réseaux de 1G. Quelques paramètres de ce standard sont présentés dans le tableau suivant [2].

Bande de transmission de la BS	869 MHz -894 MHz		
Bande de transmission de l'unité de mobile	824 MHz -849 MHz		
Largeur de bande	30 KHz		
Nombre de canal de la voix	790		
Nombre de canal du contrôle	42		
Débit de transmission de données	10 Kbps		

Tableau I.1 : Paramètres du standard 1G.

Avantage:

- Premiers radiotéléphones analogiques sans-fil.

Inconvénients :

- Taille imposante des équipements.
- Pas de confidentialité des communications.
- Réseaux saturés [3].

L2.2 Deuxième Génération « 2G »:

La seconde génération des réseaux mobiles (2G) a marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique vers le numérique [4].

Le GSM pour « Global System for Mobile communication » est une norme de communication cellulaire radiophonique. En d'autres termes, c'est le système qui permet aujourd'hui aux abonnés de rester connectés à un réseau où qu'il soit situé pour que des antennes soient installées à proximité.

D'abord utilisé principalement pour les communications téléphoniques et l'envoi de messages courts, le GSM au fur à mesure de son évolution a proposé de nouveaux services aux utilisateurs avec notamment aujourd'hui la naissance de services multimédias.

A l'origine, GSM signifiait Groupe Spécial Mobile. Mis en place en 1982 par la CEPT (Conférence des administrations des Postes et Télécommunication) le groupe était chargé d'élaborer les caractéristiques du système. Les objectifs visés pour la norme étaient les suivants :

- Un grand nombre d'abonnés.
- Une compatibilité à l'échelle internationale.
- Une utilisation efficace du spectre radio électrique.
- Une grande disponibilité.
- Une adaptation à la densité du trafic.
- Une qualité de service comparable à celle du réseau filaire.

En 1987 fut alors défini les spécificités techniques majeures suivantes :

- Transmission numérique.
- Multiplexage temporel des canaux radio.
- Cryptage des informations sur le canal radio [5].

Avantages :

- Meilleure qualité d'écoute.
- Taille réduite.
- Confidentialité des communications.

Inconvénient :

- Débit : envoi de données lentes [3].

I.2.3 GPRS « 2.5G » :

Le réseau GPRS (General Packet Radio Service) constitue une évolution importante du GSM. Il s'appuie sur l'infrastructure du réseau GSM mais diffère de ce dernier par le fait que les informations sont acheminées dans un mode paquet alors que le GSM utilise un mode circuit. Il bénéficie aussi du multiplexage temporel dans les canaux radio, ce qui permet une transmission de données avec un débit élevé (théoriquement jusqu'à 171,2 kbit/s).

Le GPRS ne constitue donc pas un réseau mobile à part entière, mais une couche supplémentaire rajoutée à un réseau GSM existant. Il peut donc être installé sans aucune licence supplémentaire. Ceci signifie que tous les opérateurs qui disposent d'une licence GSM peuvent faire évoluer leur réseau vers le GPRS.

Le service GPRS présente plusieurs avantages. D'abord, il s'agit d'un service en mode paquet qui sera facturé selon le volume des données transmises et non selon le temps de connexion comme il en est pour les services en mode circuit. De ce fait, il sera possible à l'utilisateur de maintenir des connexions permanentes avec le réseau et de prendre son temps à écrire un mail ou à amener des données depuis Internet.

Ensuite, le service GPRS est plus rapide ; ceci est illustré par la vitesse de transfert et par la vitesse de connexion. Puis, c'est un service supporté par les réseaux GSM, il bénéficiera, par conséquent, de zones de couverture étendues.

Enfin, le GPRS est plus performant car il permet la transmission d'un volume de données plus important. Ce qui permet de recevoir des e-mails plus lourds comportant des fichiers attachés par exemple [6].

I.2.4 EDGE « 2.75G » :

La norme EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution des technologies GSM et GPRS, elle adopte une nouvelle modulation permettant d'atteindre des débits plus élevés tout en utilisant le spectre radio GSM existant des opérateurs. Bien qu'avec des débits limités par rapport aux technologies UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) qui le suivent, l'EDGE a la capacité d'offrir presque tous les services 3G. Il constitue donc une solution intéressante pour un opérateur qui désire offrir des services 3G à partir des ressources spectrales déjà existantes du 2G.

La technologie EDGE peut théoriquement atteindre un débit maximum de 473 Kbit/s. Pratiquement, le débit (maximum) a été fixé au niveau du standard de la norme EDGE à 384 Kbps par l'ITU (International Télécommunication Union) dans le but de respecter la norme IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000).

Le taux de transfert des données dépend non seulement de la modulation et du schéma de codage mais également de la qualité du lien et du temps de propagation. La technique de mesure d'un réseau EDGE est d'analyser chaque bloc de transmission composé de quatre séquences et

d'estimer la probabilité d'erreur. En cas de problème, une adaptation automatique de la modulation et du schéma de codage (donc du débit) est effectuée.

Pour pouvoir assurer un plus grand débit qu'avec le GPRS la méthode de modulation EDGE réutilise la structure, la largeur et le codage du canal ainsi que les mécanismes existants et les fonctionnalités du GPRS [7].

1.2.5 Troisième Génération « 3G » :

L'UIT, dont l'un des rôles est d'établir des normes mondiales dans le domaine des télécommunications, n'a pas publié de recommandations techniques concernant les systèmes mobiles de première génération ou de deuxième génération, mais de nombreuses recommandations traitent de la manière dont ces techniques interagissent avec d'autres techniques. Il en résulte l'exploitation de divers réseaux cellulaires mobiles incompatibles. Cela tient principalement au fait que ces systèmes cellulaires mobiles étaient conçus pour rester des réseaux nationaux en matière d'itinérance. A la fin des années 80, l'UIT a commencé à élaborer des systèmes de troisième génération (3G) en portant son attention sur la nécessité d'harmoniser, sur le plan mondial, les normes relatives au spectre des fréquences radioélectriques et aux interfaces radioélectriques. Compte tenu de la croissance impressionnante du cellulaire mobile, les membres de l'union ont dû entreprendre d'élaborer des normes en ce qui concerne les systèmes 3G [8].

❖ Collaborations internationales de 3^{ème} génération:

Des groupes de travail se sont constitués pour travailler à la normalisation de ce système 3G. En Europe, au sein de l'ETSI (Européen Télécommunication Standards Institute), la standardisation d'un système 3G nommé Universal Mobile Télécommunication système (UMTS) a commencé en 1990 avec la création de comités techniques SMG (Subtechnical Commutee Group). Ces comités techniques sont composés de représentants des constructeurs déjà impliqués dans les réseaux GSM (Nokia, NMC, Ericsson, Alcatel, Sagem....) et des opérateurs Européens de téléphonie mobile.

Les Japonais étaient, du fait de l'énorme succès du PHS, très pressés de passer directement à un système 3G et leur travail sur l'IMT 2000 depuis 1997 au sein de leur organisme de normalisation Association for Radio Industry and Business (ARIB) a été très actif. Lors des réunions de travail des SMG ou de l'ARIB (Association of Radio Industries and Business), les opérateurs ont insisté sur la nécessité de disposer :

- D'une grande capacité (pour avoir la possibilité d'"accueillir" plus d'abonnés)
- De moyens de vérification du fonctionnement du réseau
- Et de mécanismes permettant d'intégrer facilement de nouveaux services.

Les constructeurs quant à eux ont souvent tenté d'imposer comme norme la solution technique mise au point par leur entreprise afin de posséder une avance technologique certaine sur leurs concurrents. Or ce sont les mêmes constructeurs qui interviennent au sein de l'ARIB et

de l'ETSI. Les propositions résultantes de ces deux organismes sont donc assez semblables. C'est pourquoi, en 1998, une coopération, le 3GPP pour troisième Génération Partnership Project, est créée entre les organismes concernés pour travailler à une solution unique qui serait proposée à l'UIT.

Le 3GPP regroupe:

- Le Japon: ARIB et TTC (Telecommunication Technology Committee).
- L'Europe : ETSI.
- Les Etats-Unis : T1.
- La Corée : TTA (Télécommunications Technology Association).
- La Chine, par l'intermédiaire du CWTS (China Wireless Telecommunication Standard Group) a rejoint le 3GPP depuis Mai 1999.

Le 3GPP est scindé en 4 groupes de travail TSG (Technical Specifications Groups):

- TSG Radio Access Network, chargé de la définition de la partie radio (couches 1 à 3) et des interfaces radios (Iu, Iub et Iur) ;
- TSG Core Network, chargé de la mise au point des couches Mobility Management, Call Control et Services Management, et de l'étude de l'interfonctionnement entre les différents réseaux (handover / roaming);
- TSG Services & System Aspects, chargé de la définition des services, de la sécurité, du CODEC et de la gestion du Réseau;
- TSG Terminal, chargé de l'établissement des tests et des fonctionnalités sur les terminaux.

Avantages :

- Accès Internet haut-débit depuis un équipement mobile ou un ordinateur.
- Visiophonie.

Inconvénients :

- Coût.
- Changement des équipements usagers [3].

I.2.6 Quatrième génération « 4G »:

Le LTE a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS (d'où son nom de Long Terme Evolution), lors d'un atelier organisé par le 3GPP appelé Future Evolution Workshop. Cette évolution était alors destinée à maintenir la compétitivité de l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà. Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est conclue en septembre 2006 avec la définition des grands principes de la technologie LTE.

Les travaux de spécification proprement dit se sont alors déroulés jusqu'à décembre 2008, date où la première version des spécifications a été approuvée. Le LTE est ainsi défini dans la Release 8 du 3GPP. Du fait du saut technologique qu'il représente par rapport au HSDPA, le LTE est considéré comme constituant une quatrième étape de l'évolution des réseaux

d'accès mobiles, ou 4G. On peut ainsi véritablement parler d'une révolution de l'UMTS, plutôt que d'une évolution.

À l'instar de chaque nouvelle génération de réseau d'accès, le LTE a pour objectif de proposer une capacité accrue et fait appel à une nouvelle technique d'accès à la ressource fréquentielle [9].

I.3 Modèle d'une chaîne de transmission numérique :

Un système de communication mobile est un exemple concret d'une chaîne de transmission numérique. En général, le modèle de cette chaîne contient plusieurs blocs et il est présenté sur la figure (I.1).

La source du message correspond aux données fournies par la liaison de l'émetteur, et réciproquement, la destination du message correspond à la liaison du destinataire se trouvant à l'autre extrémité de la ligne de transmission. Effectivement, les éléments binaires à transmettre peuvent être modifiés par un codeur de source. Ceci est par exemple utile pour appliquer des opérations de compression permettant de réduire le nombre de bits effectivement présents dans la séquence à envoyer vers le récepteur. Cette étape repose en grande partie sur une bonne connaissance des paramètres statistiques du signal transmis.

Le codage de canal permet entre autres d'adapter cette séquence de manière à lui offrir une meilleure résistance aux perturbations et autres bruits qui peuvent intervenir lors du transit sur le canal de transmission. Ce codage intervient sous la forme d'algorithmes à base de codes cycliques, le code de Hamming ou encore les « turbo-codes ».

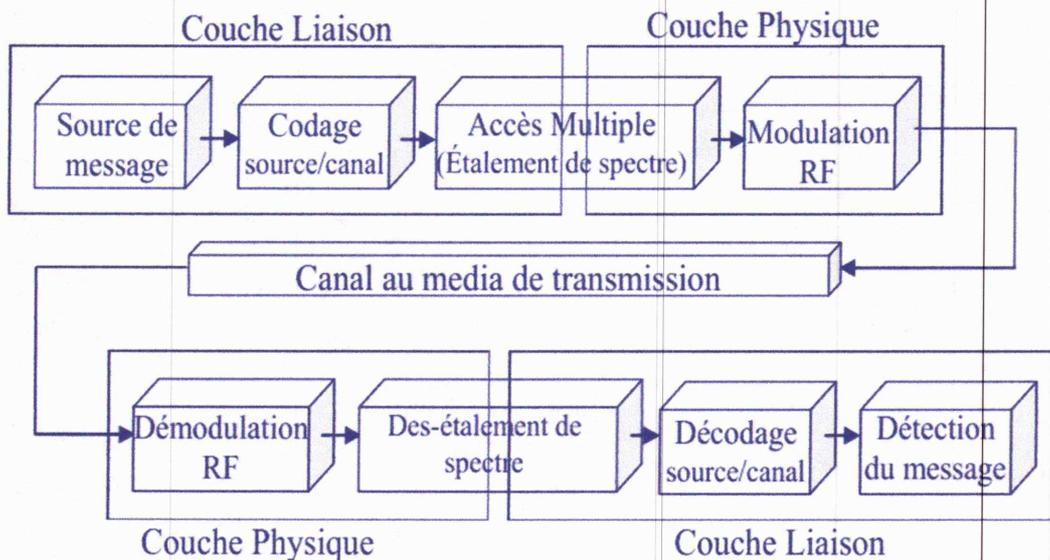


Figure I.1 : Modèle d'un système de transmission numérique.

L'étalement de spectre a pour objectif de rendre les transmissions plus robustes à l'apparition de brouilleurs et moins vulnérables aux interceptions éventuelles. Cet étalement permet de coder et de transmettre autant de signaux qu'il est possible de générer de séquences de

code à la seule condition que ces séquences satisfassent à des propriétés d'auto et d'inter-corrélation adaptées.

Les données à émettre sont présentées sous la forme de grandeurs abstraites n'ayant de signification logique que pour le système numérique sur lequel elles sont produites. Il est donc nécessaire de leur associer une représentation physique concrète, qui peut se matérialiser, par exemple, sous forme d'un signal électrique. La fonction de l'émetteur correspondante est la modulation, qui associe à chaque groupe des éléments du message source un signal de durée T . Cette association s'effectue au niveau de l'amplitude, de la fréquence ou bien de la phase du signal transmis. Il est également possible d'utiliser une combinaison de plusieurs de ces paramètres. L'émetteur est également chargé d'effectuer une fonction de filtrage et, le cas échéant, de transposition de fréquence afin d'éliminer les fréquences parasites, et de centrer le signal modulé autour d'une fréquence centrale souhaitée compatible avec le support de transmission [10].

I.4 Architecture du réseau GSM :

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe). Il s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs, et se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.

Le réseau GSM est composé de quatre sous-ensembles (figure I.2) :

- **La station mobile (MS)** : c'est le téléphone portable qui est transporté par l'utilisateur.
- **Le sous-système radio (BSS : Base Station Sub-system)** : assure et gère la transmission radio.
- **Le sous-système d'acheminement (NSS : Network Switching Subsystem)** : comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour les appels et la gestion de la mobilité.
- **Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OMC : Operating and Maintenance System)** : permet à l'opérateur d'exploiter son réseau [11].

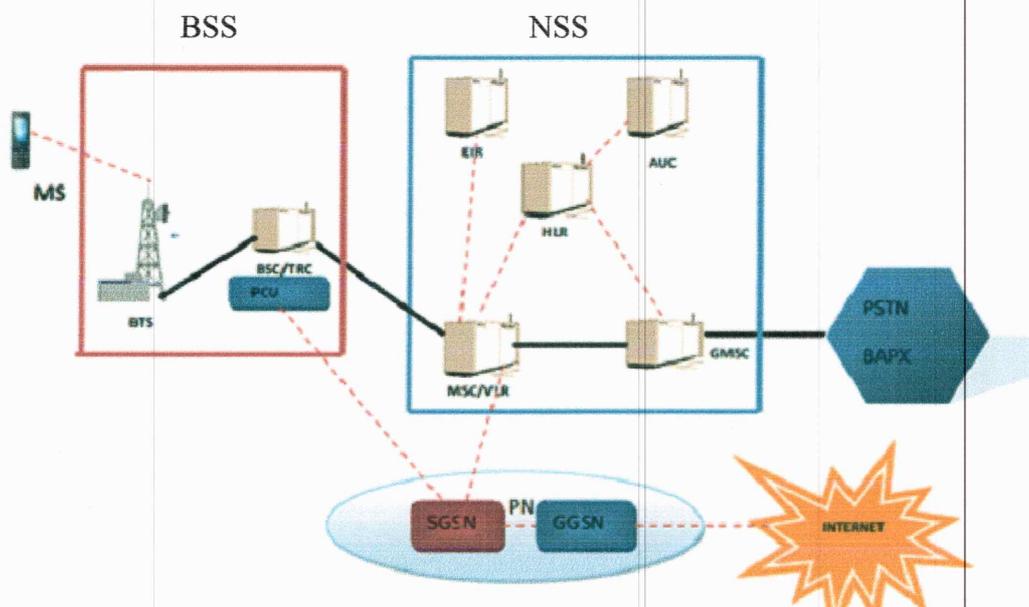


Figure I.2 : Architecture de Réseau GSM.

I.4.1 Station mobile (MS) :

La station mobile est constituée du téléphone portable à proprement parler mais aussi d'une carte appelée carte SIM (Subscriber Identity Module), qui est indispensable pour accéder au réseau (figure I.3). Cette carte contient, sur un microprocesseur, les informations personnelles de l'abonné. Ce dernier peut donc, par insertion de la carte SIM dans n'importe quel téléphone portable, recevoir des appels, des données et avoir accès à tous les services qu'il a souscrit : le téléphone portable et l'utilisateur sont totalement indépendants.

Le téléphone portable est identifié par le numéro IMEI (International Mobile Equipment Identity). La carte SIM, contient le numéro IMSI (International Mobile Subscriber Identity),

On distingue trois types de stations mobiles :

Les stations mobiles embarquées (classe1) de puissance 20 W.

Les mobiles portables (classe2) de 8 W.

Les mobiles portatifs de classe 3 (5 W), 4 (2 W) et 5 (0.8 W) [12].

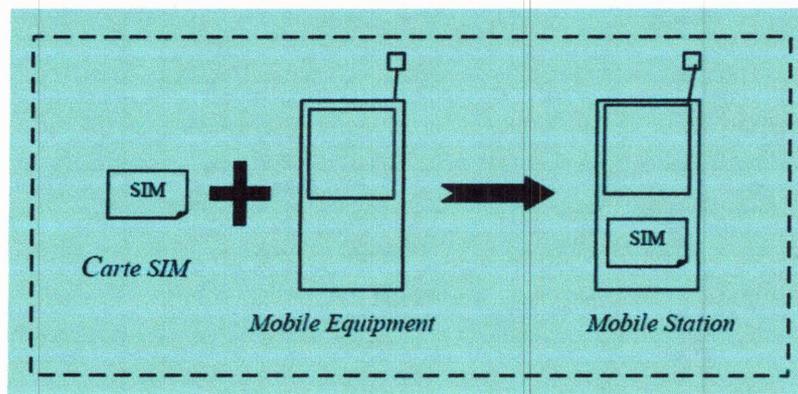


Figure I.3 : Terminal et la carte SIM.

I.4.2 Sous-système radio "BSS" :

Le sous-système radio assure et gère la transmission radio et assure les transmissions radioélectriques entre MS et BTS. Il constitue l'infrastructure la plus lourde et représente 70 % de l'investissement. Il est constitué d'une **BSC** et d'une **BTS** [13] :

➤ **BTS** (Base Transceiver Station) :

Une station de base BTS est un ensemble d'émetteurs récepteurs appelé TRX qui assure la couverture radioélectrique d'une cellule (unité de base pour la couverture radio d'un territoire comme la modulation, démodulation, égalisation codage et correcteurs d'erreurs) du réseau et fournit un point d'entrée dans le réseau aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. Une station de base gère simultanément huit communications grâce au multiplexage TDMA (Time Division Multiple Access), utilisé. La figure (I.4) illustre une station de base du réseau GSM avec des antennes utilisées pour la couverture de tous les secteurs, l'antenne pour la liaison avec le contrôleur de base et d'infrastructure du site.

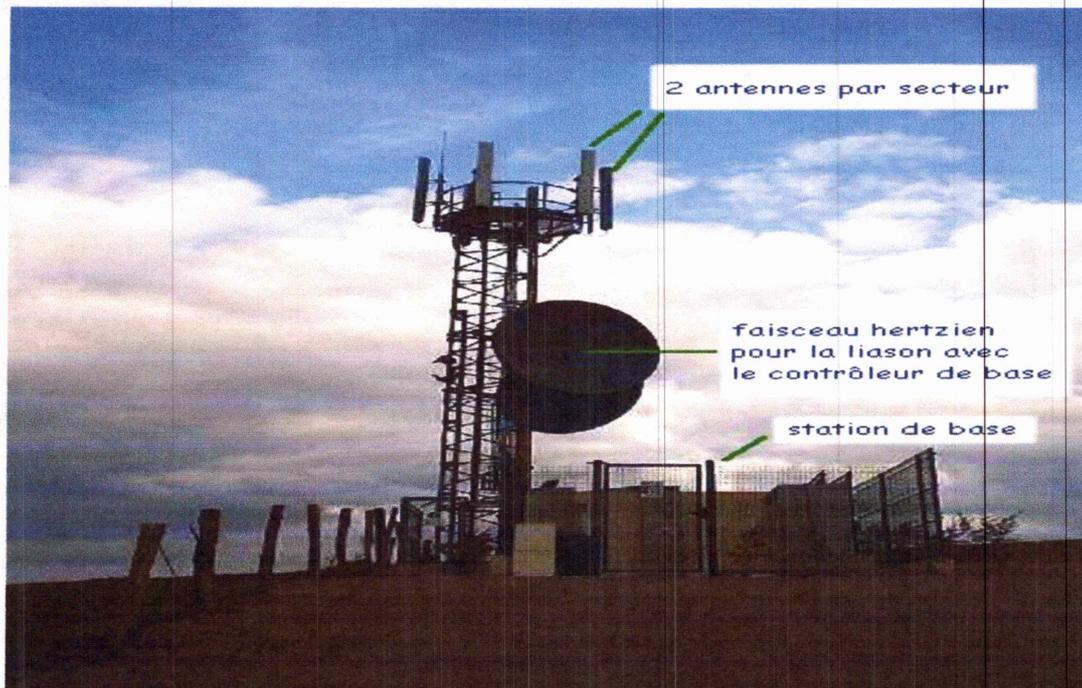


Figure I.4 : Station de base du réseau GSM.

➤ **BSC (Base Station Contrôler) :**

Le contrôleur de station de base gère les ressources radio pour une ou plusieurs BTS, à travers le monitoring de la connexion entre la BTS et l'MSC (il s'agit de centrales de commutation qui offrent la liaison au réseau fixe ou à d'autres réseaux, et aussi, à travers les canaux radio, le codage, et les handovers) [14].

Les fonctions principales du BSC sont les suivantes :

- ✚ Le routage de l'appel entre la BTS et le MSC.
 - ✚ L'allocation des ressources utilisées sur l'interface radio. Cette fonction comprend l'allocation initiale, ainsi que le contrôle des ressources radio lors de la procédure de Handover.
 - ✚ le contrôle de la BTS (démarrage, supervision, activation des ressources radio utilisées par la communication) [15].
- **TC (le Transcodeur) :** situé entre le BSC et le NSS qui adapte le débit de la partie radio égal à 16 Kbit/s au débit 64Kbit/s déchiffirable par le MSC.

La figure (I.5) présente l'architecture générale du sous-système radio (BSS) où un contrôleur de station de base (BSC) gère deux BTS et le transcodeur (TC) qui suit le BSC permet l'adaptation des débits.

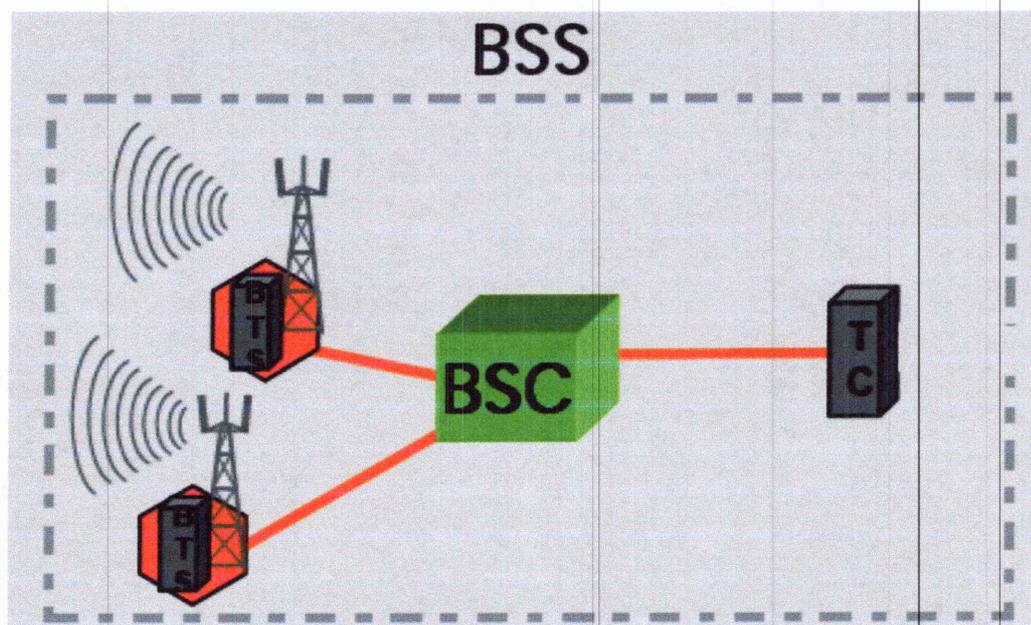


Figure I.5: Architecture générale du BSS [16].

L4.3 Sous-système réseau "NSS":

Le sous-système réseau, joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-système radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement des connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification. Il comprend des commutateurs, des passerelles vers le RTC. Le NSS est constitué de: [15]

- **MSC** : C'est le centre de commutation des appels mobiles (routage des communications). Il gère les procédures de contrôle d'appel ainsi que les procédures de gestion de la mobilité des abonnés avec le VLR (Visitor Location Register). Il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution des handover lorsqu'il est impliqué.
- **HLR (Home Location Register)** : C'est la base de données centrale contenant toutes les informations administratives relatives aux abonnés d'un réseau donné utilisant deux clés d'entrée :
 - ✚ **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)**:
C'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.
 - ✚ **MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network)**:
C'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans le HLR; les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

- **VLR:** c'est une base de données reliée à un MSC qui stocke temporairement les informations concernant chaque mobile dans la zone de travail du MSC, (identité de l'abonné, sa dernière zone de localisation, les services complémentaires souscrits par celui-ci, les éventuelles restrictions ou interdictions d'établissement de la communication).
- **Centre d'authentification AuC (Authentication Center) :** c'est une base de données protégée qui contient une copie de la clé secrète inscrite sur la SIM de chaque abonné. Cette clé est utilisée pour vérifier l'authenticité de l'abonné et pour le cryptage des données envoyées.
- **EIR (Equipment Identification Register) :** c'est une base de données annexe contenant les identités des terminaux (IMEI). Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier si un Mobile Equipment (ME) a ou il n'a pas le droit d'accès au système [11].

La figure ci-dessous présente l'architecture générale du NSS :

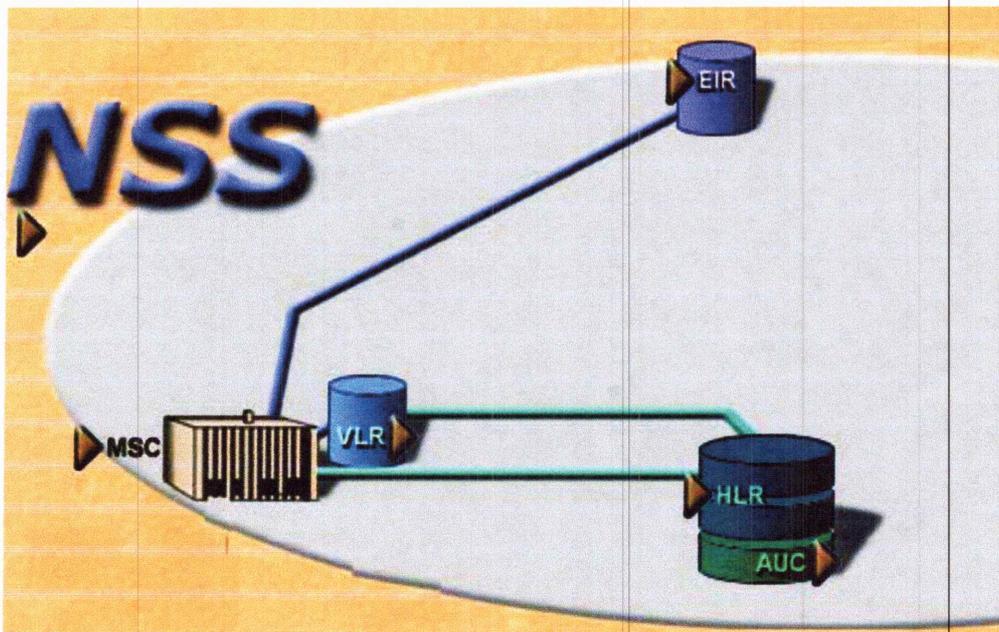


Figure I.6 : Architecture générale du NSS [16].

I.4.4 Centre d'exploitation et de maintenance "OMC" (Operating and Maintenance Center) :

Tout réseau GSM est sous le contrôle d'un OMC qui est subdivisé en deux sous-systèmes:

- OMC-R pour le BSS.
- OMC-S pour le NSS.

L'OMC réalise de multiples fonctions telles que :

- ✚ La détection des fautes.
- ✚ Configuration du réseau sur le plan matériel et logiciel.

- ✚ Pilotage et paramétrage du réseau.
- ✚ Observation du trafic et de la qualité de service.

Pour la réalisation des OMC, chaque constructeur a développé sa propre application rendant complexe la supervision globale d'un réseau diversifié en matériel. Une maintenance centralisée indépendante du constructeur impose la mise en place au sein d'un OSS (Operation Sub-system Switching) d'équipement de médiations fédérant les différents éléments du réseau sous une forme standardisée notamment pour les relations Homme-Machine (RHM). L'ensemble des OMC sont ainsi raccordés à l'OSS qui a ainsi pour rôle de superviser les OMC. La figure (I.7) présente l'architecture générale de l'OSS :

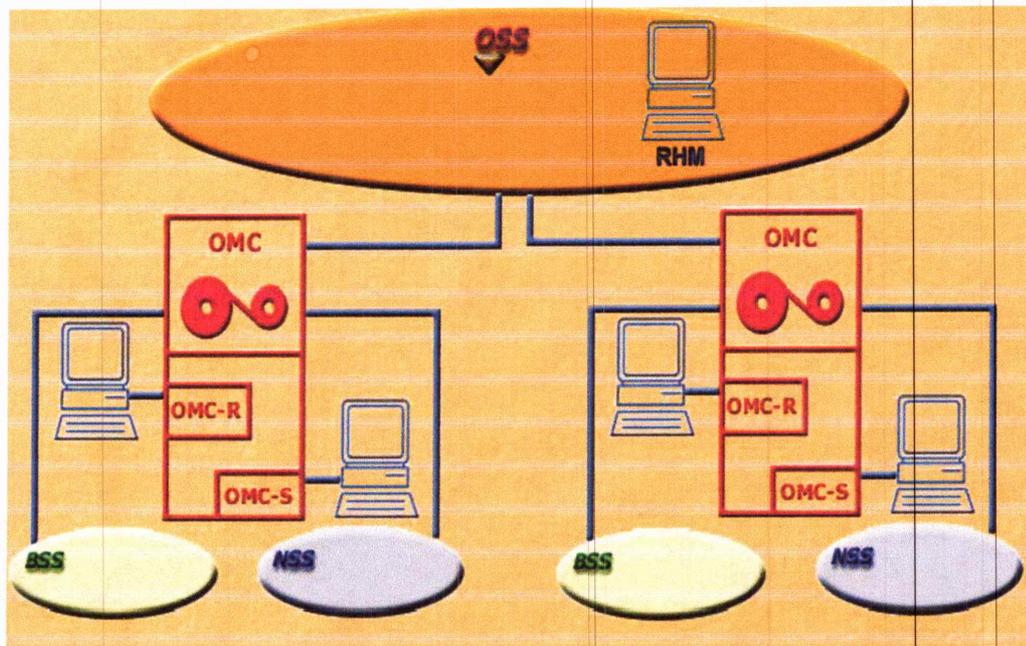


Figure I.7 : Architecture générale de l'OSS [16].

I.4.5 Interfaces :

Les interfaces normalisées sont utilisées entre les entités du réseau pour la transmission du trafic (paroles ou données) et pour les informations de signalisation. Dans le réseau GSM, les données de signalisation sont séparées des données de trafic.

Toutes les liaisons entre les équipements GSM sauf avec la station mobile sont des liaisons numériques. La liaison entre BTS et MS est une liaison radio numérique.

La figure (I.8) illustre les différentes interfaces utilisées dans un réseau GSM et le tableau (I.2) présente le nom de l'interface, sa position d'utilisation, le rôle, le protocole et le support de transmission.

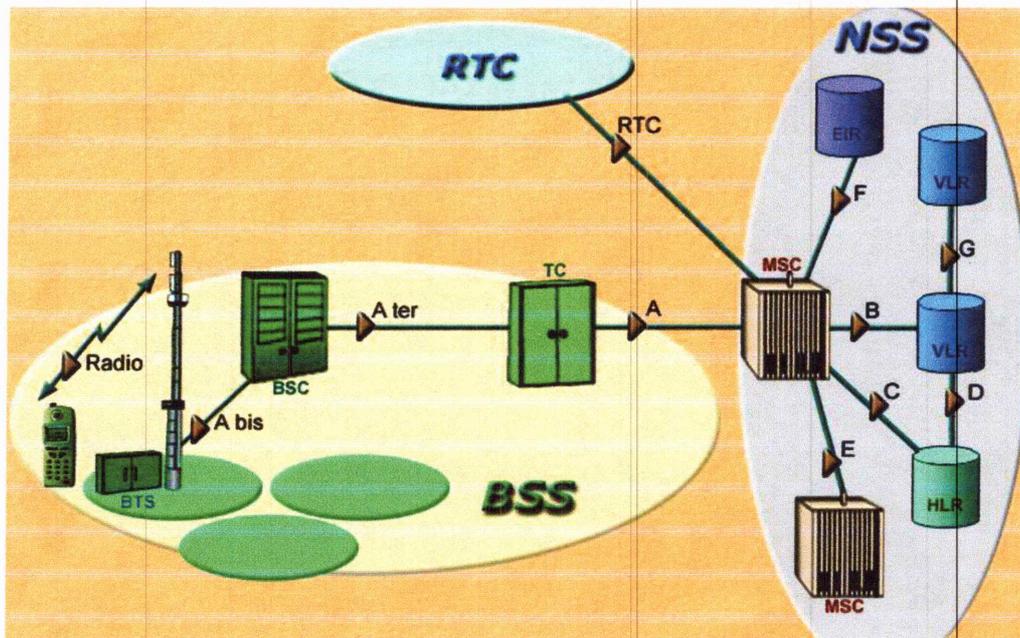


Figure I.8 : Interfaces du Réseau GSM.

Nom	Position	Rôle	Protocole	Support
Um	MS-BTS	Transport de : - La parole (ou des données) à 13 Kbits/s utilisé par communication et cryptée à 22Kbits/s. - La signalisation de gestion du trafic et des mobiles.	LAP DM	Onde Électromagnétique
Abis	BTS-BSC	Transport de : - La parole (ou des données) à 16 Kbits/s utilisé par communication. - La signalisation de gestion du trafic. - La signalisation d'exploitation et maintenance de la BTS.	LAPD	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
Ater	BSC-TC	Transport de : -La parole (ou des données) à 16 Kbits/s utilise par communication. -La signalisation de gestion du trafic sur certains matériels. -La signalisation de gestion du TC.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s

A	TC-MSC	Transport de : -La parole (ou des données) à 64 Kbits/s utilisé par communication. -La signalisation de gestion du trafic.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
B	MSC-VLR	Transport de la signalisation relative à l' « Application Mobile » MAP.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
C	MSC-HLR	Transport de la signalisation relative à l' « Application Mobile » MAP.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
D	VLR-HLR	Transport de la signalisation relative à l' « Application Mobile » MAP.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
E	MSC-MSC	Transport de - La signalisation relative à l' «Application Mobile » MAP. -La parole (ou des données) à 16 Kbits/s utilisé par communication.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
F	MSC-EIR	Transport de la signalisation relative à l' « Application Mobile » MAP.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
G	VLR-VLR	Transport de la signalisation relative à l' « Application Mobile » MAP.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s
RTC	MSC-RTC	Transport de la signalisation relative à l' « Application Mobile » MAP.	CCITT N°7	Liaisons louées 2,048 Mbits/s

Tableau I.2 : Interfaces dans un système GSM.

I.5 Limitation du réseau GSM :

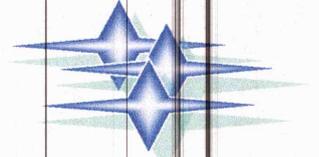
Le GSM est conçu essentiellement pour la communication vocale. Pour maintenir sa croissance, les concepteurs des systèmes de télécommunications ont pensé à le faire évoluer afin d'offrir d'autres services tels que l'accès à Internet et la transmission de données.

Etant un réseau en mode circuit, le GSM ne pouvait plus répondre aux nouvelles exigences introduites par les nouvelles applications en termes de débit et d'efficacité spectrale.

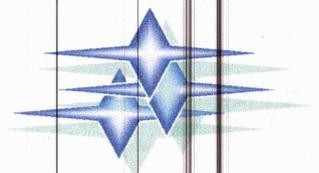
En effet, l'accès à l'Internet nécessite un débit beaucoup plus supérieur que celui offert par le GSM (9,6 Kbps) et d'autre part la technique de commutation de paquet est préférable chaque fois qu'il s'agit d'une transmission de données [7].

I.6 Conclusion :

Les différentes générations citées et les notions présentées de l'architecture du réseau GSM seront la base pour comprendre le principe et le fonctionnement du système de transmission mobile de 3^{ème} génération. Ainsi, le chapitre suivant sera consacré aux nouvelles fonctions utilisées par le système UMTS.



*Chapitre II : Architecture de l'UMTS
et les techniques d'accès multiples*



Sommaire

II.1 :	Introduction.....	17
II.2 :	Définition de l'UMTS.....	17
	II.2.1 : Plan de fréquence.....	17
	II.2.2 : Organisation fréquentielle.....	18
	II.2.3 : Organisation temporelle.....	18
	II.2.4 : Services de l'UMTS.....	18
	II.2.5 : Caractéristiques d'un système UMTS.....	19
	II.2.6 : Architecture de l'UMTS.....	20
	II.2.6.1 : L'UMTS Radio Access Network (UTRAN).....	20
	II.2.6.2 : Réseau cœur.....	22
	II.2.6.3 : Terminaux UMTS.....	24
	II.2.6.4 : Interfaces du réseau UMTS.....	25
	II.2.6.5 : Différentes classes de services.....	25
	II.2.6.6 : Canaux radio de l'UMTS.....	26
II.3 :	Techniques d'accès multiples	29
	II.3.1 : FDMA (AMRF) :.....	30
	II.3.2: TDMA (AMRT).....	30
	II.3.3: CDMA (AMRC).....	32
II.4 :	Conclusion.....	33

II.1 Introduction :

L'UMTS est présenté comme la troisième révolution de l'information après la télévision et l'Internet. L'UMTS ne se limite pas au transfert de la voix : il permet également d'offrir une large gamme de services multimédia. Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture du réseau UMTS et nous détaillons les différentes techniques d'accès multiples.

II.2 Définition de l'UMTS:

L'UMTS a été conçu comme le successeur de GSM et a été défini par la WARC (World Administrative Radio Conférence) de l'ITU. La technologie UMTS (dite technologie de 3^{ème} génération), permette de fournir aux utilisateurs une meilleure qualité de service quant aux télécommunications, notamment en ce qui concerne les services offerts (possibilités) et les vitesses de transferts. La WARC a, en fait, défini et normalisé le standard IMT-2000 dont fait partie la technologie UMTS. Cette technologie est au point de convergence d'Internet, de la téléphonie mobile et de la télévision. Comme son nom l'indique, UMTS est une technologie dédiée à la télécommunication mobile.

II.2.1 Plan de fréquences :

Le schéma ci-dessous présente le plan de fréquence de la téléphonie de 3^{ème} génération en Europe, Japon et aux Etats-Unis [3] :

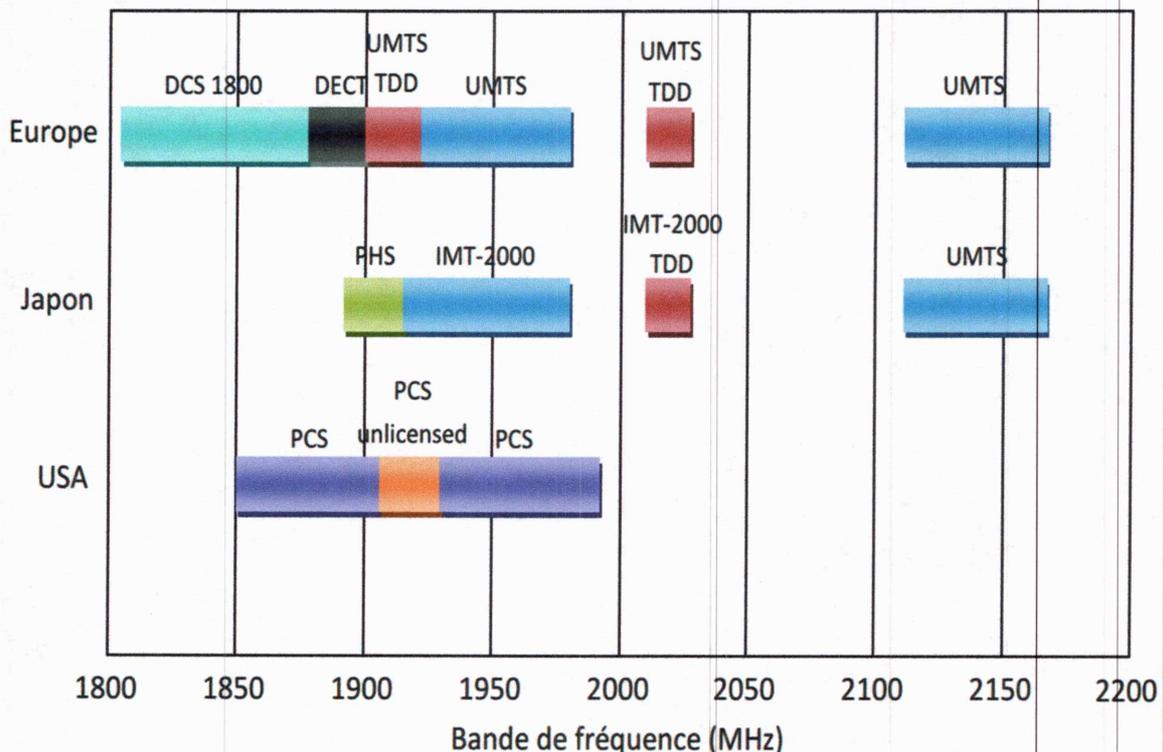


Figure II.1 : Plan de fréquences pour la 3G.

II.2.2 Organisation fréquentielle :

Les bandes de fréquences allouées pour le système UMTS sont 1.885 MHz-2.025 MHz et 2.110 MHz-2.200 MHz. Les applications terrestres occupent les bandes 1.885MHz-1.980 MHz et 2.110- 2.170 MHz. La largeur de la bande de fréquence occupée par chaque porteuse est de 5 MHz, comme montré sur la figure (II.2) :

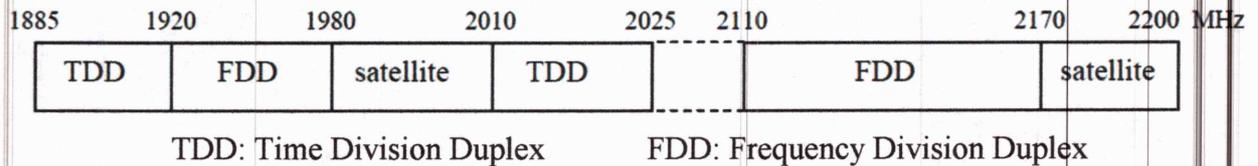


Figure II.2 : Utilisation de la bande de fréquences pour l'UMTS [18].

II.2.3 Organisation temporelle :

L'organisation temporelle de l'UMTS est basée sur une super trame de 720 ms ; composée elle-même de 72 trames de 10 ms et chaque trame est divisée en 15 slots de 667µs (figure II.3) :

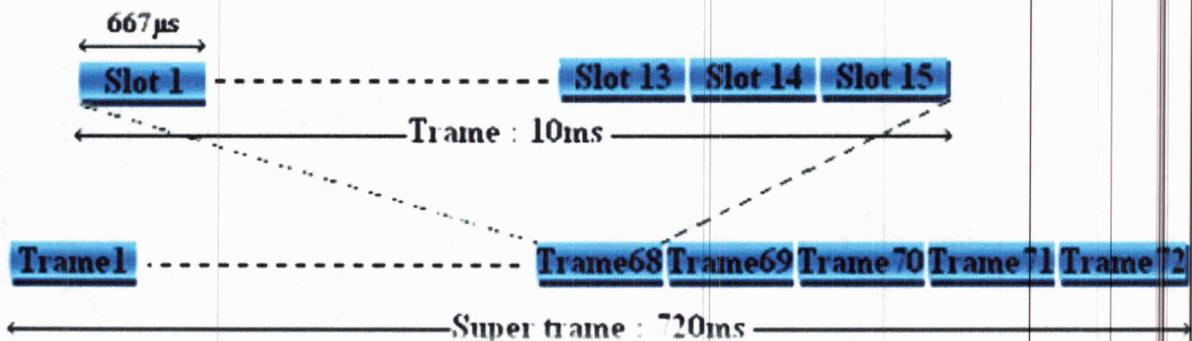


Figure II.3 : Organisation temporelle de l'UMTS [19].

II.2.4 Services de l'UMTS :

Le schéma ci-dessous présente les différents services que propose l'UMTS. Sur l'axe des ordonnées se trouve le débit demandé pour le service en question. Chacun des services est regroupé par leur type de connexion (bidirectionnel, unidirectionnel, diffusion point/multipoint) [3].

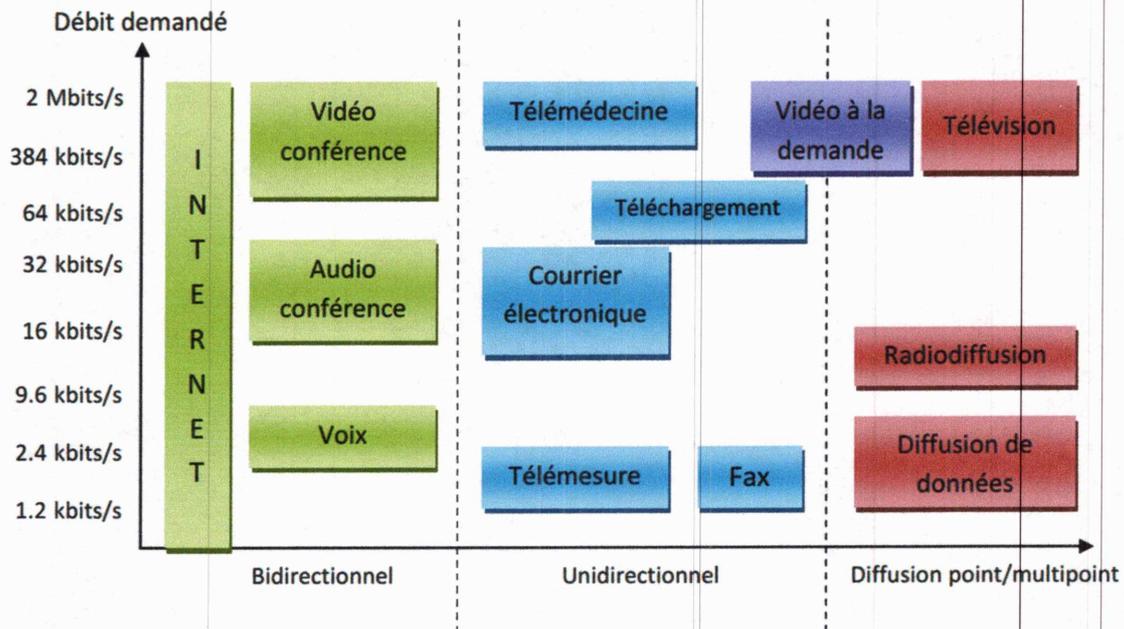


Figure I.4 : Besoins en débit des services de l'UMTS.

II.2.5 Caractéristiques d'un système UMTS :

Depuis 1985, l'Union Internationale de Télécommunication réfléchit à un système de troisième génération. L'idée fondatrice du système 3G est d'intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau et de lui adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données). Le principe du système est souvent résumé dans la formule any one, any where, any time, signifiant que chacun doit pouvoir joindre ou être joint n'importe où et n'importe quand. Le système doit donc permettre l'acheminement des communications indépendamment de la localisation de l'abonné, que celui-ci se trouve chez lui, au bureau, en avion.

Le choix de la technologie 3G prendra en considération des facteurs techniques, politiques et commerciaux.

Les facteurs techniques concernent la fourniture des débits demandés et la performance du réseau. Politiquement, les différents organismes de normalisation doivent parvenir à un accord et prendre en compte les spécificités régionales.

Enfin, les investissements engagés par les opérateurs dans les systèmes existants laisseraient à penser qu'il faut choisir un système 3G compatible avec les réseaux 2G, tandis que bien sûr les constructeurs pencheraient plutôt pour un nouveau système qui leur ouvrirait de belles opportunités commerciales.

Les autres principales caractéristiques à respecter sont:

- l'assurance en mobilité d'un débit de 144 Kbits/s (de préférence 384 Kbits/s) partout où le service est assuré ;
- l'assurance dans certaines zones (de mobilité limitée) d'un débit de 2 Mbits/s ;
- une haute efficacité spectrale par rapport aux systèmes 2G ;

- une haute flexibilité pour permettre aisément l'introduction de nouveaux services ;
- les débits ont été spécifiés à partir des débits proposés par le Réseau Numérique à Intégration de Service (RNIS ou ISDN en anglais) ; 144 Kbits/s qui correspond à l'accès de base destiné au grand public pour le RNIS : 2 canaux B d'utilisateur à 64 Kbits/s + 1 canal D de signalisation à 16 Kbits/s [8].

II.2.6 Architecture de l'UMTS :

L'architecture du système UMTS est similaire à celle de la plupart des réseaux de deuxième génération.

Les éléments de réseau du système UMTS sont répartis en deux groupes. Le premier groupe correspond au réseau d'accès radio (RAN, Radio Access Network ou UTRAN, UMTS Terrestrial RAN) qui supporte toutes les fonctionnalités radio. Quant au deuxième groupe, il correspond au réseau Cœur (CN, Core Network) qui est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.

Pour compléter le système, on définit également le terminal utilisateur UE (User Equipment) qui se trouve entre l'utilisateur proprement dit et le réseau d'accès radio. La figure suivante présente l'architecture globale du système UMTS :

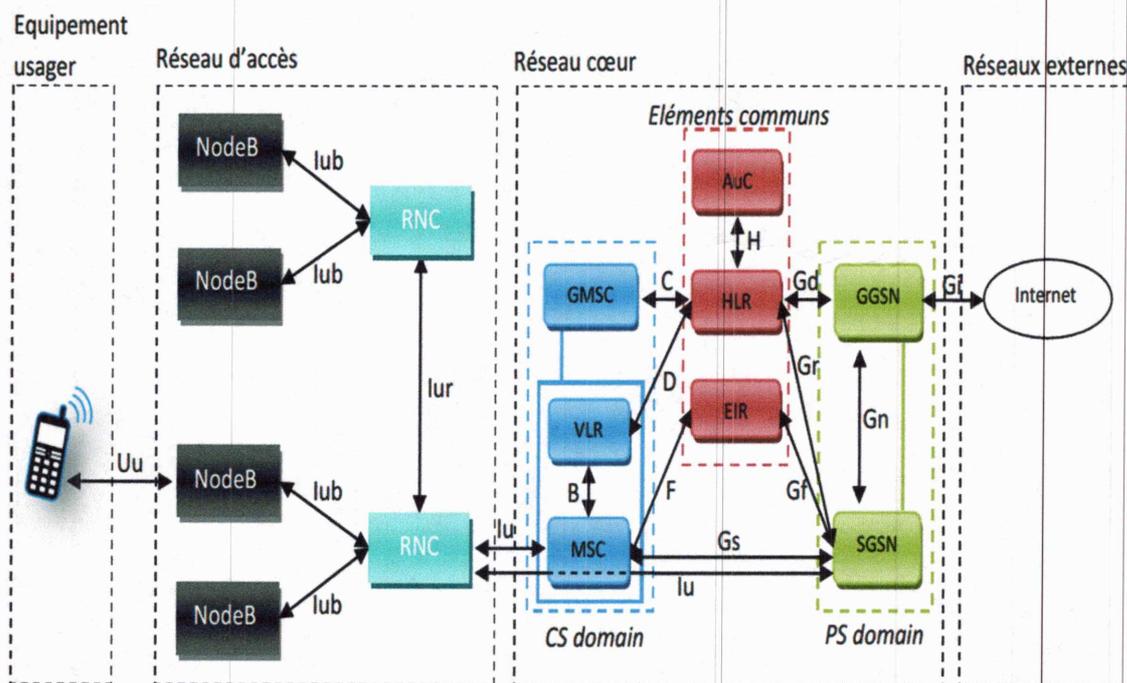


Figure II.5 : Architecture de l'UMTS.

II.2.6.1 L'UMTS Radio Access Network (UTRAN):

L'UTRAN est complètement distinct de la BSS du GSM. Il est constitué de un ou plusieurs RNC (Radio Network Controller : contrôleurs de réseau radio), dont dépendent des Node B, et qui jouent un rôle proche respectivement des BSC et des BTS en GSM. Un UTRAN

peut donc être relié au Core Network par plusieurs liens (un par RNC). Le RNC et le Node B peuvent supporter les deux modes de duplexage FDD et TDD.

Les différents éléments qui constituent l'architecture de l'UTRA sont présentés dans la figure suivante :

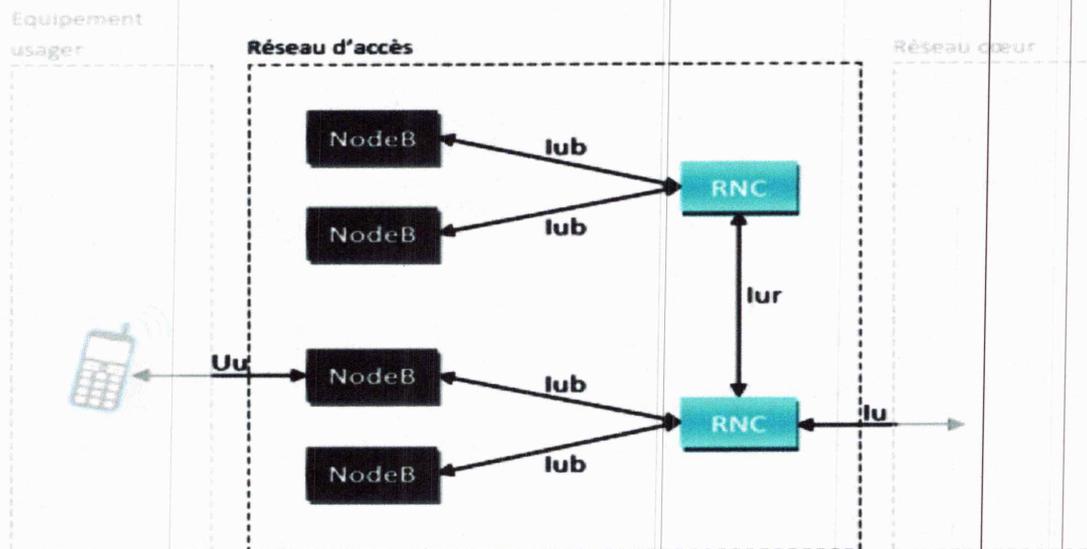
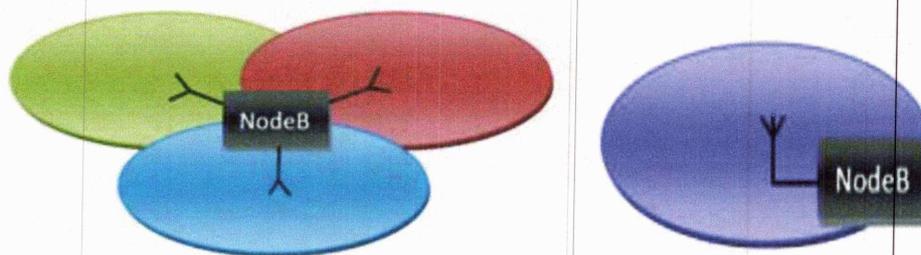


Figure II.6 : Architecture de l'UTRAN.

- **Node B** : est un ensemble de stations de base (BS) et de contrôleurs de site qui sont chargés en outre de gérer la macro diversité. Chaque station de base gère une cellule. Plusieurs cellules peuvent donc dépendre d'un même Node B, mais chaque cellule ne supporte qu'un seul mode de duplexage : FDD ou TDD. Son rôle principal est donc d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules de l'UTRAN, et il peut être équipé d'une antenne omnidirectionnelle ou des antennes sectorielles, comme illustré par la figure (II.7) :



Node B avec antennes sectorielles

Node B avec antenne omnidirectionnelle

Figure II.7 : Implémentations possibles du Node B.

- **RNC** : Son rôle principal est le contrôle des ressources radio dont il dispose. Le RNC de l'UTRAN a pour fonction équivalente au BSC des réseaux GSM, il assure le routage des communications entre le Node B et le réseau cœur d'une part et la supervision du

Node B d'autre part. Il est aussi considéré comme un point d'accès pour relier le CN et le UE.

Deux rôles de RNC ont été introduits afin de gérer les handovers inter-RNC : le Serving RNC et le Drift RNC (figure II.8), un RNC joue l'un ou l'autre des deux rôles pour une communication. Chaque communication met en œuvre un Serving RNC et un seul, et passe par 0 ou plusieurs Drift RNC :

- Le Serving RNC gère les connexions radios avec le mobile et sert de point de rattachement au Core Network via l'interface Iu. Il contrôle et exécute le handover.
- Le Drift RNC, sur ordre du Serving RNC, gère les ressources radios des stations de base qui dépendent de lui. Il effectue la recombinaison des liens lorsque du fait de la macro diversité plusieurs liens radios sont établis avec des stations de base qui lui sont attachées. Il route les données utilisateurs vers le Serving RNC dans le sens montant et vers ses stations de base dans le sens descendant [20].

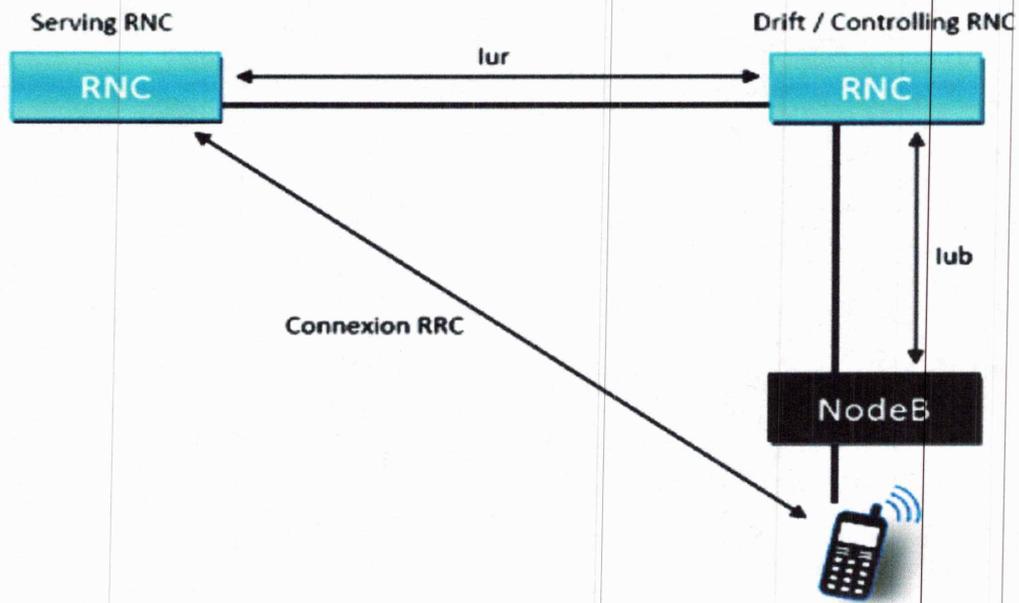


Figure II.8 : RNC et Node B.

II.2.6.2 Réseau cœur :

Le réseau cœur de l'UMTS est scindé en deux domaines de service :

- Le CS (Circuit Switched) domain.
- Le PS (Packet Switched) domain.

Le domaine CS est utilisé pour la téléphonie tandis que le domaine PS permet la commutation de paquets (utilisé pour les données, Internet...). Ainsi les téléphones de 3^{ème} génération peuvent gérer simultanément une commutation de paquet et de circuit. Cette notion de domaine permet de modéliser la notion de service dans le réseau cœur et donne la possibilité de créer ultérieurement d'autres domaines de service.

Les éléments du réseau cœur sont répartis en 3 groupes, comme l'illustre la figure ci-dessous :

- Le domaine CS comprend le MSC, le GMSC et le VLR.
- Le domaine PS comprend le SGSN et le GGSN.
- Le dernier groupe comprend les éléments communs aux domaines PS et CS : le HLR, l'EIR, et l'AuC.

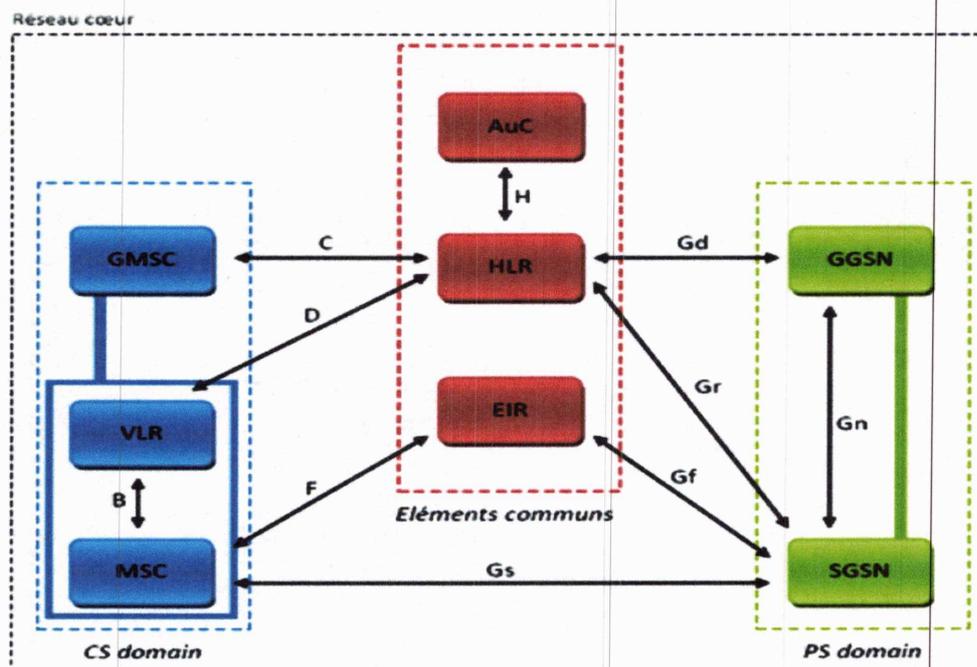


Figure II.9 : Eléments du réseau cœur de l'UMTS [19].

❖ Le groupe des éléments communs :

Le HLR (Home Location Register) : C'est la base de données contenant les informations relatives à l'abonné gérées par l'opérateur. Pour chaque abonné, le HLR mémorise les informations suivantes :

- ✚ L'information de souscription (abonnement, souscription à tel service, débit maximal autorisé, etc....).
- ✚ L'identité du mobile, ou IMSI.
- ✚ Le numéro d'appel de l'abonné.

L'AuC (Authentication Center) : C'est un élément permettant au réseau d'assurer certaines fonctions de sécurité, telles que l'authentification de l'abonné, le chiffrement de la communication. Ces deux fonctions de sécurité sont activées au début de l'établissement de l'appel avec l'abonné. En cas d'échec d'une entre elles, l'appel est rejeté. L'AuC est couplé au HLR et contient pour chaque abonné une clé d'identification lui permettant d'assurer les fonctions d'authentification et de chiffrement.

L'EIR (Equipment Identity Register) : C'est un équipement optionnel destiné à lutter contre le vol des terminaux mobiles. L'EIR est en fait une base de données contenant la liste des mobiles interdits (black list). L'identification du mobile se fait grâce à son IMEI.

❖ **Le domaine CS comprend :**

Le MSC (Mobile-services Switching Center) : C'est un commutateur de données et de signalisation. Il est chargé de gérer l'établissement de la communication avec le mobile.

Le GMSC (Gateway MSC) : C'est un MSC un peu particulier servant de passerelle entre le réseau UMTS et le RTCP (Réseau Téléphonique Commuté Public). Lorsqu'on cherche à joindre un mobile depuis un réseau extérieur à l'UMTS, l'appel passe par le GMSC, qui effectue une interrogation du HLR avant de router l'appel vers le MSC dont dépend l'abonné.

Le VLR (Visitor Location Register) : C'est une base de données attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR est utilisé pour enregistrer les abonnés dans une zone géographique appelée LA (Location Area). Le VLR contient des données assez similaires à celles du HLR.

Le VLR mémorise pour chaque abonné plusieurs informations telles que l'identité temporaire du mobile (pour limiter la fraude liée à l'interception et à l'utilisation frauduleuse de l'IMSI) ou la zone de localisation (LA) courante de l'abonné.

❖ **Domaine PS comprend :**

Le SGSN (Serving GPRS Support Node) : qui joue le même rôle que le VLR, c'est à dire la localisation de l'abonné mais cette fois sur une RA (Routing Area).

Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) : a une fonction identique au GMSC pour la partie paquet du réseau, en jouant le rôle de passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs (Internet public, un intranet privé, etc...).

II.2.6.3 Terminaux d'UMTS :

Le terminal utilisateur (UE) est composé des deux parties suivantes :

❖ **Terminal mobile ME (Mobile Equipment) :** correspond au terminal radio utilisé pour les communications radio sur l'interface Uu.

❖ **Carte USIM (Universel Subscriber Identity Module) :**

Comme dans les réseaux GSM, l'accès aux services dans un réseau UMTS est conditionné par la présence dans le terminal de la carte à puce de l'abonné, appelée USIM. Sans cette carte, seuls les appels d'urgence sont possibles.

La carte USIM contient un certain nombre de données, structurées en différents «fichiers». La structure des données de la carte USIM est en fait une extension de celle de la carte SIM des terminaux GSM, ce qui autorise son utilisation dans un terminal GSM.

La carte USIM contient toutes les données relatives à l'abonné, parmi lesquelles :

- L'IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
- Le MSISDN (Mobile Station International ISDN Number), ou numéro d'appel de l'abonné.
- Les clés de chiffrement et d'intégrité, pour les services des domaines CS et PS. Ces clés sont utilisées dans les mécanismes de sécurité.
- La liste des réseaux interdits.
- Les identités des zones de localisation courantes du mobile pour les domaines CS et PS.
- ALW (always) indique que l'information est accessible sans restriction.
- PIN (Personal Identification Number) indique que l'information n'est accessible qu'une fois le PIN de l'utilisateur est vérifié.
- ADM (administrative) indique que seul le fournisseur de la carte peut accéder à l'information.

La condition d'accès ALW sera réservée aux données les moins sensibles, telle que la langue préférée.

En revanche, l'IMSI est accessible en lecture sur la carte USIM une fois le PIN est vérifié, mais il ne peut être modifié que par l'administrateur du réseau (ADM).

II.2.6.4 Interfaces du réseau UMTS :

Le tableau suivant résume les différentes interfaces utilisées dans le réseau UMTS. Des interfaces du GSM et GPRS sont réutilisées dans l'UMTS, d'autres sont spécifiques à l'UMTS.

Interfaces	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 fédérateur	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	NodeB-RNC	Communication entre le Node B et le RNC.	Abis

Tableau II.1 : Interfaces de l'UMTS.

II.2.6.5 Différentes classes de services :

Afin de couvrir l'ensemble des besoins présents et futurs des services envisagés pour l'UMTS, quatre classes ont été définies afin de regrouper les services en fonction de leurs contraintes respectives (tableau II.2). Les principales contraintes retenues pour la définition des classes de services de l'UMTS sont les suivantes :

- La variation du délai de transfert des informations,
- La tolérance aux erreurs de transmission.

Les quatre classes de services définies dans le cadre de l'UMTS peuvent se répartir en deux groupes :

- Les classes A (ou conversationnel) et B (ou streaming) pour les applications à contrainte temps réel.
- Les classes C (ou interactive) et D (ou background) pour les applications de données sensibles aux erreurs de transmission [17].

Groupes	Classe	Services	Contraintes
Groupes des applications à contraintes temps réel	Classe A (conversationnel) services Conversationnels	- Téléphonie - Visiophonie - Jeux interactifs	Très sensibles au retard, symétriques.
	Classe B (streaming) : services à flux continues	- Vidéo à la demande - Diffusion radiophonique - Transfert d'image	Très Sensibles au retard, asymétriques.
Groupes des applications de données sensibles aux erreurs de transmission.	Classe C (interactive): services interactifs	- Navigation Web - Transfert de fichier FTP - Transfert d'E-mail - E-commerce	Sensibles au temps aller et retour, asymétriques.
	Classe D (background) Services d'arrière-plan.	- Transfert de Fax - SMS	Insensible au retard, asymétriques.

Tableau II.2 : Classes de services et leurs contraintes.

II.2.6.6 Canaux radio de l'UMTS :

En UMTS nous distinguons trois types de canaux (figure II.10) : les canaux physiques qui véhiculent l'information sur l'interface radio, les canaux logiques définis par la nature de l'information transportée et les canaux de transport définis par les caractéristiques de la transmission de l'interface radio.

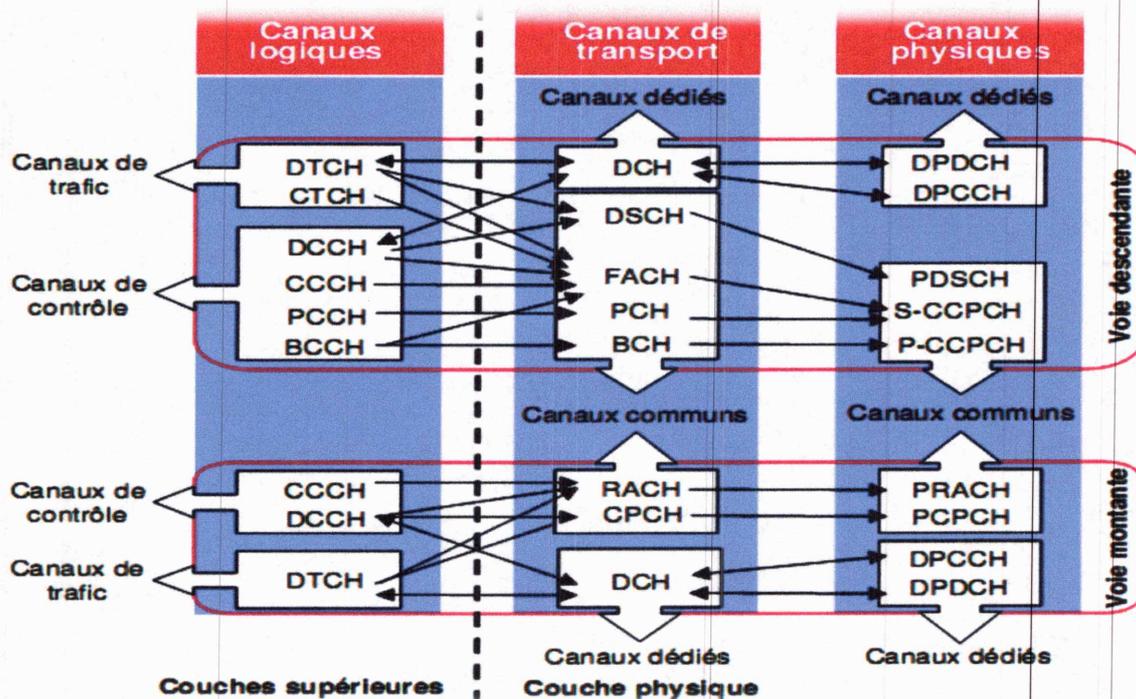


Figure II.10 : Canaux radio de l'UMTS.

Les tableaux (II.3), (II.4) et (II.5) présentent les différents canaux de transport, logiques et physiques respectivement, ainsi que ses fonctions.

Canal	Fonction
DCH : Dedicated Channel	Utilisé pour le transfert des données à un UE particulier et chaque UE à son propre DCH dans chaque direction.
BCH : Broadcast Channel	Diffuse l'information aux UE dans la cellule pour qu'il puisse identifier le réseau et la cellule.
FACH : Forward Access Channel	Transporte les données ou les informations aux UE qui sont enregistrés dans le système.
PCH : Paging Channel	Transporte les messages qui alertent le UE des appels entrant, SMS, messages et des sessions de données.
RACH : Random Access Channel	Transporte les demandes de service des UE voulant accéder au système.
CPCH : uplink Common Packet Channel	Fournit une capacité additionnelle au-delà de celle de RACH et utilisé aussi pour le contrôle de puissance rapide.
DSCH : Downlink Shared Channel	Partagé par les utilisateurs.

Tableau II.3 : Canaux de transports [21].

Canal	Fonction
BCCH : Broadcast Control Channel	Diffuse l'information relevant de la cellule ou des cellules voisines à l'UE.
PCCH : Paging Control Channel	Utilisé pour pager les messages et les informations de notification.
DCCH : Dedicated Control Channel	Utilisé pour transporter les informations de contrôle dédiées dans les deux directions.
CCCH : Common Control Channel	Utilisé pour le transfert des informations de contrôle.
DTCH : Dedicated Traffic Channel	Utilisé pour le transport des données utilisateur ou le trafic.
CTCH : Common Traffic Channel	Utilisé pour transférer les informations dédiées de l'utilisateur à un groupe d'UE.

Tableau II.4 : Canaux logiques [21].

Canal	Fonction
PCCPCH : Primary Common Control Physical Channel	Diffuse d'une façon continue les identifications du système et les informations de contrôle d'accès.
SCCPCH : Secondary Common Control Physical Channel	Transporte le FACH et le PACH.
PRACH : Physical Random Access Channel	Permet à l'UE de transmettre les bursts d'accès aléatoire pour l'accès au réseau.
DPDCH : Dedicated Physical Data Channel	Utilisé pour le transfert des données utilisateur.
DPCCH : Dedicated Physical Control Channel	Transporte les informations de contrôle vers l'UE.
PDSCH : Physical Downlink Shared Channel	Partage le contrôle d'information pour les UE.
PCPCH : Physical Common Packet Channel	Utilisé pour le transport des paquets de données.
SCH : Synchronisation Channel	Utilisé pour permettre la synchronisation des UE avec le réseau.
CPICH : Common Pilote Channel	Transmet par chaque Node B et par la suite le UE pourra estimer le temps de la démodulation du signal.
AICH : Acquisition Indicator Channel	Fournit les informations pour l'UE sur le DCH et peut être utilisé pour communiquer avec le Node B.

PICH : Paging Indicator Channel	Fournit les informations pour l'UE pour opérer son mode Sleep pendant l'écoute du canal PCH.
CSICH : CPCH Status Indicator Channel	Transporte l'état du CPCH et fonctionne dans un mode similaire du PICH.
CD/CA-ICH : Collision Detection / Channel Assignment Indicator Channel	Indique si le canal d'assignation est actif ou non pour l'UE.

Tableau II.5 : Canaux physiques [21].

II.3 Techniques d'accès multiples :

Les systèmes de communications point à point étaient initialement conçus en affectant, à chaque couple émetteur/ récepteur, un canal de transmission (physique). Afin d'augmenter, en pratique, la capacité des réseaux et d'optimiser l'utilisation des ressources fréquentielles, différentes techniques d'accès multiples ont fait leur apparition [22].

Afin d'obtenir une utilisation efficace de canal radio, les utilisateurs des systèmes de communications, de plus en plus nombreux, sont amenés à cohabiter. Le problème posé par cette cohabitation, encore appelée (accès multiples), et noté par les sigles du type xDMA : x Division Multiples Access consiste à examiner comment organiser l'accès d'un nombre important d'utilisateurs à un seul canal de communication commun [23].

Les techniques d'accès multiples dans le système de radio mobile sont basées sur l'isolation des différents signaux utilisés lors de diverses connections. Pour cela, il existe principalement trois techniques d'accès multiples:

- Accès Multiples par Répartition en Fréquence (AMRF ou FDMA pour Frequency Division Multiple Access).
- Accès Multiples par Répartition en Temps (AMRT ou TDMA pour Time Division Multiple Access).
- Accès Multiples par Répartition de Codes (AMRC ou CDMA pour Code Division Multiple Access) [24].

II.3.1 FDMA (AMRF) :

Le partage en fréquence également appelé FDMA est la technique la plus simple et la plus ancienne. Elle repose sur un multiplexage en fréquences qui divise la bande de fréquences en plusieurs sous-bandes, chacune d'elles placée sur une fréquence spécifique du canal (porteuse ou carrier). Le principe du FDMA est de réserver à chaque usager une portion du spectre disponible, qui sera utilisée pendant toute la durée de la communication. Cette méthode est essentiellement utilisée dans les réseaux analogiques (figure II.11) :

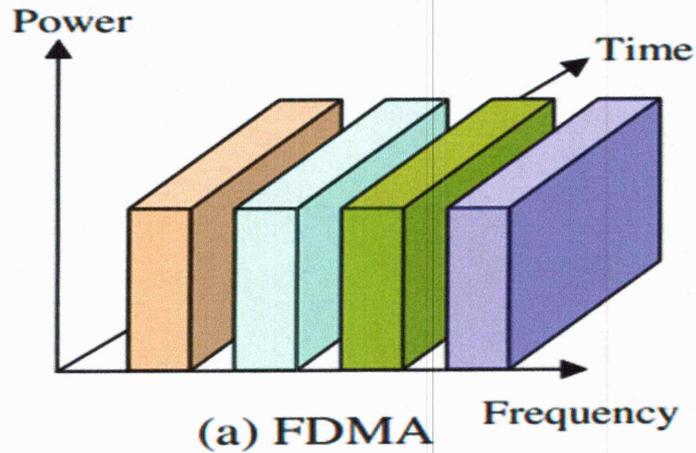


Figure II.11 : Accès multiples par répartition de fréquence (FDMA).

Le FDMA présente les avantages et les inconvénients suivants :

Avantages :

- Simple à mettre en œuvre.
- Transmission et synchronisation continues possibles : Quand les deux canaux de communication dans les deux sens ont été attribués, les deux extrémités émettent en continu et de façon simultanée.
- Modulation à faible débit.
- Une meilleure gestion de ressources de transmission en cas de faible trafic.

Inconvénients :

- Complexité des équipements de la station de base : du fait de la continuité de la transmission, la réalisation du handover d'un canal vers un autre canal est plus difficile à gérer que dans un système TDMA où la transition entre deux canaux peut être réalisée pendant l'intervalle séparant deux slots d'émission consécutifs.
- Nécessité de duplexeurs coûteux : Comme l'émetteur et le récepteur doivent fonctionner de manière simultanée, le mobile doit utiliser un duplexeur permettant d'éviter les brouillages entre l'émetteur et le récepteur du mobile. Cet équipement entraîne des coûts supplémentaires.
- Pas de diversité de fréquences.

II.3.2 TDMA (AMRT) :

Le partage en temps, ou TDMA est une alternative au FDMA. Les usagers d'un système TDMA utilisent tous la même bande de fréquence. Le partage de la ressource est effectué au travers de l'allocation d'un intervalle de temps propre à chaque usager appelé Time Slot (TS) ou tout simplement slot. L'émetteur de la station mobile stocke les informations avant de les transmettre sur le slot. Les différents slots sont regroupés sur une trame, le système offrant ainsi plusieurs voies de communications aux différents utilisateurs.

La succession des slots dans les trames forme le canal physique de l'utilisateur. Par exemple le système GSM alloue successivement huit intervalles de temps sur une même fréquence, correspondant à huit communications simultanées par porteuse. Le récepteur enregistre les informations à l'arrivée de chaque slot et reconstitue le signal à la vitesse du support de transmission. Pour utiliser pleinement la ressource partagée, les mobiles doivent émettre à des instants bien précis, ce qui nécessite un asservissement périodique de l'instant d'émission, effectué par le réseau. En effet suivant la distance entre les mobiles et l'antenne de l'équipement de transmission du réseau, il est nécessaire de procéder régulièrement à une correction de l'instant d'émission du mobile afin de tenir compte des variations de la durée de propagation du signal. La méthode TDMA s'utilise principalement pour la transmission de signaux numériques (figure II.12):

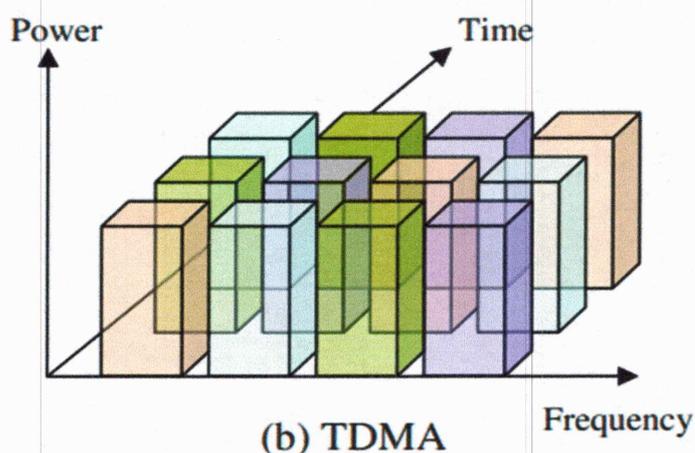


Figure II.12 : Accès multiples par répartition dans le temps (TDMA).

Avantages :

- Coût réduit de la station de base : Le principal avantage du système TDMA par rapport au système FDMA est de nécessiter moins de canaux radio. Ce qui entraîne une diminution du nombre d'équipements au niveau des stations de base.
- Pas de duplexeur full-duplex : Comme les émissions et les réceptions ont lieu sur les slots différents, le recours à un duplexeur n'est pas nécessaire.
- Souplesse de modification sur le débit transmis

Inconvénients :

- Gestion complexe.
- Ajout de bit de signalisation et de synchronisation.
- Haut débit sur le canal : Ce qui crée des interférences inter-symboles qui ont un impact majeur sur un système TDMA [25].

II.3.3 CDMA :

L'accès CDMA est une technique radicalement différente des deux précédentes. Les usagers d'un système CDMA utilisent tous la même bande de fréquence au même instant, la séparation entre les différents usagers étant assurée par un « code » propre à chacun.

D'une manière analogue, dans un système CDMA, un certain nombre de signaux sont émis simultanément dans la même bande de fréquence. Ils seront tous reçus par le récepteur CDMA, dont le rôle est d'extraire de l'ensemble des signaux reçus les données qui lui sont destinées [26]. Cette opération est possible en raison des propriétés de corrélation des codes utilisés par le système CDMA. Le récepteur, connaissant le code utilisé par l'émetteur, est capable de retrouver les données transmises. En revanche, les autres signaux, utilisant des codes différents seront éliminés en raison de leur faible corrélation avec le code employé par le récepteur. En CDMA l'usage de codes permet une réutilisation de la même fréquence dans des cellules adjacentes. Cela offre un avantage révolutionnaire à cette méthode par rapport à celles qui la précèdent.

Toutefois les codes étant seulement quasi orthogonaux à la réception, un problème d'auto interférence entre en jeu, qui s'intensifie au fur et à mesure que le nombre de communications simultanées augmente. Ce phénomène se produit lorsque les limites du système en termes de capacité, sont atteintes. Excédant le nombre maximal des codes attribués, la surcharge de la cellule affecte en outre tous les utilisateurs par l'interférence provoquée sur leurs canaux, alors que, en comparaison, un seul utilisateur est brouillé en TDMA (figure II.13) :

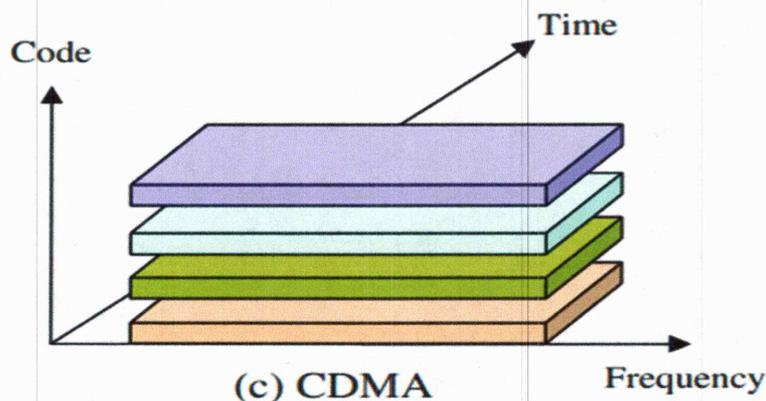


Figure II.13 : Accès multiples par répartition de code (CDMA).

Avantages :

- Résistance aux interférences.
- Confidentialité (faible probabilité d'interception).
- Un multiplexage adapté au système cellulaire :
- Une faible consommation.

Inconvénients :

- Nécessité d'une égalisation intensive.
- Nécessité d'un contrôle de puissance très performant : C'est l'un des principaux inconvénients de la méthode d'accès CDMA. Le contrôle de puissance rapide est le seul

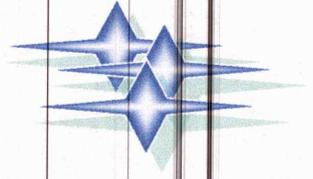
moyen permettant de maximiser le nombre d'utilisateurs communiquant en même temps dans le système.

- Complexité au niveau du mobile : Le traitement des informations reçues et émises est beaucoup plus important que dans les autres types de systèmes puisqu'il faut implanter un niveau de codage supplémentaire [25].

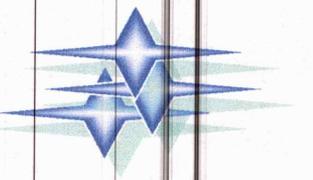
II.4 Conclusion :

L'explication des fondements théoriques et l'architecture de l'UMTS font partie du cadre de notre travail. En fait, nous avons présenté l'essentiel des différents blocs qui constituent le réseau mobile de 3^{ème} génération, les améliorations et la différence avec le GSM.

De plus, nous avons rappelé les différentes techniques d'accès multiple couramment utilisées dans le domaine des communications mobiles comme le TDMA, le FDMA et le CDMA.



*Chapitre III : Principe du WCDMA et
simulation de l'étalement de spectre*



Sommaire

III.1 :	Introduction.....	34
III.2 :	Présentation du WCDMA.....	34
	III.2.1 : Principales caractéristiques du WCDMA.....	34
III.3 :	Multiplexages.....	35
	III.3.1 : Mode FDD.....	35
	III.3.2 : Mode TDD.....	35
III.4 :	Contrôle de puissance en WCDMA.....	37
III.5 :	Le Handover.....	39
III.6 :	Étalement de spectre.....	40
	III.6.1 : Techniques d'étalement de spectre.....	41
	III.6.1.1 : Etalement par saut de fréquence.....	41
	III.6.1.2 : Etalement par séquence directe.....	42
	III.6.1.3 : Etalement par saut de temps.....	46
	III.6.2 : Codes d'étalement.....	46
	III.6.2.1 : Codes de canalisation.....	46
	III.6.2.2 : Codes d'embrouillage.....	47
III.7 :	Simulations et résultats.....	48
	III.7.1 : Exemple d'étalement du spectre dans le cas d'un seul utilisateur.....	48
	III.7.2 : Exemple d'étalement du spectre dans le cas de deux utilisateurs.....	51
	III.7.3 : Modèle d'étalement du spectre avec multi-trajets, cas d'une séquence PN.....	52
	III.7.4 : Modèle d'étalement du spectre, cas d'un seul utilisateur avec multi-trajets.....	53
	III.7.5 : Modèle d'étalement du spectre, cas de deux utilisateurs avec multi-trajets.....	55
III.8 :	Conclusion.....	55

III.1 Introduction :

Le WCDMA (Wide band Code division Multiple Access) est la base de l'interface radio de l'UMTS. Cependant, le WCDMA se base sur une technique d'étalement de spectre qui est le CDMA. Toutes ces notions seront l'objet de ce troisième chapitre, suivies par des simulations sous Matlab / Simulink de plusieurs modèles de transmission numérique où nous avons traité plusieurs transmissions de troisième génération.

III.2 Présentation du WCDMA :

Le WCDMA, qui est actuellement employé dans de nombreux systèmes de communication, permet à un grand nombre d'utilisateurs d'utiliser la même onde porteuse sans interférer les uns des autres. Il consiste à répartir l'information radioélectrique émise sur une bande de fréquences plus large que celle réellement nécessaire à la transmission du signal utile. Ce dernier apparaît alors comme un bruit et sa densité spectrale est constante sur l'intégralité de la bande occupée, comme illustré par la figure suivante :

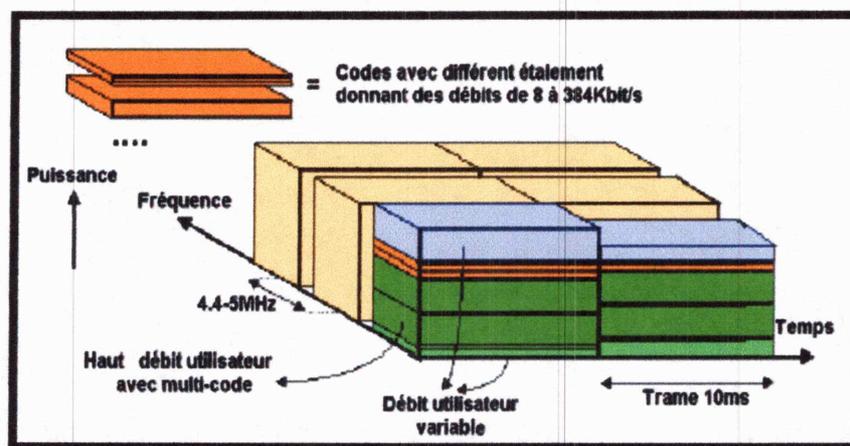


Figure III.1 : Schéma descriptif du WCDMA.

III.2.1 Principales caractéristiques du WCDMA :

- Accès multiple via DS-CDMA (Direct Séquence CDMA).
- Chip rate : 3,84 Mcps ; bande passante 5 MHz.
- 2 modes pour séparer uplink et downlink : FDD (2 x 5 MHz) et TDD (1 x 5 Mhz).
- Motif de réutilisation : 1 (pour une bande de 5 MHz) => facilite de planification.
- Possibilité de déployer plusieurs bandes de 5 MHz pour extension de la capacité et réseaux multicouches.
- BS en mode asynchrone (pas de signal de référence comme dans le cas du GPS).
- Débits utilisateurs jusqu'à 2 Mbit/s et variables sur une connexion (par tranche de 10 ms)
- Supporte le concept de BoD « Bandwith on Demand » et le multiplexage de services.
- Support de handover avec le GSM (=> facilité de déploiement du réseau et de la couverture).
- Utilise la détection cohérente basée sur des pilotes (canaux et symboles) [8].

III.3 Multiplexages :

Le terme WCDMA étant employé pour couvrir à la fois le mode FDD et le mode TDD.

III.3.1 Mode FDD :

Avec la division duplex par fréquence (FDD), pour la liaison montante (UL) ainsi que celle descendante (DL), chaque sens de transmission utilise une porteuse distincte. Cette technique utilise donc un débit chip élevé (4,096 Mchip/s), et une bande de fréquences importante (4,4 MHz à 5 MHz), ce qui permet de bénéficier d'une bonne diversité de fréquences dans la plupart des environnements, et de s'affranchir des évanouissements liés aux trajets multiples [8].

L'espace entre les deux bandes de fréquence pour le Uplink et le Downlink est appelé distance duplex. Elle est constante pour toutes les stations mobiles dans une même norme [27]. La sous-bande fréquentielle basse est allouée à la liaison Uplink et la sous bande haute est allouée à la liaison Downlink (figure III.2).

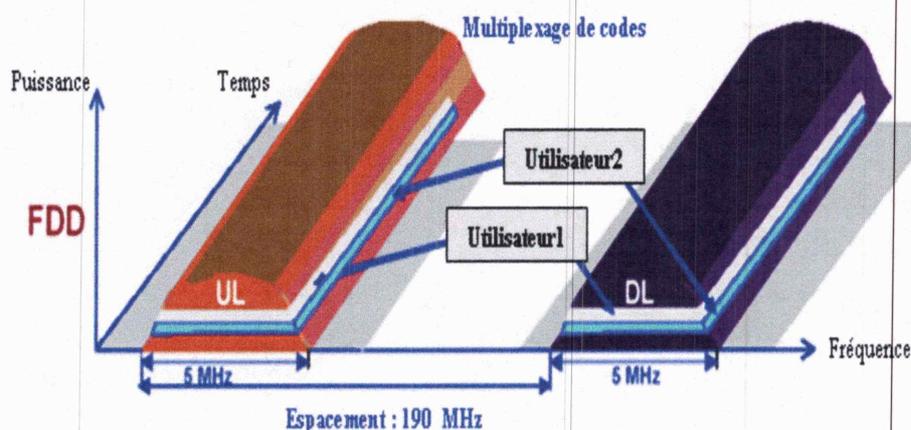


Figure III.2 : Mode FDD.

III.3.2 Mode TDD :

Dans le cas de la division duplex par le temps (TDD), Le Uplink et le Downlink se partagent la même bande de fréquence de 5 MHz. Ceci est fait en divisant la bande en time slots (TS) et trame. Une trame contient un nombre spécifique n de time slots. Un certain nombre de ces time slots sont réservés pour la transmission du Uplink et le restant pour la transmission du Downlink [27].

Le TDD comprend donc une composante AMRT fondée sur la trame GSM en plus de la séparation par code. Ce concept offre une large gamme de débits de service en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur. Le débit de 2 Mbit/s peut également être obtenu, mais des raisons techniques et complexes (dues par exemple au déplacement ou au déphasage) limitent le bon fonctionnement de ce système aux bâtiments ou aux petites cellules. La figure (III.3) présente ce type de duplex.

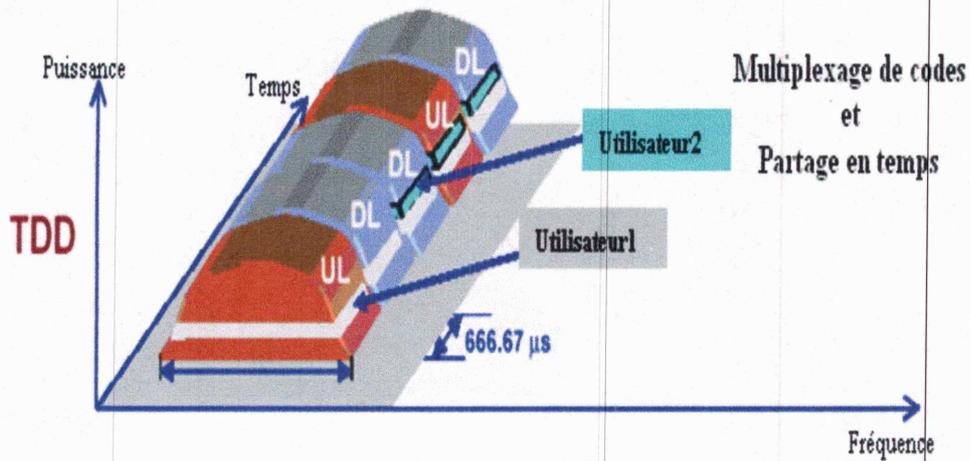


Figure III.3 : Mode TDD.

L'inconvénient du FDD est la sous-utilisation de spectre dû à l'écart duplex nécessaire afin de séparer les liens montant et descendant. En outre, on alloue la même quantité de spectre aux liens ce qui n'est pas adapté aux applications présentant des débits asymétriques. Donc le TDD est mieux adapté pour de telles applications car il permet une allocation asymétrique de ressources aux deux liens [21].

Le tableau (III. 1) présente les caractéristiques de chacune de ces deux techniques [28].

	Mode TDD	Mode FDD
Accès Multiple	TD-CDMA	W-CDMA
Débit chip	3.84 Mchip/s	3.84 Mchip/s
Structure de trame	15 IT par trame	15 IT par trame
Durée trame	10 ms	10 ms
Modulation	QPSK	QPSK
Facteur d'étalement	1 à 16	4 à 512
Périodicité du contrôle de puissance(Hz)	1500Hz	100 à 750 Hz
Codage de canal	Convolutionnel (1/2 ou 1/3) ou turbo codes	Convolutionnel (1/2 ou 1/3) ou turbo codes
Espacement entre porteuse	4,4 à 5 MHz avec un pas de 200 kHz	5 MHz

Tableau III.1 : Caractéristiques des modes d'accès.

III.4 Contrôle de puissance en WCDMA :

Le contrôle de puissance rapide est sans doute l'aspect le plus important du WCDMA. Sans lui, un seul mobile émettant à une puissance trop élevée pourrait empêcher à tous les autres mobiles de la cellule de communiquer, puisque plusieurs utilisateurs différents émettent dans la même bande de fréquence et que la même fréquence peut être employée en principe dans chaque cellule. Chaque utilisateur peut être une source d'interférence pour les autres.

Il est donc primordial de mettre en œuvre un mécanisme qui garantit qu'au niveau de la station de base, la puissance des signaux issus de n'importe quel mobile soit identique à tout instant.

La solution retenue en WCDMA est le contrôle de puissance rapide en boucle fermée (figure III.4). Ce contrôle de puissance est utilisé en Uplink, il est basé sur le principe suivant: la station de base réalise des estimations fréquentes du rapport signal à interférence (SIR, Signal-to-Interference Ratio) et les compare à la valeur SIR cible. Si la valeur estimée est supérieure à la valeur cible, la station de base envoie une commande sur le canal descendant au mobile pour lui demander de réduire la puissance d'émission. A l'inverse, si elle est inférieure, il sera demandé au mobile d'augmenter sa puissance d'émission. Cette opération est normalement réalisée 1500 fois par seconde pour chaque mobile (soit une fréquence de 1.5 KHz). Cette fréquence élevée permet de prendre en compte n'importe quelle variation d'affaiblissement. Ce contrôle de puissance permet d'assurer que tous les signaux provenant des mobiles d'une cellule sont reçus par la station de base avec une même puissance [17].

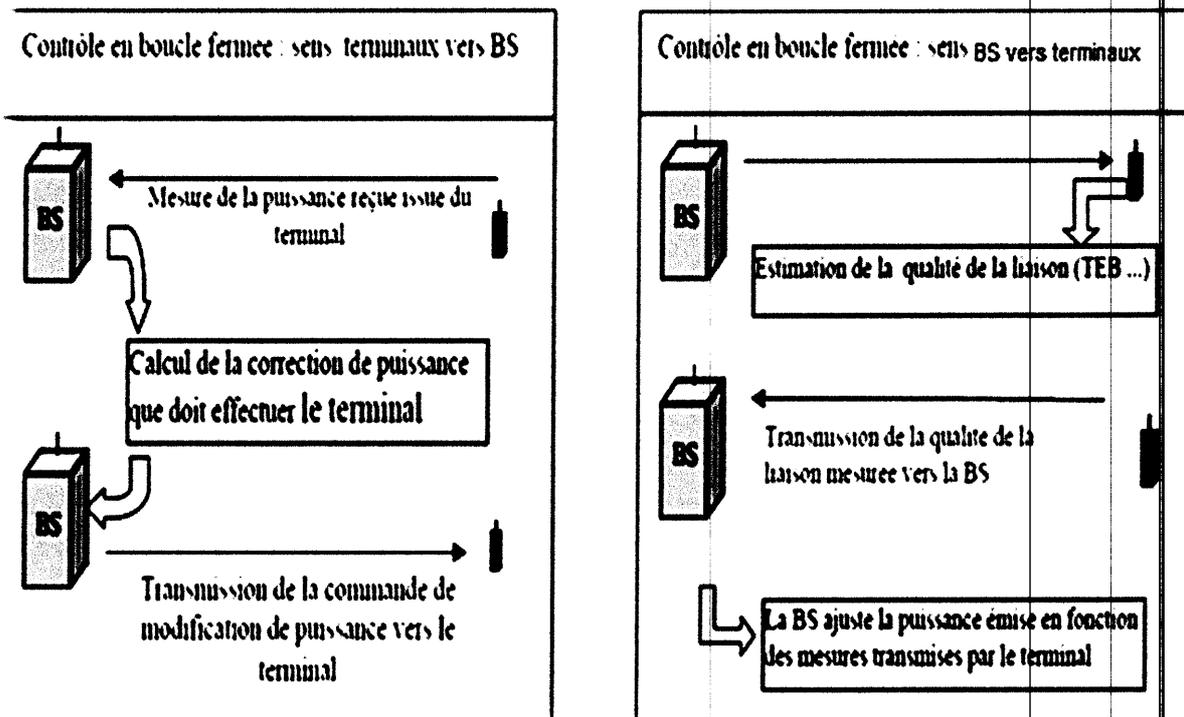


Figure III.4 : Principe du contrôle de puissance en boucle fermée.

La figure (III.5) illustre ce phénomène de near-far. En effet, nous avons 3 équipements mobiles qui sont connectés à la même station de base. Cependant, du fait de leur distance à celle-ci, leur puissance est différente à l'arrivée du signal à la station de base.

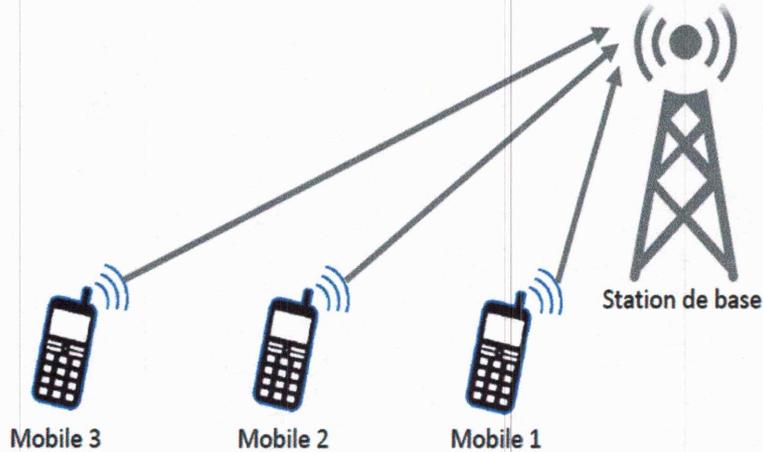
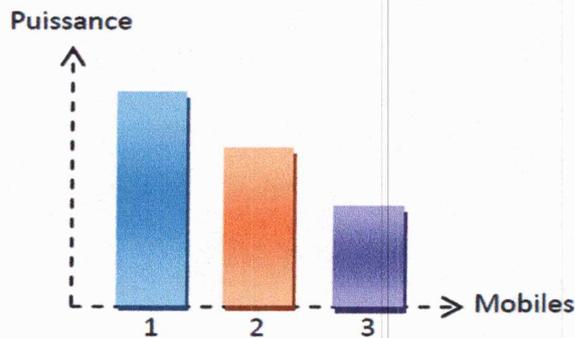


Figure III.5 : Effet near-far.

Les figure (III.6) et (III.7) présentent respectivement les puissances reçues par la station de base sans et avec contrôle de puissance :



$$\text{Puissance Mobile 1} > \text{Puissance Mobile 2} > \text{Puissance Mobile 3}$$

Figure III.6: Comparaison des puissances sans contrôle de puissance.



$$\text{Puissance Mobile 1} = \text{Puissance Mobile 2} = \text{Puissance Mobile 3}$$

Figure III.7 : Comparaison des puissances avec contrôle de puissance.

III.5 Le Handover :

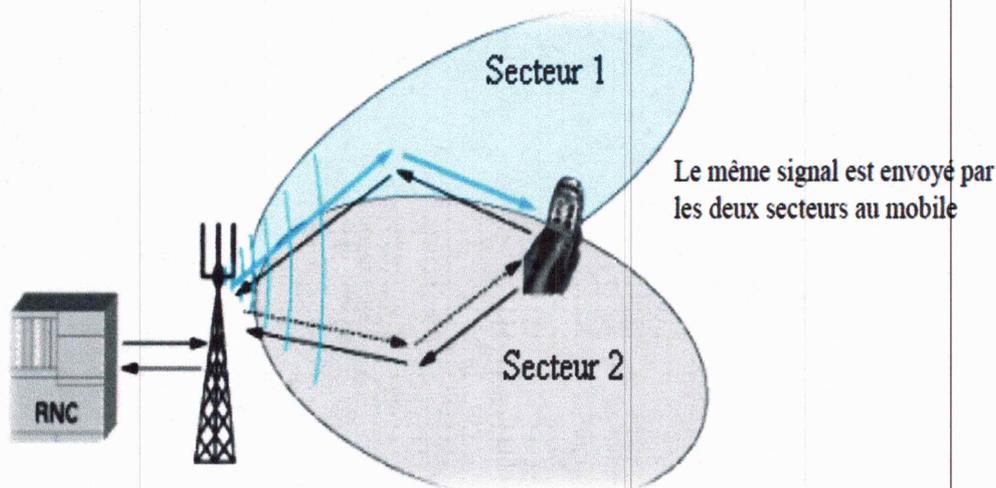
Dans un système WCDMA, on distingue le cas où le mobile reste dans la zone couverte par une station de base en changeant juste de secteur (softer handover) et le cas où il change de station de base (soft handover).

➤ Softer handover :

Durant le softer handover, le mobile étant en communication avec une seule station de base, il utilise simultanément deux canaux radio.

Dans le sens descendant, deux codes d'étalement sont activés pour que le mobile distingue les signaux issus des deux secteurs.

Dans le sens montant, les signaux émis par le mobile sont reçus par les deux secteurs de la station de base et dirigés vers le même récepteur. Ils sont donc combinés au niveau de la station de base, comme montré sur la figure suivante :



Downlink : codes différents par secteur.
 Uplink : combinaison au niveau de la station de base.
 Une seule procédure de contrôle de puissance

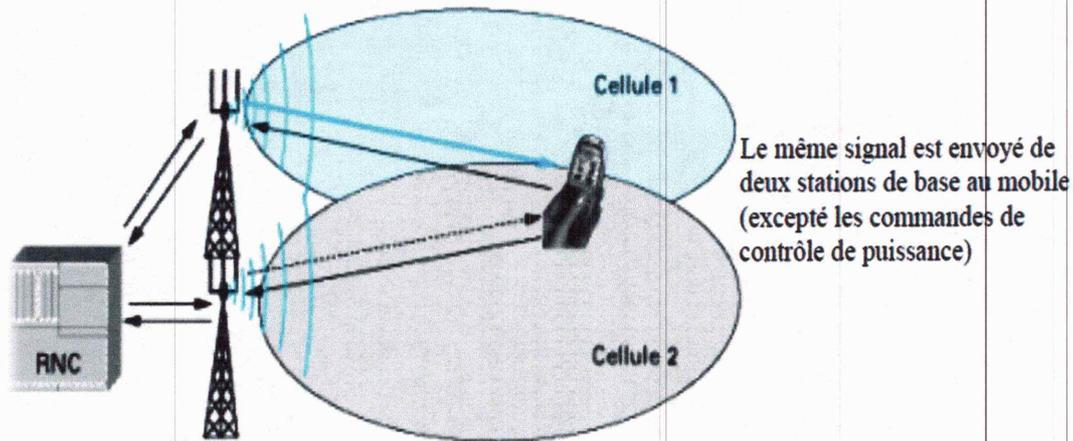
Figure III.8 : Principe du softer handover.

➤ Soft handover :

Le mobile est cette fois dans la zone de couverture qui est commune à deux stations de base. Les communications utilisent deux canaux différents, un pour chacune des deux stations. Du côté du mobile, il n'y a pas de différence avec un softer handover.

Dans le sens montant, par contre, les données sont combinées au niveau du contrôleur de réseau radio (RNC) et non plus au niveau de la station de base. Cela permet de sélectionner la meilleure trame parmi celles qui sont reçues, après chaque période d'entrelacement, toutes les 10 ms à 80 ms.

Notons qu'à l'inverse du softer handover, durant le soft handover deux procédures de contrôle de puissance sont actives au même instant pour un mobile (figure III.9).



Downlink : codes différents par secteur.

Uplink : combinaison au niveau du réseau radio, par trame.

Une procédure de contrôle de puissance différente pour chaque site radio.

Figure III.9 : Principe du soft handover.

Il existe deux autres types de handover:

- Les hard handovers inter-fréquence permettant à un mobile de passer d'une fréquence WCDMA à une autre.
- Les hard handovers inter-systèmes permettant à un mobile de passer d'un système à un autre, comme du WCDMA en mode FDD au TD-CDMA en mode TDD ou au GSM.

III.6 Étalement de spectre :

L'étalement de spectre est une technique qui permet de transmettre un signal d'information sur une largeur de bande plusieurs fois supérieure à la largeur de bande minimale que le signal demande. Pour cette raison, l'étalement de spectre est aussi considéré comme une forme de modulation. Dans un système à étalement de spectre, le signal transmis est « étalé » à partir d'un code indépendant du message d'information. Après s'être synchronisé avec l'émetteur, le récepteur doit utiliser ce même code pour « désétaler » le signal et pouvoir par la suite récupérer le message d'information.

Les techniques d'étalement de spectre sont des méthodes par lesquelles l'énergie générée à une ou plusieurs harmoniques est délibérément étalée, ou distribuée dans le domaine des fréquences ou le domaine du temps. Cette technique diminue le risque d'interférences avec d'autres signaux reçus tout en garantissant une certaine confidentialité. L'étalement de spectre utilise généralement une séquence ressemblant à du bruit pour étaler le signal de bande étroite en un signal de relative large bande. Le récepteur régénère le signal original en corrélant le signal reçu avec une réplique de cette séquence.

L'étalement de spectre (Spread Spectrum) est une technique par laquelle plusieurs utilisateurs peuvent être présents simultanément sur une même bande de fréquence. Son principe est schématisé par la figure (III.10) suivante :

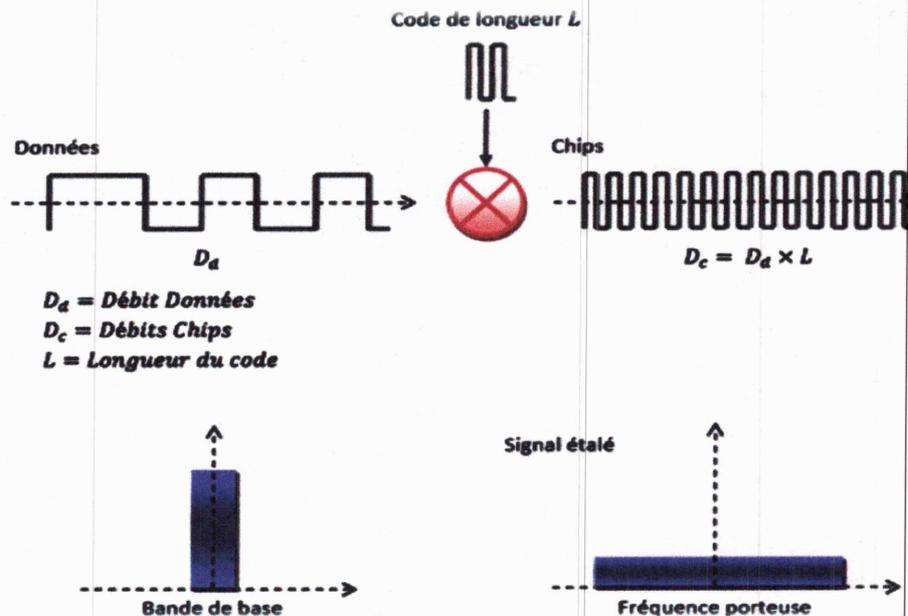


Figure III.10 : Synoptique de l'étalement de spectre [19].

III.6.1 Techniques d'étalement de spectre:

L'étalement spectral peut être soit à sauts de fréquence (FH: Frequency Hopping), soit par séquence directe (DS: Direct Séquence) ou bien à sauts de temps, mais cette dernière technique n'est pas très répandue.

III.6.1.1 Etalement par saut de fréquence :

L'étalement de spectre avec saut de fréquence FH-SS (Frequency Hopping Spread Spectrum) est une technique d'étalement de spectre basée sur le saut de fréquence, dans laquelle la bande est divisée en canaux ayant chacun une largeur de bande fixe. Pour transmettre des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur une séquence de sauts précise qui sera effectuée sur ces sous-canaux.

Dans un système FH-SS, la fréquence porteuse saute littéralement d'une fréquence porteuse à une autre suivant une séquence unique connue exclusivement par l'émetteur et le récepteur concerné. Celle-ci est définie de manière optimale de façon à minimiser les probabilités de collision entre plusieurs transmissions simultanées. Si une station ne connaît pas la séquence de saut des canaux, elle ne peut récupérer les données, car elle ne reçoit qu'un bruit de fond. Cette technique était utilisée auparavant par les militaires pour sécuriser leurs transmissions.

Pour transmettre les données, le FH-SS les transforme en un ensemble de signaux, appelés symboles, représentant chacun un ou plusieurs bits de données. Ces signaux sont ensuite

modulés par le biais de la technique de modulation GFSK (Gaussian Frequency Phase Keying), grâce à laquelle un débit entre 1 et 2 Mbits/s peut être atteint [10].

Dans cette technique, l'étalement peut s'établir selon deux modes : soit par saut lent de fréquence (SFH : Slow Frequency Hopping) qui consiste à effectuer un saut à chaque bit de données. Soit par saut rapide de fréquence (FFH : Fast Frequency Hopping) où on fait un saut de fréquence au niveau de chaque chip. Le facteur d'étalement spectral pour cette technique est alors défini comme le nombre de sous-canaux de fréquence utilisés [25].

III.6.1.2 Etalement par séquence directe :

C'est la forme la plus fréquente de l'étalement spectral; elle consiste à moduler de manière pseudo-aléatoire chaque bit par une séquence temporelle beaucoup plus rapide [25].

Le WCDMA faisant appel au DS-SS-SSM. Il s'agit de multiplier au sens mathématique du terme (OU exclusif) chaque bit à transmettre par un code pseudo-aléatoire PN (Pseudo Random Noise code) propre à chaque utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour un utilisateur donné, et constitue la clef de codage ; elle est conservée si le symbole de donnée valait 1, inversée sinon.

On appelle facteur d'étalement SF (Spreading Factor) la longueur N du code. Si chaque symbole a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/N secondes. Le nouveau signal modulé a un débit N fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences N fois plus étendue. La relation entre le débit initial et final est donc :

$$\text{Débit Chip} = \text{Débit Bit} * \text{SF} \quad (\text{III.1})$$

Ainsi plus SF est grand, plus le débit chip (de l'ordre de 3.84 Mcp/s pour le WCDMA) est grand, et plus le débit de données du canal sera élevé. Cela permet de dégager des canaux à débits variables selon les besoins des utilisateurs (bandwidth on demand). Le signal résultant occupe alors une bande très importante [28, 29].

❖ Principes du DS-SS-SSM

Dans un système DS-SS-SSM, le signal d'information est directement modulé par une séquence. En réalité, cette séquence est un code qui possède des propriétés statistiques particulières comme nous allons le montrer ci-après. Dans la (figure III.11) nous décrivons un exemple simple pour expliquer les principes de l'étalement de spectre. Nous supposons que la longueur du code d'étalement est de huit. Comme la figure (III.8) la montre, dans l'émetteur le signal d'information des utilisateurs 1 et 2 est étalé avec un code d'étalement unique pour chaque utilisateur (nous appelons le débit du signal d'information « débit symbole » et le débit de signal étalé « débit chip »). En fait, la séquence de données après l'étalement a un débit très supérieur à celui du débit avant l'étalement. Après étalement, les chips des utilisateurs 1 et 2 sont additionnées pour générer un signal mixte (multiplexage) et transmis sur le canal radio. Dans le récepteur, le signal est multiplié par le même code d'étalement utilisé dans l'émetteur. Le fait de

multiplier le signal reçu par la même séquence permet de ne garder que le signal d'information. Cette procédure de désétalement n'est possible que si le récepteur est parfaitement synchronisé temporellement avec l'émetteur. Après la multiplication, les signaux sont intégrés sur la durée du symbole pour récupérer le signal d'information.

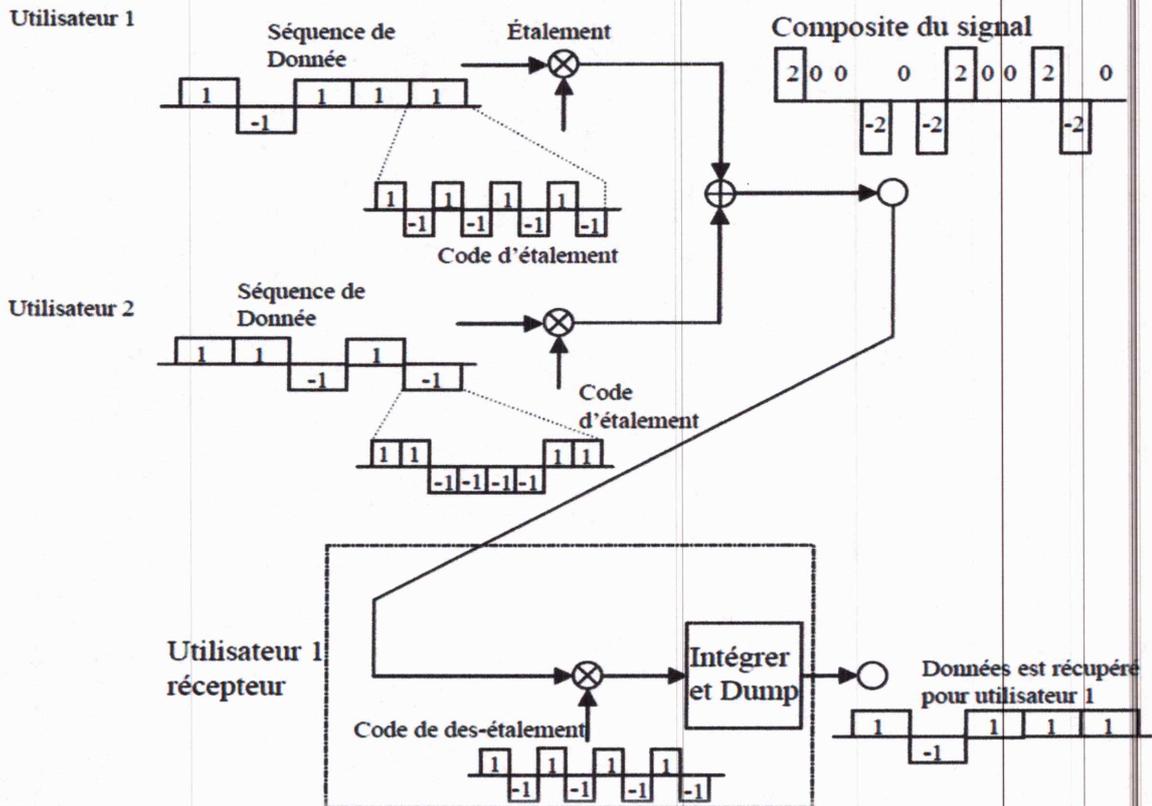


Figure III.11 : Exemple d'étalement et désétalement de spectre.

De plus, une représentation visuelle de l'étalement et le désétalement des signaux de deux utilisateurs est très bien illustrée par la figure (III.12) suivante :

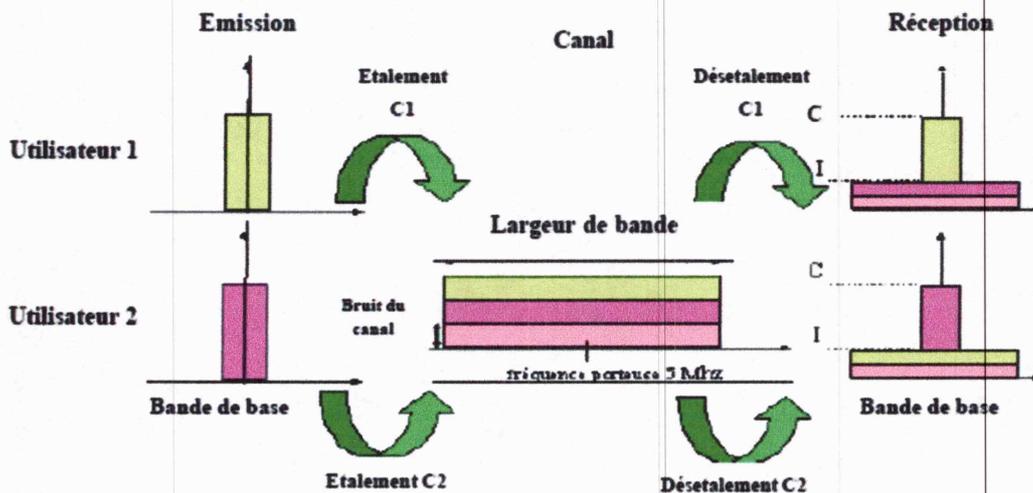


Figure III.12 : Etalement et désétalement des signaux de deux utilisateurs.

Pour notre système DS-CDMA, si nous utilisons, par exemple, la modulation en phase (BPSK) avec des séquences de codes pseudo-bruit bipolaires prenant des valeurs de l'ensemble $\{\pm 1\}$ pour l'étalement spectral, chaque utilisateur est indépendant l'un de l'autre. Le signal transmis par le $k^{\text{ième}}$ utilisateur est :

$$S_k(t) = \sqrt{2S_k} C_k(t) d_k(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_k) \quad (\text{III.2})$$

Où $S_k = \frac{E_b}{T_s}$ est la puissance moyenne.

d_k : Impulsion rectangulaire de durée T_s (symbole).

C_k : Impulsion rectangulaire de durée T_c (chip).

f_c : Fréquence de la porteuse.

θ_k : Déphasage initial du signal.

$T_s = NT_c$ Où N est la période (longueur) de la séquence.

Généralement, nous supposons que $C_k(t)$ et $d_k(t)$ sont respectivement le code numéro $\ll k \gg$ d'un utilisateur et le symbole d'information numéro $\ll k \gg$. Ils sont donnés par les expressions suivantes :

$$d_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_k(i) u\left(\frac{t}{T_s} - i\right) \quad (\text{III.3})$$

$$C_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} P_k(i) u\left(\frac{t}{T_c} - i\right) \quad (\text{III.4})$$

Où T_s et T_c sont respectivement la durée de symbole d'information ($B_s = 1/T_s$ s'exprime en symbole par seconde $\ll \text{sps} \gg$) et la durée de Chip ($B_{\text{spr}} = 1/T_c$ s'exprime en chips par seconde $\ll \text{cps} \gg$).

Le signal reçu obtenu quand le canal est bruité par un bruit blanc Gaussien (AWGN) de moyenne nulle est représenté par l'expression suivante:

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sqrt{2S_k} \sum_{l=0}^{L_k} \xi_{k,l}(t) \mathcal{E}_k(t - \tau_{k,l}) d_k(t - \tau_{k,l}) + w(t) \quad (\text{III.5})$$

Nous supposons que K est le nombre d'utilisateurs pour la voie montante et L_k est le nombre de trajets multiples pour les utilisateurs k ($k = 0, 1, 2, \dots, K-1$). Notons que chaque trajet a un temps de retard différent.

Où S_k : La puissance de transmission de l'utilisateur k .

$\xi_{k,l}$: Le gain complexe du canal pour l'utilisateur k .

$w(t)$: Le bruit additif Gaussien.

Si on prend comme exemple le trajet numéro 0 de l'utilisateur numéro 0. Le signal reçu, « $r(t)$ » sera multiplié par le code d'étalement utilisé en émission pour l'utilisateur 0 (le conjugué du code d'étalement convenablement aligné). Cette procédure de désétalement n'est possible que si le récepteur est parfaitement synchronisé en temps avec l'émetteur. Pour simplifier, nous supposons la relation suivante :

$$0 \leq \tau_{0,0} \leq \tau_{k,l} \leq T_s \quad (\text{III.6})$$

En prenant en compte uniquement le trajet 0 de l'utilisateur 0, le symbole m désétalement sera donné par l'expression suivante :

$$Z_{0,0}(t) = \frac{1}{T_s} \int_{mT_s + \tau_{0,0}}^{(m+1)T_s + \tau_{0,0}} r(t) c_0^*(t - \tau_{0,0}) dt \quad (\text{III.7})$$

Le résultat de cette intégration est donné par l'expression :

$$Z_{0,0}(t) = \frac{1}{T_s} \int_{mT_s + \tau_{0,0}}^{(m+1)T_s + \tau_{0,0}} \left[\sum_{l=0}^{L_k} \xi_{k,l}(t) c_k(t - \tau_{k,l}) d_k(t - \tau_{k,l}) + w(t) \right] c_0^*(t - \tau_{0,0}) dt \quad (\text{III.8})$$

$$Z_{0,0}(t) = A + B + C + D \quad (\text{III.9})$$

A est la séquence de signal d'information qui a été transmise, donnée par l'expression suivante :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{T_s} \int_{mT_s + \tau_{0,0}}^{(m+1)T_s + \tau_{0,0}} \sqrt{2S_0} \xi_{0,0}(t) c_0(t - \tau_{0,0}) d_0(t - \tau_{0,0}) c_0^*(t - \tau_{0,0}) dt \\ &= \sqrt{2S_0} \xi_{0,0}(m) d_0(m) \end{aligned} \quad (\text{III.10})$$

B est l'interférence entre les trajets multiples du signal d'un utilisateur de canal (MultiPath Interference, MPI), donnée par l'expression suivante :

$$B = \sqrt{\frac{2S_0}{T_s}} \sum_{l=1}^{L_0-1} \left[\xi_{0,l}(m-1) d_0(m-1) \int_{mT_s + \tau_{0,l}}^{mT_s + \tau_{0,l} + T_s} c_0(t - \tau_{0,l}) c_0^*(t - \tau_{0,0}) dt + \xi_{0,l}(m) d_0(m) \int_{mT_s + \tau_{0,l}}^{(m+1)T_s + \tau_{0,0}} c_0(t - \tau_{0,l}) c_0^*(t - \tau_{0,0}) dt \right] \quad (\text{III.11})$$

C est l'interférence produite par l'accès multiple du signal (Multiple Access Interference, MAI). Nous pouvons la définir par l'expression suivante :

$$C = \sum_{k=1}^{K-1} \left[\frac{\sqrt{2S_0}}{T_s} \sum_{l=0}^{L_k-1} \xi_{kl}(m-1) d_k(m-1) \int_{mT_s+\tau_{k,l}}^{mT_s+\tau_{k,l}} c_k(t-\tau_{k,l}) c_0^*(t-\tau_{0,0}) dt + \xi_{kl}(m) d_k(m) \int_{mT_s+\tau_{k,l}}^{(m+1)T_s+\tau_{k,l}} c_0(t-\tau_{0,l}) c_0^*(t-\tau_{0,0}) dt(m) \right] \quad (III.12)$$

Le dernier terme D montre la composante de bruit, donnée par l'expression suivante :

$$D = \frac{1}{T_s} \int_{mT_s+\tau_{0,0}}^{(m+1)T_s+\tau_{0,0}} w(t) c_0^*(t-\tau_{0,0}) dt \quad (III.13)$$

Dans un environnement avec évanouissement (où il y a beaucoup de trajets multiples, comme en zone urbaine), il est difficile d'empêcher l'interaction entre les codes d'étalement assignés aux utilisateurs, c'est-à-dire qu'il est difficile de réaliser l'orthogonalité parfaite surtout dans la voie montante. Donc, comme le montre l'expression [III.9] le désétalement est affecté par l'interférence entre les trajets d'un utilisateur (B) et l'interférence entre les utilisateurs (C). En fait, si le nombre d'utilisateurs communiquant en même temps sur la même bande de fréquence augmente, la puissance de l'interférence augmente. La puissance de l'interférence est déterminée par le rapport « signal sur interférence » (SIR, Signal-to-Interference Power Ratio) ou par le taux d'erreur dans un bloc (BLE, BLock Error Rate), ce qui signifie que le nombre d'utilisateurs qui peuvent communiquer dans un système de communication dépend de SIR et de BLE.

III.6.1.3 Etalement par saut de temps :

L'étalement par saut de temps consiste à diviser la durée de la transmission en plusieurs intervalles de temps de durée T, et chacun est segmenté en plusieurs créneaux de temps de durée $T_c = \frac{1}{f_s}$ où f_s est la fréquence de la séquence PN. Pour qu'il y ait étalement, le nombre de créneaux dans un intervalle de temps de durée T doit être beaucoup plus grand que le nombre de bits à transmettre dans ce même intervalle [25].

III.6.2 Codes d'étalement :

Avec le réseau UMTS l'opérateur cherche à offrir aux utilisateurs plusieurs services avec des débits variables et des taux d'erreurs faibles. Pour cela, il faut utiliser un groupe de codes d'étalement, ces derniers peuvent être divisés en deux groupes :

- Les codes de canalisation.
- Les codes d'embrouillage.

III.6.2.1 Codes de canalisation :

Les codes de canalisation permettent essentiellement de transformer les données en un nombre de chips.

En liaison descendante (DL), les codes de canalisation permettent de distinguer entre les utilisateurs d'une même cellule, c'est-à-dire un code par utilisateur.

En liaison ascendante (UL), ils permettent de distinguer données et contrôle d'un même utilisateur. En mode downlink, on a intérêt à utiliser des séquences d'étalements orthogonaux. En effet, il n'y aura pas de désynchronisation temporelle des séquences entre elles et l'orthogonalité pourrait être conservée. Cependant, les multi-trajets du canal de propagation vont en partie détruire cette propriété d'orthogonalité. Le problème consiste malgré cela à identifier un jeu de séquences d'étalement orthogonales alors qu'elles sont de longueurs différentes. L'UMTS propose alors une technique appelée OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor). Il s'agit simplement d'un algorithme de choix de séquences sur un arbre de Hadamard. Ces codes sont de longueur variable ce qui permet d'avoir différents SF variant entre 4 et 256 en UL et 4 et 512 en DL. De ce fait, différents débits peuvent être assurés.

La figure (III.13) représente un arbre qui définit la longueur du code pour un certain facteur d'étalement.

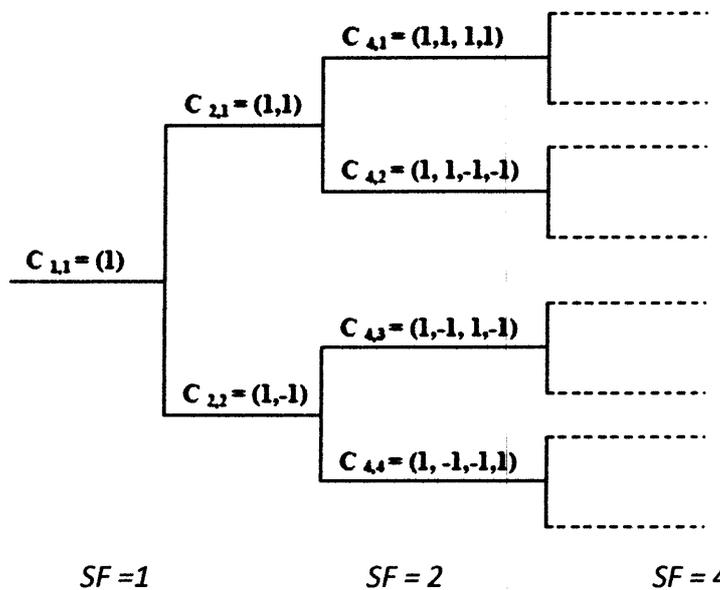


Figure III.13: Arbre de génération des codes OVSF.

La longueur du code d'étalement est inversement proportionnelle au débit utilisateur.

Un mobile ne peut pas utiliser tous les codes canaux simultanément. Lorsqu'une séquence correspondant à une branche de l'arbre est retenue, toutes les séquences des branches émanant de cette branche sont interdites. Cette technique réduit le nombre de séquences possibles mais permet ainsi d'assurer le maintien de l'orthogonalité entre séquences de longueurs différentes.

Ainsi, pour chaque communication, le réseau alloue un code de canalisation au mobile pour la transmission de son canal montant DPCCCH et au moins un code de canalisation pour la transmission de son canal montant DPDCH.

III.6.2.2 Codes d'embrouillage :

Le scrambling (embrouillage) ne provoque pas d'étalement, il s'agit simplement d'une multiplication chip à chip d'un signal étalé par une séquence dite de scrambling (figure III.14)

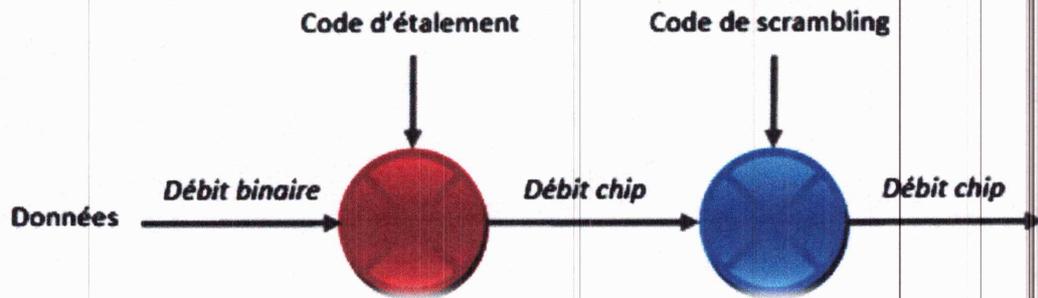


Figure III.14 : Mécanisme de scrambling.

Pour le scrambling uplink, il existe 2^{24} codes. Ces codes ou séquences, vont donc séparer les mobiles entre eux, ils sont attribués par les couches hautes du réseau.

On a deux types de codes : les codes longs (des portions de séquences de Gold) et les codes courts. Ces derniers sont utilisés dans le cas de détection multi-utilisateurs au niveau de la station de base. Le premier type est utilisé dans le cas de détection mono-utilisateur. Actuellement, les codes d'embrouillage courts de longueur 256 chips sont utilisés puisque la station de base est équipée d'un annuleur d'interférences ou d'un détecteur multi-utilisateurs.

Pour le scrambling downlink, il existe 2^{13} codes qui vont permettre de séparer les stations de base entre elles. Chaque station de base peut scrambler les données d'un utilisateur avec une séquence parmi un jeu de 512 mises à sa disposition. Ces codes sont des portions de séquences de Gold; ces portions ont une longueur de 38400 bits et leur période est donc de 10 ms (durée de la trame UMTS) [30].

III.7 Simulations et résultats :

III.7.1 Exemple d'étalement du spectre dans le cas d'un seul utilisateur :

Afin de simuler l'étalement spectral dans le cas d'un seul utilisateur, les données d'entrée de l'utilisateur sont obtenues à partir d'un générateur aléatoire des entiers, suivi d'une modulation numérique BPSK. La séquence obtenue est multipliée par une séquence pseudo-aléatoire (Hadamard Code Generator), qui constitue le code d'étalement avec un facteur d'étalement SF variable par exemple 64. Le signal résultant parcourt un canal AWGN avec un SNR variable, puis reçu par le récepteur où les opérations inverses seront appliquées avec un ordre inversé par rapport aux opérations de l'émetteur. Comme mesure de performance, un bloc de calcul du taux d'erreurs binaires (BER) est utilisé. Les paramètres utilisés dans chaque bloc du système complet sont :

La source du signal dans ce cas est le bloc « **Random Integer** », qui génère une séquence binaire aléatoire. Où on a fixé « **M-ary number = 2** » et un nombre arbitraire plus grand que 30 pour le paramètre « **Initial Seed** », par exemple 37 durant la simulation. Et (1/19200) pour le paramètre « **Sample Time** ».

Le bloc de générateur du code de Hadamard «**Hadamard Code Generator**» produit un code à partir d'une matrice de Hadamard, dont les lignes forment un ensemble de codes orthogonaux. On a fixé «**Code length =64**», la valeur 60 pour «**Code index**» et pour «**Sample time**» une valeur de $(1/(19200*64))$.

Le bloc de «**Real BPSK Modulator**» permet la modulation du signal d'entrée en utilisant la modulation numérique de phase, suivie par une conversion de la sortie complexe en une sortie réelle.

Pour le canal, le modèle AWGN est utilisé avec les paramètres suivants : «**Initial seed=1237**», le rapport signal sur bruit (SNR) = 5 dB.

Le bloc d'intégration du récepteur à corrélation est «**Integrate and Dump**».

Le bloc de calcul du taux d'erreur «**Error Rate Calculation**» et le bloc d'affichage «**Display**» calculent et affichent le taux d'erreur causé par le canal bruité. A noter, qu'il faut choisir la sortie «**Port**» pour le paramètre «**output Data**» du bloc «**Error Rate Calculation**» pour créer un port de sortie.

Avant de lancer la simulation du modèle, on doit sélectionner «**Simulation parameters**» à partir du menu «**Simulation**», et on choisit par exemple inf pour le paramètre «**Stop time**». Après l'exécution du command «**Start**» du menu «**Simulation**», le bloc «**Display**» affiche le taux d'erreurs, le nombre d'erreurs et le nombre total des symboles utilisées. Le taux d'erreurs doit être approximativement 0.03611, comme cette valeur est la probabilité d'erreurs dans le canal. En observant le déroulement de la simulation, on peut stopper la simulation à n'importe quel moment par la commande «**Stop**» du menu «**Simulation**», mais généralement dans le bloc BER on choisit de stopper la simulation de tous les modèles avec un «**Target number of errors = 100**» et «**Maximum number of symbols = 1e6**», pour avoir les mêmes conditions de simulation pour tous les cas.

Un exemple des résultats est illustré dans la figure (III.15) :

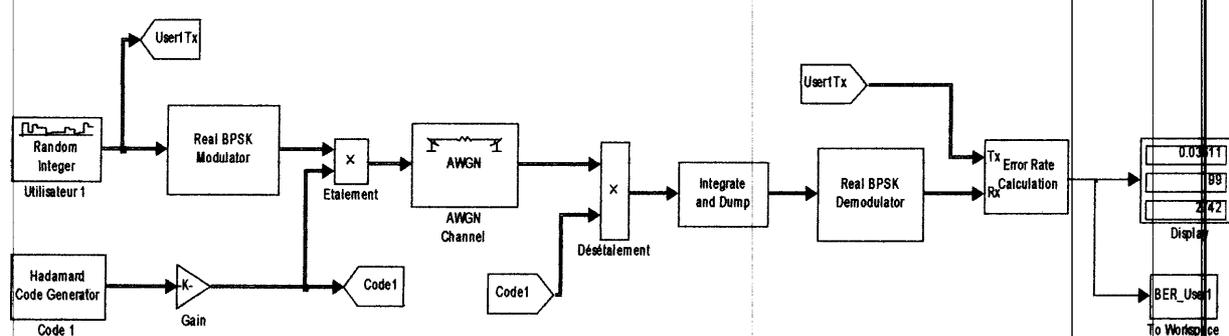


Figure III.15 : Modèle Simulink simple de l'étalement de spectre.

Pour étudier l'influence du rapport signal sur bruit sur la qualité de la transmission numérique dans ce cas, on a fait varier le rapport SNR de 0 dB à 10 dB et les résultats obtenus sont présentés sur la figure (III.16). On remarque que plus le SNR augmente le taux d'erreur binaire (BER) diminue.

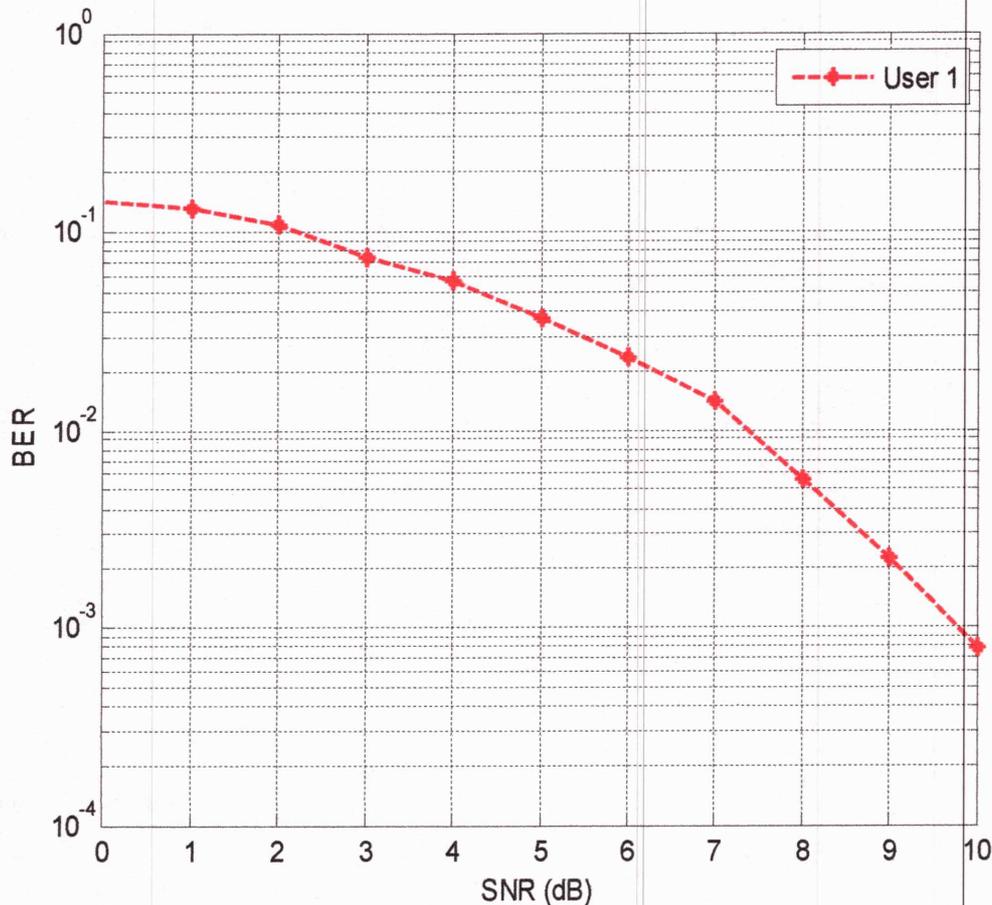


Figure III.16 : Variations du BER vs SNR.

III.7.2 Exemple d'étalement du spectre dans le cas de deux utilisateurs :

Dans le modèle suivant (figure III.17), deux utilisateurs transmettent en même temps, le signal combiné résultant passe par le même canal de transmission. Au niveau du récepteur, le désétalement par les deux codes de Hadamard permet la séparation des deux utilisateurs. Pour les mêmes données et les mêmes paramètres du canal, on compare les performances du système de transmission dans le cas de deux utilisateurs par rapport au cas d'un seul utilisateur. On remarque que pour l'utilisateur 1, le taux d'erreur binaire est exactement le même ($BER=0.03611$) dans les deux cas. Ceci montre qu'un désétalement idéal est possible dû aux propriétés idéales d'autocorrélation des codes sélectionnés (Hadamard).

Pour étudier l'influence du rapport signal sur bruit sur la qualité de la transmission numérique dans le cas de deux utilisateurs, on a fait varier le rapport SNR de 0 dB à 10 dB et les résultats obtenus sont présentés sur la figure (III.18). On remarque que plus le SNR augmente le taux d'erreur binaire (BER) diminue, mais les performances sont identiques soit pour un seul utilisateur ou pour deux utilisateurs.

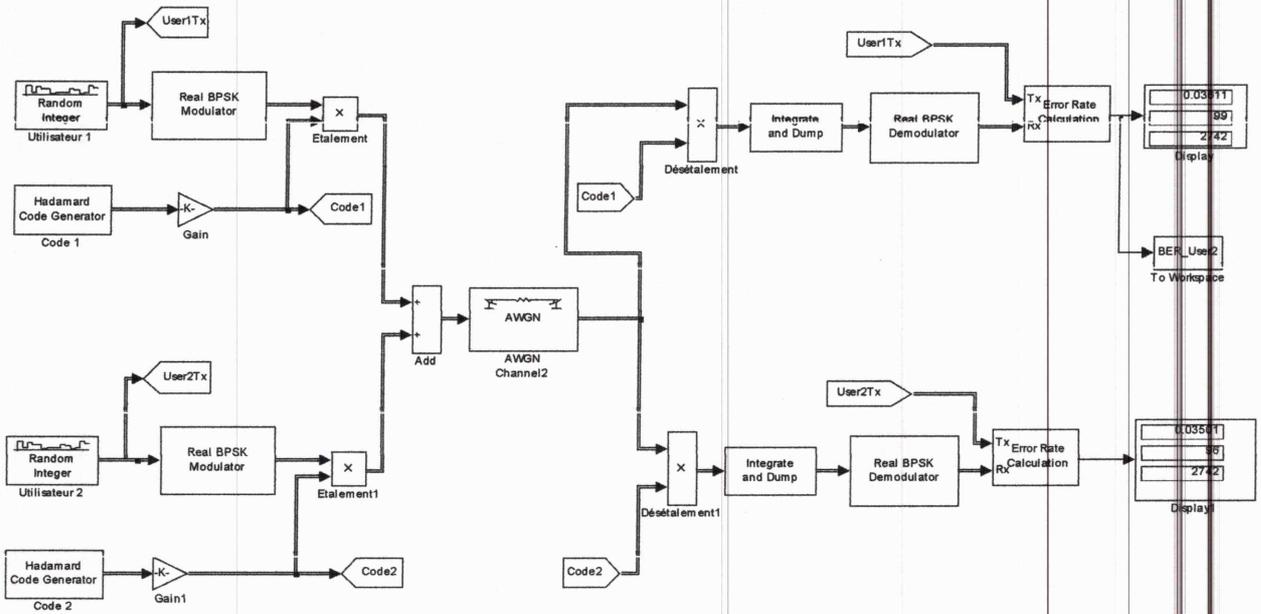


Figure III.17 : Chaine de transmission avec étalement de spectre, cas de deux utilisateurs.

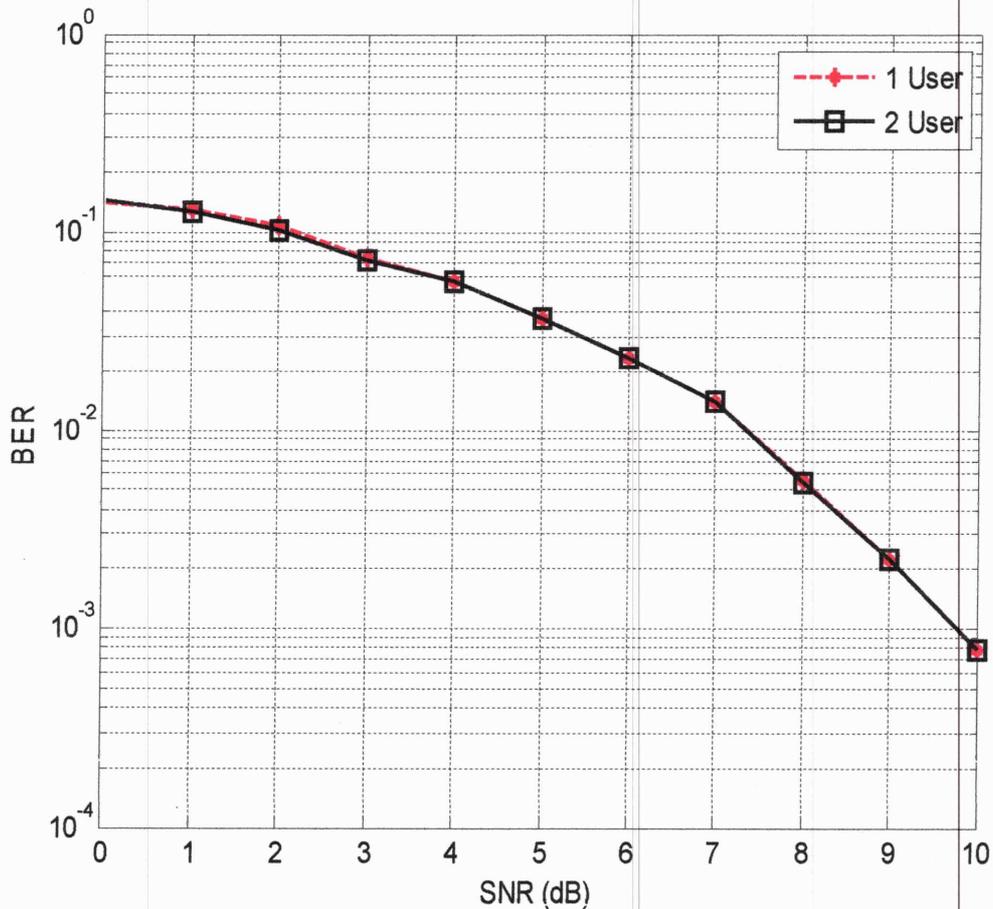


Figure III.18 : BER vs SNR, cas de deux utilisateurs.

III.7.3 Modèle d'étalement du spectre, cas d'un seul utilisateur avec multi-trajets :

Le modèle présenté dans la figure (III.19) est un exemple d'un système de transmission numérique, cas d'un seul utilisateur avec plusieurs trajets pour le signal transmis. Cette situation est fréquente dans les communications mobiles où les signaux sont reçus à partir de plusieurs trajets, avec différentes amplitudes et différents retards. Le modèle du canal dans ce cas est celui par exemple de (Multipath Rayleigh Fading Channel). Un nombre de trois trajets et de « path delays = [0 3 5] » ont été choisis lors de la simulation.

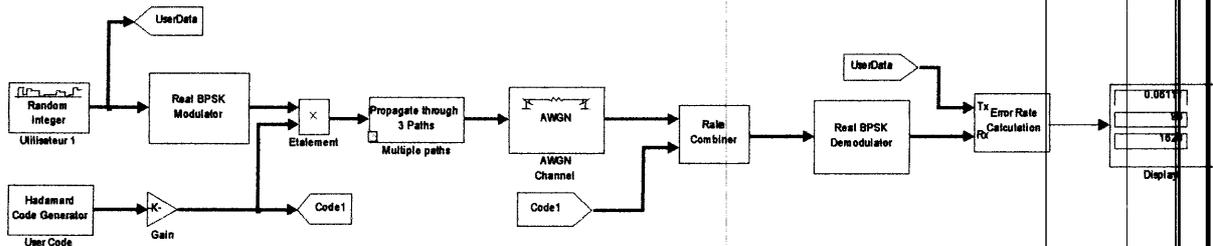


Figure III.19 : Etalement du spectre, cas d'un seul utilisateur avec multi-trajets.

Un modèle simple d'un récepteur RAKE (figure III.20) a été utilisé où le nombre de trajets et leurs retards sont supposés connus, qui va faire la compensation du déphasage des différents signaux reçus selon différents trajets et il est nommé « **Rake Combiner** » dans le modèle Simulink de la figure précédente.

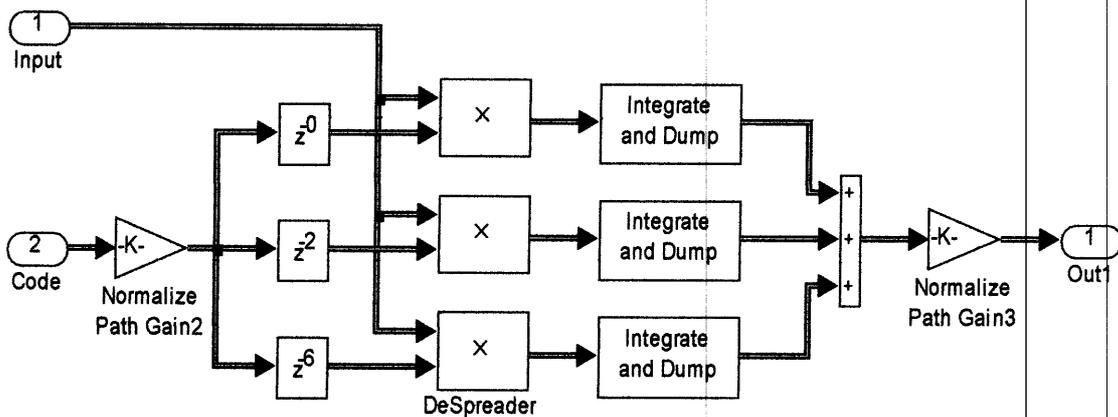


Figure III.20 : Modèle simple du récepteur RAKE.

Avec le même code d'étalement utilisé dans le modèle de la section précédente, on remarque maintenant une diminution des performances comparativement à celles de la section précédente (BER=0.06111 avec BER=0.03611). Cela peut être attribué aux valeurs d'autocorrélation non idéales des codes d'étalement orthogonaux choisis, ce qui empêche la

résolution parfaite des trajets individuels. En conséquence, nous ne voyons pas les avantages de la combinaison des différents trajets.

III.7.4 Modèle d'étalement du spectre avec multi-trajets et une Séquence PN :

Ce modèle est un exemple d'un système d'un seul utilisateur qui utilise une séquence pseudo-aléatoire au lieu du code de Hadamard.

Dans ce cas, pour un canal avec 3 trajets, on observe une amélioration due à la combinaison des différents trajets (BER=0.01708), par rapport à (BER=0.06111). Cela est rendu possible par les propriétés idéales d'autocorrélation de la séquence PN utilisés. Les résultats obtenus peuvent être observés sur la figure (III.21).

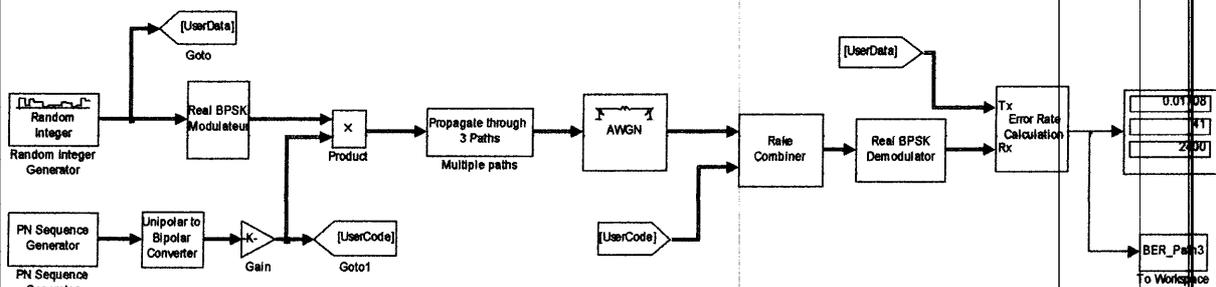


Figure III.21 : Etalement de spectre avec multi trajets, cas d'une séquence PN.

Afin d'étudier l'influence du nombre de trajets sur les performances du système de transmission numérique, nous avons simulé quatre modèles Simulink identiques à celui de la figure (III.21) et la différence est dans les deux blocs : Multiple path et Rake combiner. Ainsi, les cas d'un seul trajet, deux trajets, trois trajets et quatre trajets ont été étudié.

Les résultats de simulation ont été rassemblés et présentés sur la même figure (III.22), on remarque que pour des rapports signal à bruit (SNR) allant de 0 dB à 9 dB, plus le nombre de trajets augmente plus les performances du système diminues (cas 3 et 4 trajets par rapport au cas 1 et 2 trajets).

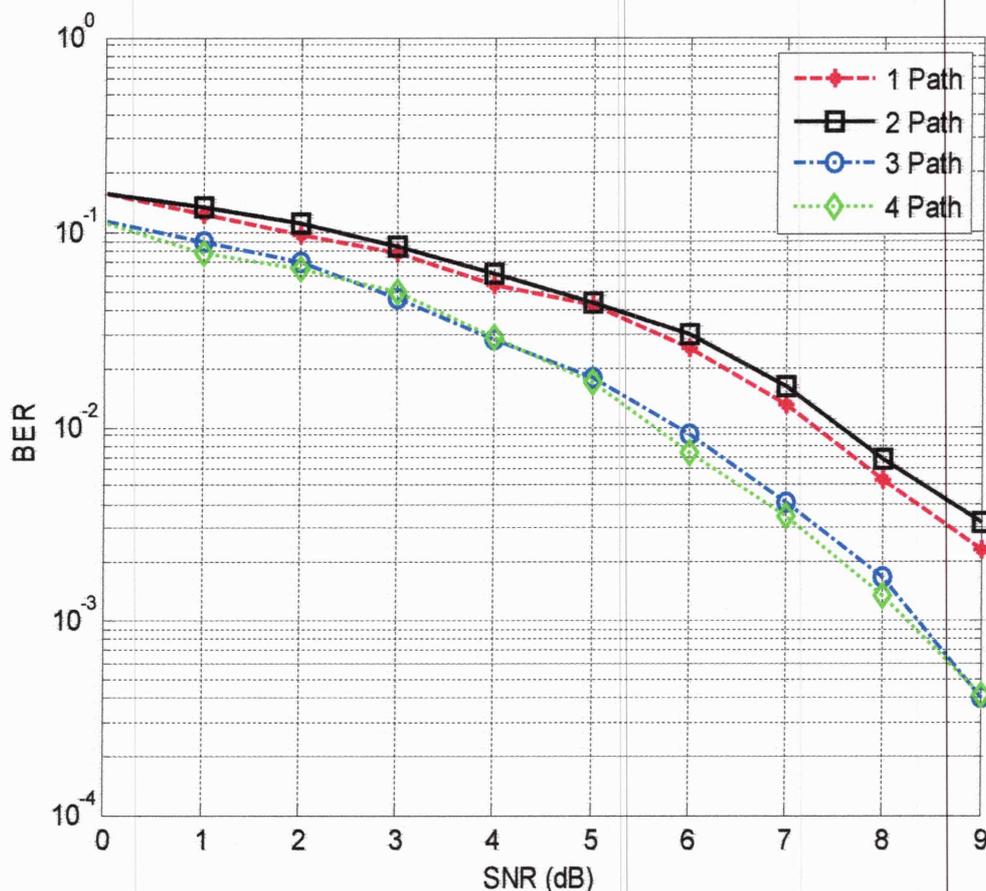


Figure III.22 : BER vs SNR, cas d'un seul utilisateur avec multi-paths.

III.7.5 Modèle d'étalement du spectre, cas de deux utilisateurs avec multi-trajets :

La figure (III.23) présente un modèle d'un système de transmission numérique qui utilise un étalement de spectre avec une séquence pseudo-aléatoire, mais cette fois ci pour une transmission combinée de deux-utilisateur dans le même canal avec trajets multiples. Pour les mêmes données et les mêmes paramètres du canal, on compare les performances du système de transmission dans le cas de deux utilisateurs par rapport au cas d'un seul utilisateur. On remarque que pour un seul utilisateur, le taux d'erreur binaire qui été égale à ($BER=0.01708$) devient ($BER=0.2283$) dans ce cas de deux utilisateurs. Cela est principalement dû aux valeurs élevées d'inter-corrélation entre les deux séquences PN, qui empêchent la séparation idéale au niveau du récepteur.

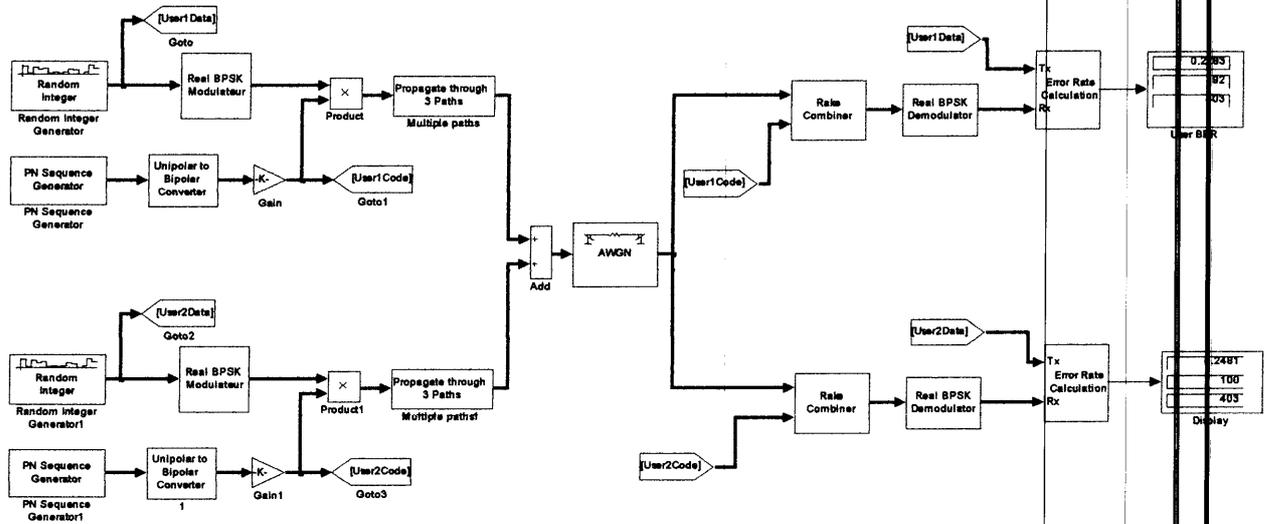
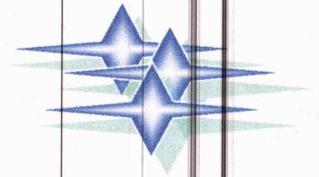


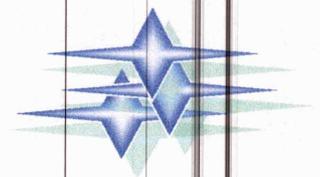
Figure III.23 : Etalement de spectre avec multi trajets, cas de deux utilisateurs.

III.8 Conclusion :

Au cours de ce chapitre, le principe du WCDMA, les multiplexages et le contrôle de puissance ont été étudiés où nous avons vu que le WCDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe. De plus des résultats de simulation confirment l'efficacité de ces techniques dans la plupart des situations rencontrées dans un système de communications mobiles de troisième génération.



*Chapitre IV : Etude et simulation de la
liaison descendante du WCDMA*



Sommaire

IV.1 :	Introduction.....	56
IV.2 :	Protocoles de l'interface radio de l'UMTS.....	56
IV.3 :	Structure générale de la couche physique de la liaison descendante.....	57
	IV.3.1 : Détails des traitements.....	58
	IV.3.2 : Transport des données avec le canal DPCH descendant.....	61
IV.4	Simulations et interprétations.....	62
	IV.4.1 Description du modèle utilisé.....	62
	IV.4.2 Paramètres du modèle et affichage.....	63
	IV.4.3 Résultats de simulation pour différents standards.....	66
IV.5	Conclusion.....	69

IV.1 Introduction :

La couche physique à un impact significatif sur la complexité des équipements notamment en ce qui concerne la puissance de traitement large bande de base des terminaux et des stations de base.

La nature large bande de WCDMA, bien qu'elle possède des avantages dans la mise en place de solution de diversité, pose des problèmes dans son implémentation. Comme les systèmes de troisième génération sont large bande du point de vue des services, la couche physique ne peut être conçue autour d'un seul service, comme la voix, par exemple. Une grande flexibilité est nécessaire pour l'introduction future de nouveaux services.

IV.2 Protocoles de l'interface radio de l'UMTS :

L'interface radio de l'UMTS comprend trois couches :

La couche L1 (couche physique), qui contient les canaux de transport divisés en deux groupes: les canaux dédiés (DTCH), les canaux communs (CTCH).

La couche L2 (couche de liaison de données), qui se subdivise en deux sous-couches : Link Access Control (LAC), Medium Access Control (MAC).

La couche L3 qui est la couche réseau (RRC : Radio Ressource Control).

La figure (IV.1) illustre les différentes couches de l'interface radio de l'UMTS et les différents protocoles de chaque couche.

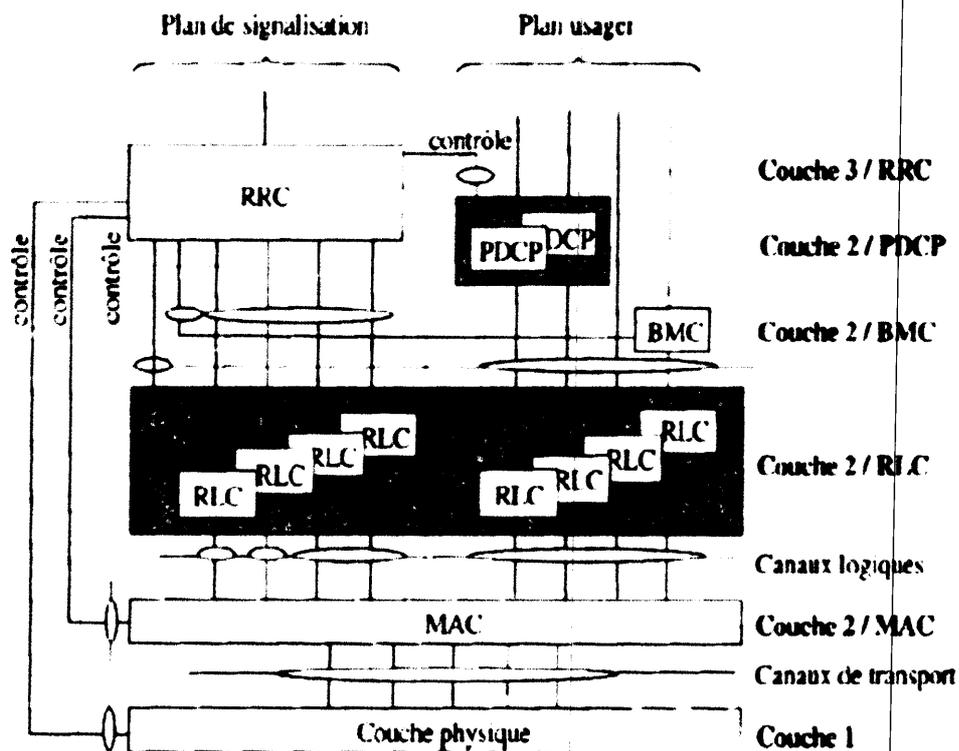


Figure IV.1 : Architecture des protocoles de l'interface radio de l'UMTS [31].

IV.3 Structure générale de la couche physique de la liaison descendante :

❖ Présentation :

La couche physique fournit le service de transfert d'information à la couche MAC au travers des canaux de transport (figure IV.2).

En émission, les données fournies par la couche MAC sont passées dans une chaîne de codage de canal avant d'être transmises sur le médium physique.

En réception, les données reçues sur le canal physique sont passées dans une chaîne de décodage de canal avant d'être remises à la couche MAC.

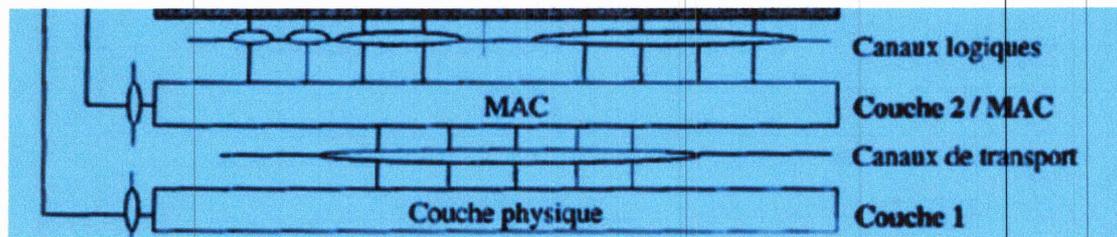


Figure IV.2 : Couche physique.

❖ Fonctionnalités :

La couche physique effectue :

- Le codage/décodage de canal pour la protection contre les erreurs sur les canaux de transport.
- Le multiplexage de plusieurs canaux de transport en un bloc composite CCTrCH (Code Composite Transport CHannel) et la répartition de ce CCTrCH sur un ou plusieurs canaux physiques ; en réception, le CCTrCH est démultiplexé sur les canaux de transport.
- L'adaptation du débit qui consiste à rajouter ou à retirer des bits de protection pour ajuster la taille des données à la capacité du canal physique.
- La modulation et l'étalement de spectre ainsi que leur fonction inverse.
- La synchronisation en fréquence et en temps.
- Le contrôle de puissance en boucle fermée.
- L'exécution des mesures et l'indication des résultats de mesures aux couches supérieures.
- Le support de la macro-diversité (un UE peut communiquer avec plusieurs Noeud B en même temps).

- ❖ **Fonctionnement :** L'enchaînement des opérations que la couche physique effectue est sensiblement le même lorsque un canal émet du réseau vers le mobile (canal descendant) ou du mobile vers le réseau (canal montant) comme la montre la figure (IV.3), la couche physique de l'interface radio réalise les fonctions de codage, décodage, modulation et d'entrelacement via W-CDMA [31].

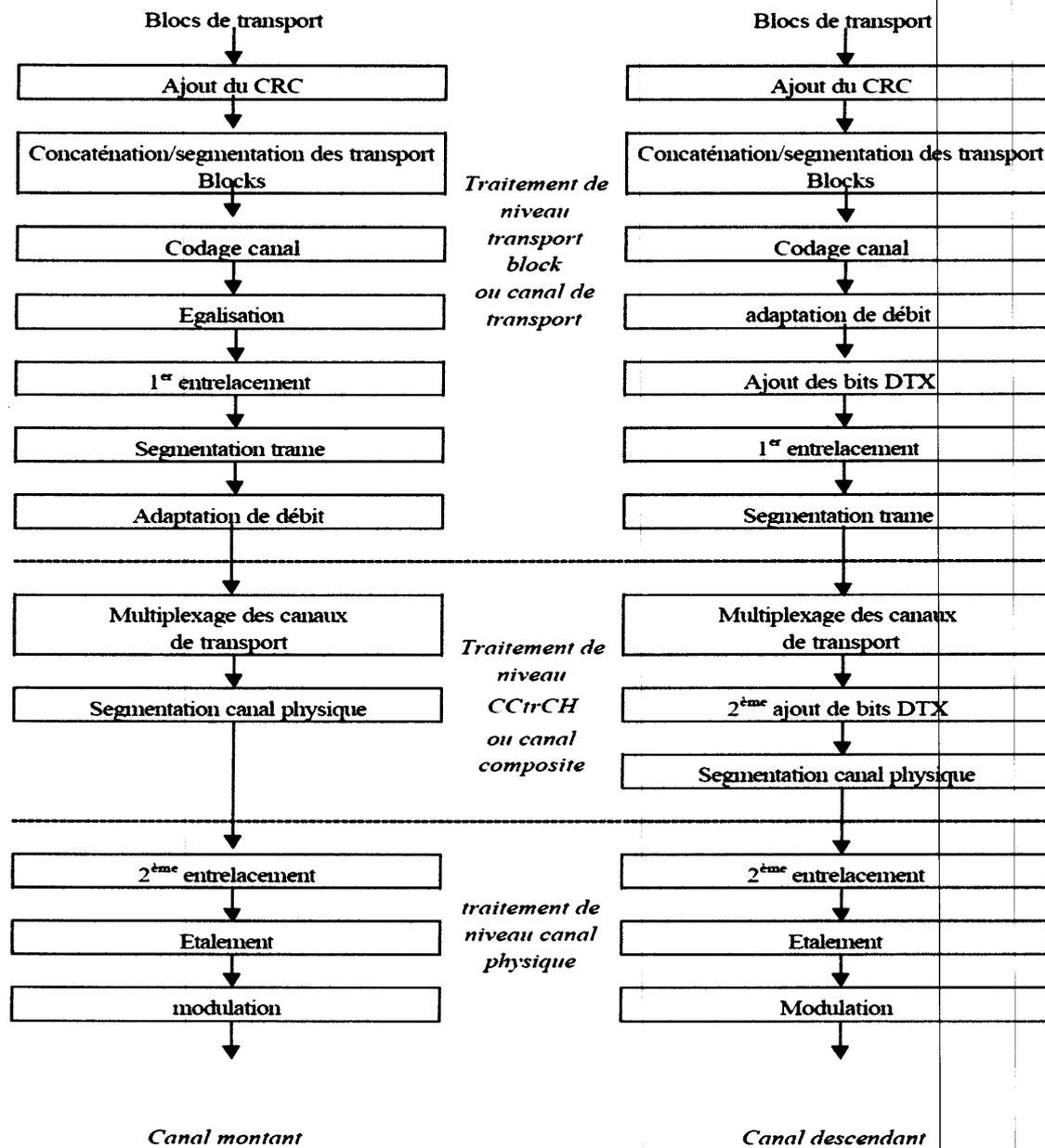


Figure IV.3 : Opérations de la couche physique.

IV.3.1 Détails des traitements :

Dans le cadre de notre travail, on se limitera à l'étude et la simulation de la liaison descendante vu la ressemblance des deux liaisons (DL) et (UL) comme mentionné dans les sections précédentes, la possibilité de simuler les canaux en (DL) et de s'adapter avec les travaux dans le domaine. La figure suivante présente les différents blocs de la chaîne numérique de codage et de démultiplexage de la liaison descendante, où nous donnons des descriptions de chaque bloc :

- ❖ **CRC** (Cycling Redundancy Check) : permet de protéger les informations contre les erreurs dues à la transmission sur l'interface radio. La détection d'erreurs par CRC est

une méthode qui consiste à ajouter à chaque bloc de transport des bits de parité qui permettent de détecter les erreurs à la réception.

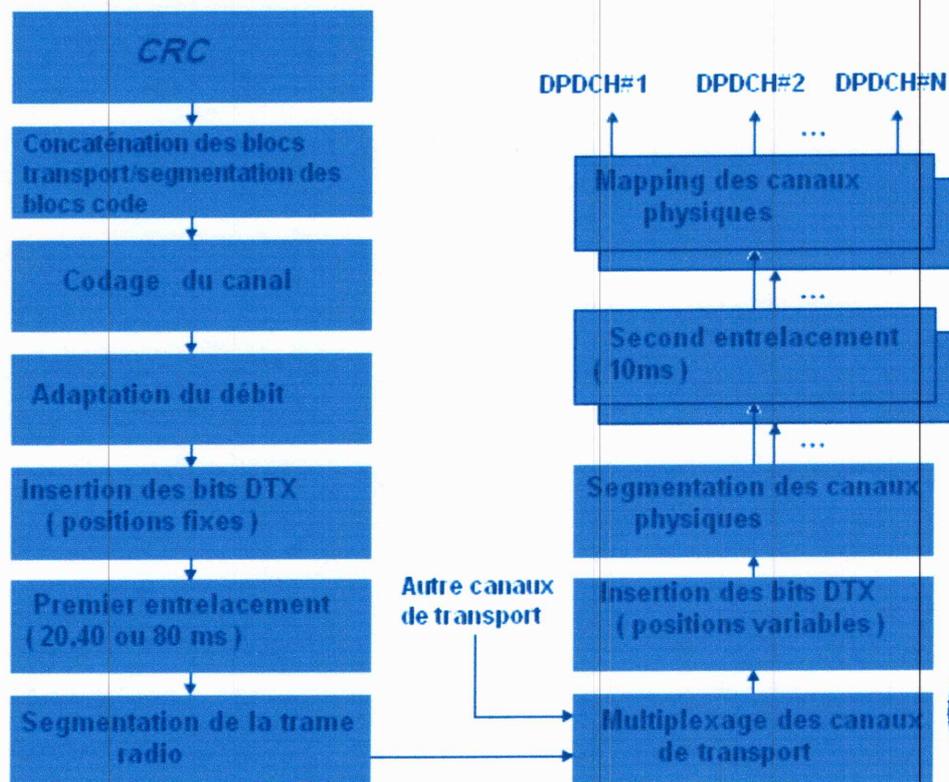


Figure IV.4 : Chaîne de codage et de multiplexage Downlink.

- ❖ **Concaténation ou segmentation des blocs de transport :** La concaténation et la segmentation des blocs de transport préparent les données pour la phase de codage de canal. Lorsque plusieurs blocs de transport d'un même canal de transport sont à émettre sur un même intervalle de temps (TTI : Time Transmission Interval), les différents blocs sont concaténés en un bloc unique, fourni ensuite en entrée à la fonction de codage du canal.
- ❖ **Codage du canal :** Est une technique qui produit des bits redondants qui seront utilisés sur l'entité réceptrice pour corriger les erreurs de transmission. Au niveau de l'UTRAN, deux méthodes de codage de canal ont été définies. Les codages « convolutifs » sont généralement utilisés pour les débits utilisateur relativement faibles (voix, ...), équivalents aux débits fournis par les réseaux de deuxième génération actuelle. Pour les débits plus élevés, un codage appelé « Turbo code » peut être appliqué. Ce dernier est d'autant plus efficace que les blocs traités sont de taille importante.
- ❖ **Adaptation du débit :** L'adaptation du débit consiste à retrancher ou rajouter des bits dans les flux d'informations de chaque canal de transport. En effet, le débit dans une trame d'un canal physique est limité. De plus, au cours d'une connexion, un même canal physique peut convoier (assurer le transport) des bits d'informations issus de différents canaux de transport. Il faut donc adapter le débit à la sortie de chaque canal de transport.

- ❖ **Insertion des bits DTX** : Les débits indiquant la transmission discontinue (DTX) ne sont pas transmis sur l'interface air. Ils sont juste insérés afin d'informer l'émetteur du moment auquel la transmission doit être interrompue.
- ❖ **Premier entrelacement** : Les fonctions d'entrelacement ont pour but de rendre la répartition des erreurs plus aléatoire et d'augmenter ainsi les performances du correcteur d'erreur. Ce procédé consiste à mélanger une séquence de bits en émission. Le premier entrelacement ou entrelacement inter-trame est utilisé lorsque la transmission peut supporter un entrelacement de plus de 10 ms. La longueur de cet entrelacement peut être alors de 20, 40, 60 ou 80 ms.

Effectué pour un bloc de transport avant la segmentation, si une trame est entachée d'erreurs, après désentrelacement celles-ci sont réparties sur l'ensemble du bloc de transport.

- ❖ **Segmentation de la trame radio** : Cette fonction a pour but de segmenter la séquence de bits contenue dans un TTI en un nombre entier de trames consécutives.
- ❖ **Multiplexage des canaux de transport** : Chaque canal de transport délivre une séquence binaire codée. Ces séquences sont ensuite concaténées les unes après les autres pour ne créer qu'un flux binaire unique en série : le canal de transport composite codé (CCTrCH).
- ❖ **Segmentation des canaux physiques** : Cette fonction est mise en œuvre lorsque plusieurs canaux physiques sont utilisés pour transporter les données d'un CCTrCH particulier.
- ❖ **Second entrelacement** : La seconde opération d'entrelacement réalise un entrelacement de la trame radio par période de 10 ms, elle est appelée « entrelacement intra-trame ». Ce second entrelacement est effectué séparément sur chaque canal physique, dans le cas où plus d'un canal serait utilisé. A la sortie de cette opération, les bits sont directement transmis sur les canaux physiques. Le nombre de bits émis pour un canal physique est exactement le nombre que le facteur d'étalement de la trame peut transmettre. Si aucun bit n'est à transmettre, le canal physique correspondant n'est pas transmis.
- ❖ **Etalement et modulation** : Ces opérations adaptent les données binaires à la transmission sur l'interface radio.
L'étalement de spectre va permettre à plusieurs utilisateurs d'être présents simultanément sur une même bande de fréquence.
La modulation utilisée sera de type QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et va permettre la transmission [32].

- ❖ **Filtre d'impulsion adapté :** Dans le système W-CDMA, le canal de propagation est constitué de deux filtres à impulsion adaptée en racine de cosinus surélevé (Pulse Shape, Root Raised Cosine, RRC) avec $\alpha = 0.22$, où α est le « facteur de retombée » ou « facteur de roll-off », le premier filtre étant situé en sortie du codeur dans l'émetteur et le second à l'entrée du décodeur dans le récepteur [10].

IV.3.2 Transport des données avec le canal DPCH descendant :

Le canal dédié Downlink est transmis sur le canal physique DDPCH (Downlink Dedicated Physical Channel). Ce canal Downlink DPCH applique un multiplexage temporel sur les informations de contrôle et les données utilisateurs. Comme le montre la figure (IV.5).

Comme pour le sens montants les termes DPDCH (Dedicated Physique Data Channel) et DPCCH (Dedicated Physique Control Channel) sont utilisés dans les spécifications du 3GPP pour les canaux du sens descendants :

Le DPDCH :

- Transmet les données du plan usager (voix, messages).
- Transmet les données de signalisation issues des couches supérieures.

Le DPCCH :

- Transmet les données de contrôle spécifiques à la couche physique.
- Bits pilotes (estimation de la réponse impulsionnelle du canal, profil de trajets multiples).
- Bits TPC « Transmit Power Control ».
- Bits TFCI « Transport Format Combination Indicator ».
- Bits FBI « FeedBack Information » uniquement dans le sens montant.

Le canal DPDCH Uplink est en effet composé de symboles BPSK alors que le canal DPDCH Downlink est de symboles QPSK. Bien qu'une partie du canal DPDCH Downlink soit réservée pour le canal DPCCH, en particulier lorsque le débit est important, le débit du canal DPDCH Downlink est presque le double de celui de canal DPDCH Uplink utilisant le même facteur d'étalement [32].

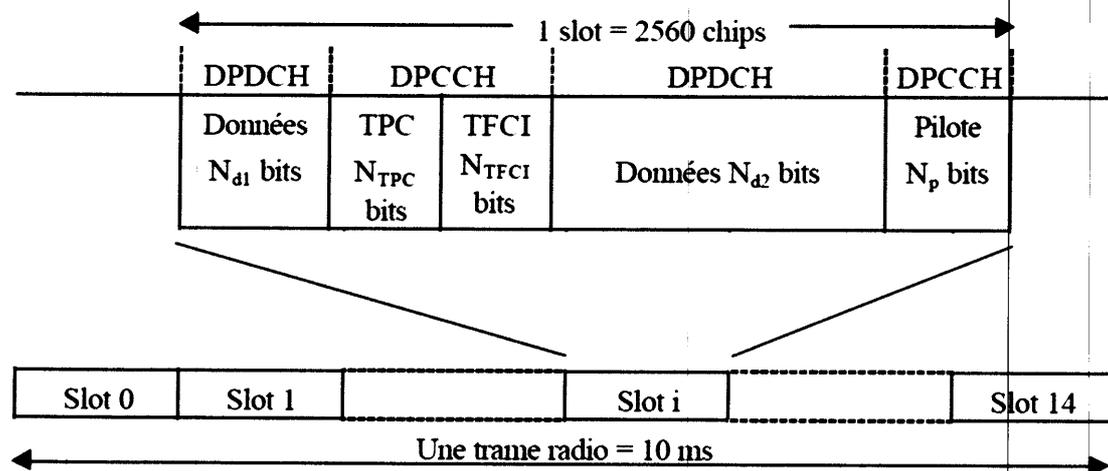


Figure IV.5 : Multiplexage DPDCH et DPCCH sur le canal Downlink DPCH.

IV.4 Simulations et interprétations :

IV.4.1 Description du modèle utilisé :

Vu la non disponibilité des simulateurs numériques de la liaison descendante de l'UMTS, Nous avons exploité l'exemple Simulink du Toolbox « Communications System » de Matlab [33]. La couche physique est chargée d'assurer le transport des données générées au niveau des couches supérieures. Ces données sont échangées entre les couches supérieures et la couche physique sous forme de canaux de transport. Il peut y avoir jusqu'à huit canaux de transport traités simultanément. Chaque canal de transport est associé à d'autres canaux de transport contenant des informations sur la manière dont les données doivent être traitées par la couche physique. La couche physique traite ces données avant de les envoyer sur le canal. La figure suivante illustre l'exemple étudié :

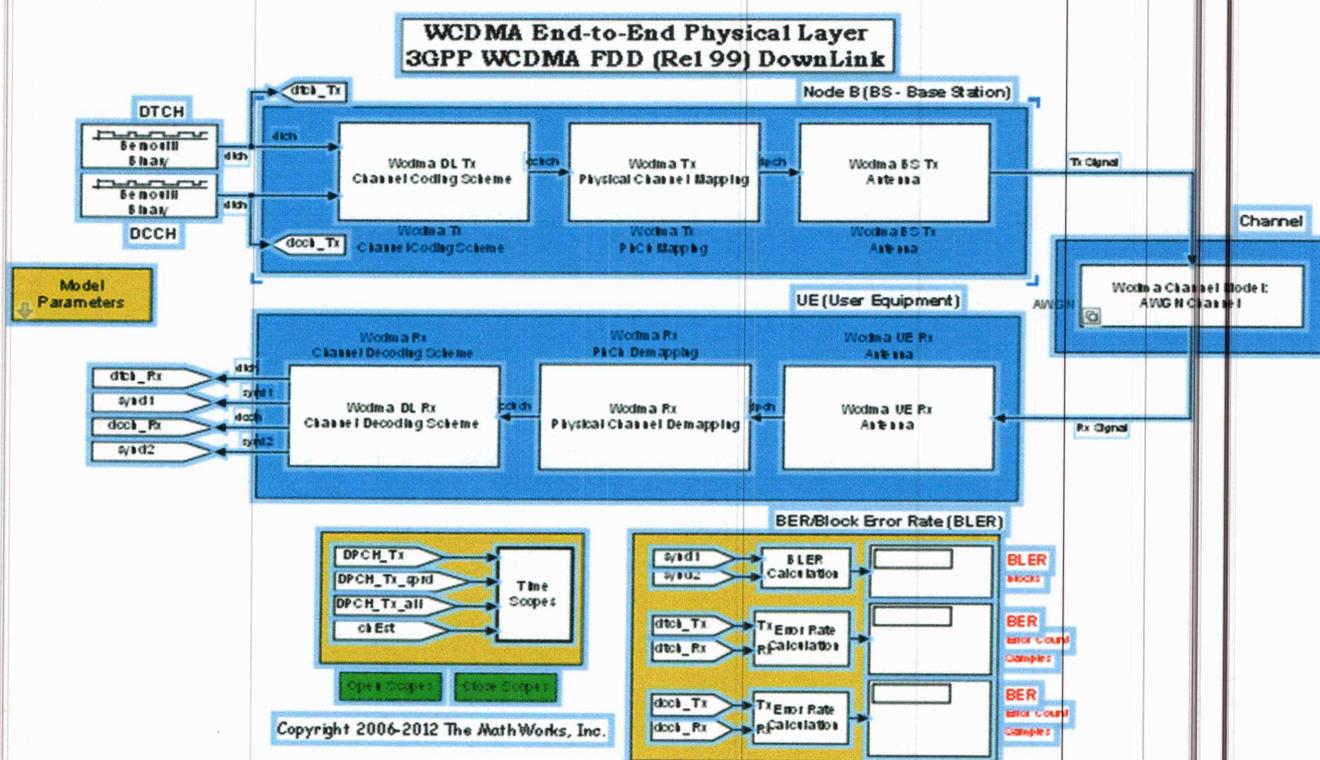


Figure IV.6 : WCDMA End-to-End Physical Layer 3GPP WCDMA FDD Downlink [33].

Le modèle comporte sept sous-systèmes principaux, dont les fonctions sont résumées dans le tableau suivant :

Sous-système	Fonction
WCDMA DL Tx Channel Coding Scheme	Codage et multiplexage des canaux de transport
WCDMA Tx Physical Mapping	Mappage de canal physique
WCDMA BS Tx Antenna	Etalement et modulation
WCDMA Channel Model	Modèle du canal de transmission
WCDMA UE Rx Antenna	Démodulation et désétalement
WCDMA Rx Physical Channel Demapping	Démappage de canal physique
WCDMA DL Rx Channel Decoding Scheme	Démultiplexage et décodage des canaux de transport

Tableau IV.1 : Blocs du modèle étudié et ses fonctions.

WCDMA DL Tx Channel Coding Scheme: Le sous-système codage et multiplexage de l'émetteur de la liaison descendante du WCDMA traite chaque canal de transport de façon indépendante en fonction des paramètres du format de transport qui lui sont associés. Ce sous-système met en œuvre les fonctions suivantes :

- Ajout du CRC
- Concaténation et segmentation des blocs de transport
- Codage de canal
- Adaptation de débit
- Premier entrelacement
- Segmentation de la trame radio

Les différents canaux de transport sont ensuite combinés pour générer un canal de transport combiné codé (CCTrCH). Le CCTrCH est ensuite envoyé au sous-système de mappage du canal physique (WCDMA Tx Physical Mapping subsystem).

WCDMA Tx Physical Mapping : Ce sous-système implémente les fonctions suivantes:

- Segmentation du canal physique
- Deuxième entrelacement
- Construction de trame (slot)

La sortie de ce sous-système constitue un canal physique dédié (DPCH), qui est passé au sous-système d'étalement et de modulation (WCDMA BS Tx Antenna Spreading and Modulation subsystem).

WCDMA BS Tx Antenna : Ce sous-système se situe dans la partie antenne de l'émetteur au niveau de la station de base (BS) ou Node B et traite les fonctions suivantes :

- Modulation
- Etalement par des codes (OVSF)
- Embrouillage par une séquence de codes de Gold de valeur complexe
- Contrôle de puissance
- Mise en forme d'impulsions

WCDMA Channel Model: Le sous-système du modèle de canal de transmission simule un canal de liaison sans fil contenant un bruit blanc Gaussien additif (AWGN), ou avec un ensemble de conditions de propagation par trajets multiples.

WCDMA UE Rx Antenna : Ce sous-système se situe dans la partie antenne du récepteur WCDMA au niveau de l'équipement utilisateur (UE). Le signal reçu au niveau de ce sous-système est la somme de versions retardées et atténuées des signaux transmis en raison de la propagation par trajets multiples. Un récepteur Rake est implémenté pour régler et compenser cet effet. Il se compose de plusieurs doigts de râteau, chacun étant associé à une composante différente reçue. Chaque doigt de râteau est composé de corrélateurs de premier ordre pour effectuer le désétalement, l'estimation du canal pour évaluer le canal et un dérotateur qui utilise les informations fournies par l'estimateur de canal pour corriger la phase des symboles de

données. Le sous-système combine de manière cohérente le signal de sortie des différents doigts de râteau pour récupérer l'énergie à travers les différents retards.

WCDMA Rx Physical Channel Demapping and Channel Decoding Scheme : Ces deux sous-systèmes assurent le démappage du canal physique, le démultiplexage et le décodage des canaux de transport, en effectuant l'inverse des fonctions réalisées par les sous-systèmes correspondant au niveau de l'émetteur décrit ci-dessus.

IV.4.2 Paramètres du modèle et affichage :

Nous pouvons afficher ou modifier les paramètres du modèle en double-cliquant sur le bloc nommé : paramètres du modèle (Model Parameters). La figure suivante montre la boîte de dialogue obtenue :

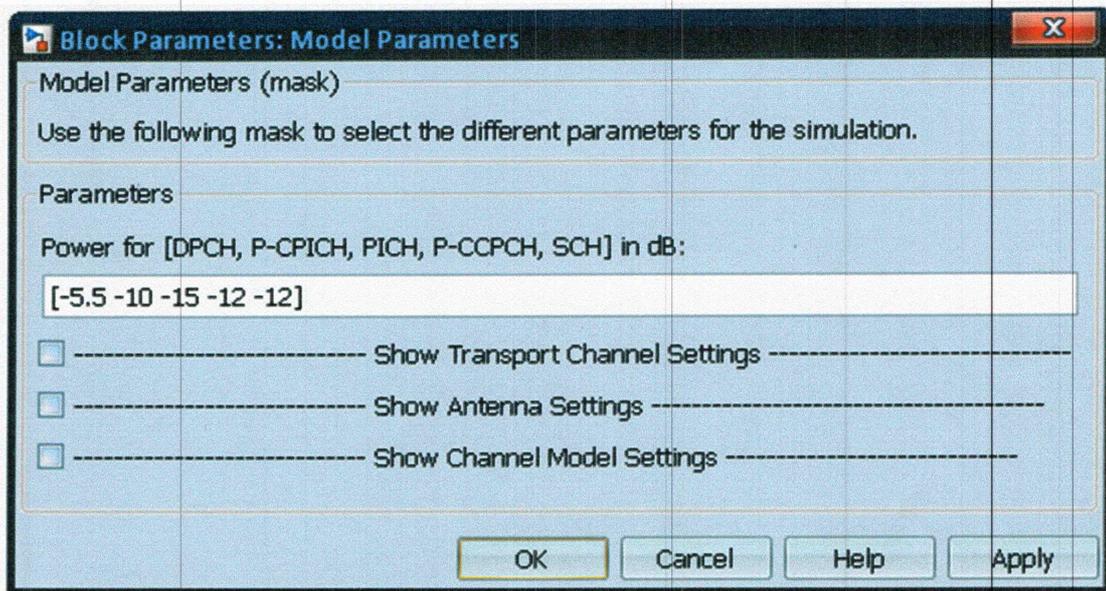


Figure IV.7 : Bloc de choix des paramètres de simulation.

Le paramètre de la puissance en dB de [DPCH, P-CPICH, PICH, PCCPCH, SCH] est un vecteur ligne contenant les puissances en décibels correspondant aux différents canaux physiques.

La case à cocher “The Show Transport Channel Settings” nous permis de spécifier les paramètres correspondants au sous-systèmes “WCDMA Tx Channel Coding Scheme” et “WCDMA Tx Physical Channel Mapping », et ses sous-systèmes correspondants au niveau du récepteur. Lorsque la case est cochée, la boîte de dialogue affiche les paramètres suivants :

Paramètre	Description
DL Measurement channels	Quatre canaux des standards suivants : 12.2 Kbit/s, 64 Kbit/s, 144 Kbit/s, 384 Kbit/s, User Defined.
Transport block set size	Vecteur ligne entier représentant la taille de l'ensemble des blocs de transport comme définie dans le standard associé

	avec chaque canal de transport.
Transport block size	Vecteur ligne entier représentant la taille du bloc de transport comme définie dans le standard associé avec chaque canal de transport.
TTI in ms	Vecteur ligne entier représentant l'intervalle du temps de transmission (TTI) en ms comme défini dans le standard associé avec chaque canal de transport.
CRC size	Vecteur ligne entier représentant la taille du CRC en nombre de bits associé avec chaque canal de transport.
Type of error protection	Vecteur ligne entier représentant le type de codage associé à chaque canal de transport. Les choix sont : 1 pas de codage ; 2 codage convolutif.
Rate matching attribute	Vecteur ligne entier représentant l'adaptation du débit attribué comme défini dans le standard associé avec chaque canal de transport.
Position of TrCH in radio frame	Définit la position des canaux de transport dans la trame radio qui peut être fixe ou flexible comme définie dans le standard.
Number of PhCH	Entier entre 1 et 3 correspondant au nombre des canaux physiques utilisés.
Slot format (0..16)	Définit le format du flux binaire (slot) correspondant.

Tableau IV.2 : Description et paramètres de la case "The Show Transport Channel Settings".

La case à cocher « The Show Antenna Settings » nous permis de spécifier les paramètres correspondant aux sous-systèmes « WCDMA BS Tx Antenna » et « WCDMA UE Rx Antenna ». Lorsque la case est cochée, la boîte de dialogue affiche les paramètres suivants:

Paramètre	Description
DPCH Code number	Entier entre 0 et la valeur du facteur d'étalement -1, correspondant à l'indice du code orthogonal attribué au canal DPCH.
Scrambling code	Vecteur de deux éléments, correspondant à l'indice du code d'étalement attribué à la station de base.
Number of filtre taps for RRC	Nombre des coefficients du filtre RRC.
Number of coefficients for channel estimation filters	Nombre des coefficients du filtre passe bas implémenté dans l'estimation du canal.
Oversampling factor	Valeur entière correspondant au nombre d'échantillons par symbole.

Tableau IV.3 : Description et paramètres de la case « The Show Antenna Settings ».

La case à cocher « The Show Channel Model Settings » nous permis de spécifier les paramètres correspondant au sous-système « WCDMA Channel Model » :

Paramètre	Description
Propagation conditions environment	Sélection parmi les différents conditions de propagation des environnements prédéfinis.
SNR (in dB)	Valeur du rapport signal sur bruit (dB).
Number of enable fingers	Nombre de doigts (entier entre 1 et 4).
Relative delay of Rx signals (in s)	Vecteur des différents retards (s) des différents trajets.
Average Power of Rx signals (in dB)	Vecteur de la puissance (en dB) des différents trajets.
Speed of terminal (in km/h)	Valeur de la vitesse de l'utilisateur (UE) en km/h.

Tableau IV.4: Description et paramètres de la case « The Show Channel Model Settings ».

Les blocs BER et BLER calculent les différents taux d'erreur dans l'exemple. Le bloc BER présente les résultats du taux d'erreurs bits associé à chaque canal de transport séparément, et le bloc BLER montre le taux d'erreur bits des canaux de transport combinés.

Pour la visualisation des signaux seulement les blocs « Time Scopes » sont utilisés. Ils permettent de voir le flux de bits (bit stream) avant l'étalement, après l'étalement et après la combinaison des différents canaux physiques pondérés. Ils montrent à la fois la partie réelle et la partie imaginaire séparément. Ils présentent également les deux parties réelle et imaginaire de la sortie de l'estimateur du canal pour le premier doigt de réseau.

IV.4.3 Résultats de simulation pour différents standards :

Deux canaux de transport (DTCH et DCCH) ont été utilisés à l'entrée du modèle. Les signaux dtch_Tx et dch_Tx au niveau de l'émetteur et les signaux dtch_Rx et dch_Rx au niveau du récepteur seront envoyés au bloc BER/BLER pour la mesure des performances. Le tableau suivant résume les résultats obtenus pour chaque standard dans les mêmes conditions dans un temps de simulation = 0.1 s :

Standard	BER DTCH	BER DCCH	BLER
12,2 Kbit/s	0 (976 samples)	0 (100 samples)	0 (5 blocs)
64 Kbit/s	0 (2560 samples)	0 (100 samples)	0 (3 blocs)
144 Kbit/s	0 (5760 samples)	0 (100 samples)	0 (3 blocs)
384 Kbit/s	$7,44 \cdot 10^{-5}$ (2 erreurs / 26880 samples)	0 (100 samples)	0,125 (8 blocs)

Tableau IV.5 : BER et BLER pour différents standards.

Nous remarquons que le canal physique DCCH n'est pas affecté par les erreurs de transmission pour les différents standards, la même remarque pour le canal physique DTCH sauf dans le cas du standard 384 Kbit/s où il présente un BER = $7,44 \cdot 10^{-5}$ et un BLER = 0,125.

Nous allons maintenant explorer l'effet de l'environnement de propagation sur les performances du modèle étudié, dans le cas du standard 384 Kbit/s. Le tableau suivant montre les résultats obtenus pour chaque cas :

Type de canal	BER DTCH	BER DCCH	BLER
AWGN (SNR = -1 dB)	$7,44 \cdot 10^{-5}$	0	0,125
Multi-trajets, cas 1 : 2 doigts, delay [0 976e-9], puissance (dB) des signaux Rx [0 -10], vitesse du UE (Km/h) = 3.	0,5028	0,5	1
Multi-trajets, cas 2 : 3 doigts, delay [0 976e-9 20000e-9], puissance (dB) des signaux Rx [0 0 0], vitesse du UE (Km/h) = 3.	0,4988	0,44	1
Multi-trajets, cas 3 : 4 doigts, delay [0 976e-9 20000e-9 781e-9], puissance (dB) des signaux Rx [0 -3 -6 -9], vitesse du UE (Km/h) = 120.	0,0926	0	0,875
Multi-trajets, cas 4 : 2 doigts, delay [0 976e-9], puissance (dB) des signaux Rx [0 0], vitesse du UE (Km/h) = 3.	0,4318	0,53	1
Multi-trajets, cas 5 : 2 doigts, delay [0 976e-9], puissance (dB) des signaux Rx [0 -10], vitesse du UE (Km/h) = 50.	0,3079	0,44	1
Multi-trajets, cas 6 : 4 doigts, delay [0 260e-9 521e-9 781e-9], puissance (dB) des signaux Rx [0 -3 -6 -9], vitesse du UE (Km/h) = 250.	0,0782	0	0,75

Tableau IV.6 : BER et BLER pour différents conditions de propagation.

Les figures suivantes présentent des exemples des figures obtenues d'une trame dans le cas du standard 12,2 Kbit/s avec un canal AWGN. La figure (IV.8) montre les parties réelles du flux binaire avant l'étalement, après l'étalement et après la combinaison des différents canaux physiques pondérés, la figure (IV.9) présente les parties imaginaires correspondantes. La figure (IV.10) illustre la partie réelle et imaginaire du signal à la sortie de l'estimateur du canal.

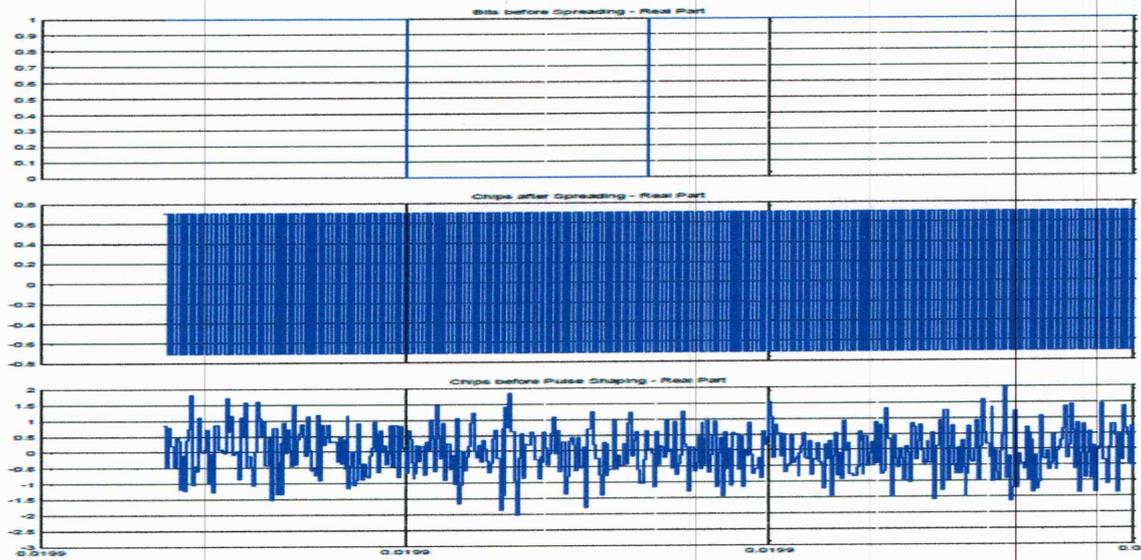


Figure IV.8 : Parties réelles des signaux d'un flux binaire.

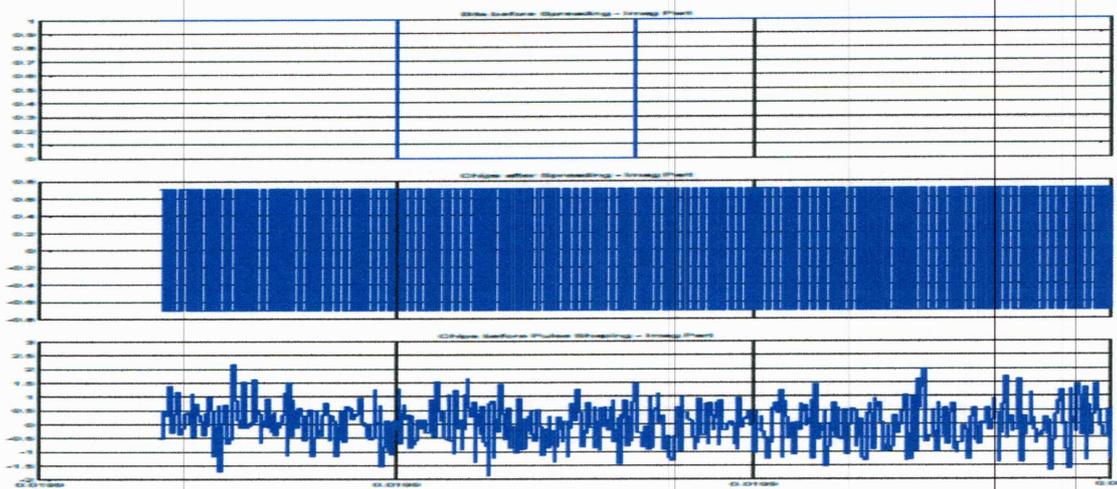


Figure IV.9 : Parties imaginaires des signaux d'un flux binaire.

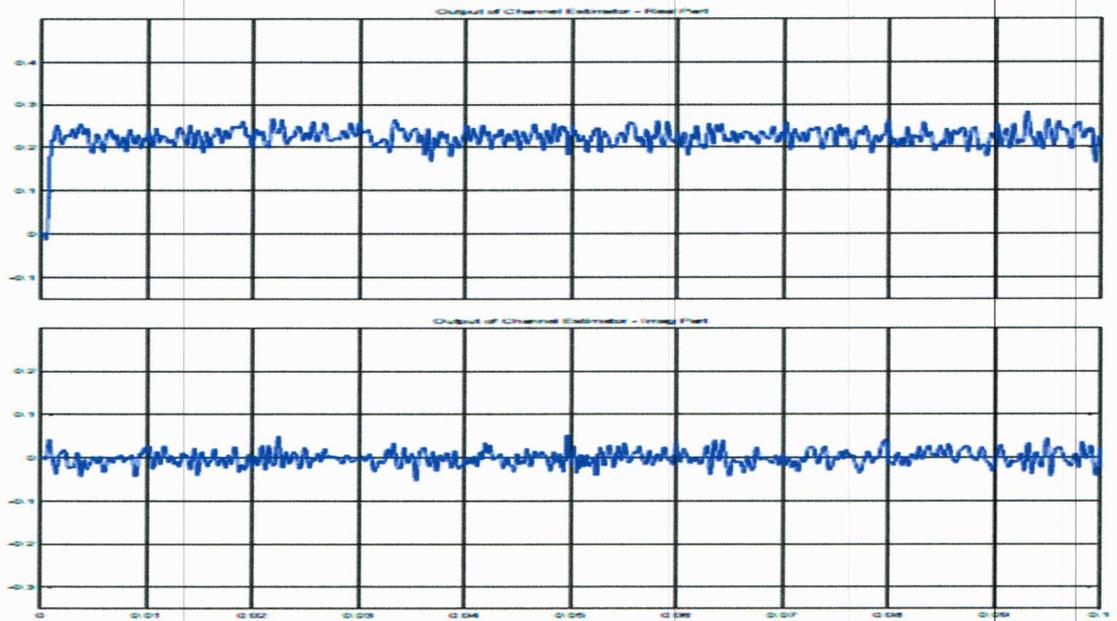


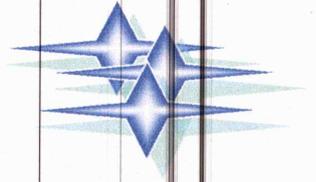
Figure IV.10 : Partie réelle et imaginaire du signal à la sortie de l'estimateur du canal.

IV.5 Conclusion :

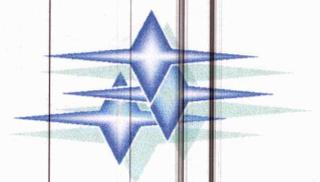
Ce chapitre nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la liaison descendante entre le node B et l'UE. Toutes les composantes de la liaison descendante sont citées en plus de la fonction de chacune d'elles.

Par ailleurs, l'exemple Simulink étudié en détails qui modélise la transmission des deux canaux physiques (DTCH et DCCH) à travers la liaison descendante confirme l'efficacité de ce système numérique mobile dans les différentes situations simulées, où plusieurs cas ont été traités : comme le nombre de trajets, différentes valeurs de retards, des SNRs variables et diverses vitesses de l'utilisateur.

Les conclusions tirées sont basées sur les mesures objectives (BER et BLER) obtenues dans chaque situation et les observations graphiques des signaux dans plusieurs endroits de la chaîne de transmission.



Conclusion générale



Conclusion générale

Le travail effectué a été consacré à l'étude et la simulation de la chaîne complète de transmission des données numériques dans un système de troisième génération.

L'étude détaillée des générations des communications mobiles, de l'architecture du GSM et de l'UMTS, nous a permis de constater que l'idée fondatrice du système 3G est d'intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau et de lui adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données). De plus, le système doit assurer la transmission des communications indépendamment de la localisation de l'utilisateur, que celui-ci se trouve chez lui, au bureau, en voiture, etc.

Vu le nombre élevé des utilisateurs dans un système de (3G), le partage des fréquences entre eux est réalisé par des techniques d'accès multiples permettant la gestion du spectre radio et des multiplexages FDD et TDD. L'interface radio est basée sur le WCDMA qui est lui-même basé sur le CDMA.

La simulation sous Matlab / Simulink de la chaîne de transmission numérique d'un système de (3G), nous a permis de constater qu'il s'agit en fait d'un exemple intéressant et complet d'un système numérique d'émission et de réception, qui contient presque la majorité des blocs d'un modèle de transmission numérique. De plus, les résultats de simulation des techniques d'étalement de spectre confirment l'efficacité de ces techniques dans la plupart des situations rencontrées dans un système de communications mobiles de troisième génération, comme le multi-trajet, le nombre élevé des utilisateurs, le débit variable, etc.

L'étude théorique de la couche physique de la liaison descendante du WCDMA en 3GPP, les résultats de simulation du système de communications mobiles de troisième génération pour les différents standards et les performances obtenues dans les différentes conditions de propagation confirment l'efficacité de ce système de transmission numérique.

Perspectives :

Le travail présenté peut être amélioré d'avantage par :

- ✓ L'étude et la simulation de la chaîne numérique de la liaison montante (UL).
- ✓ La même étude consacrée à la quatrième génération (LTE).
- ✓ Le dimensionnement de l'UMTS dans une région choisie.
- ✓ Le contrôle de puissance dans la liaison montante et descendante.
- ✓ Optimisation de la capacité du réseau UMTS et LTE.
- ✓ ...

Bibliographie

- [1] B. Boussetta, "Développement de modèles de trafic et de mobilité dans les réseaux radio mobiles de 3ème et 4ème générations," Mémoire d'Ingénieur, Ecole Supérieure des Communications, Tunis, Tunisie, 2005.
- [2] D. Minn, "Etude du système de service de message multimédia," Rapport final, Institut de la Francophonie pour l'Informatique, Hanoi, 2005.
- [3] E. Meurisse, "L'UMTS et le haut-débit mobile," Rapport final, Université de Marne-la-Vallée, France, 2007.
- [4] M. Benjamin, "La téléphonie mobile : Technologies, acteurs et usages," Mémoire de Master II recherche « Droit des Medias », Université d'AIX-MARSEILLE, France, 2006.
- [5] S. Laurenceau and A. Bruno, "Global system for mobile communication," Rapport d'expression technique, Institut Universitaire de Technologie de Tours, France, 2006.
- [6] H. Rekkik, "Etude et développement d'une interface d'accès Internet via le réseau GPRS," Mémoire d'Ingénieur, Ecole Supérieur des Communications, Tunis, Tunisie, 2005.
- [7] S. Laabidi, "Développement d'un outil de dimensionnement du BSS EDGE," Mémoire d'Ingénieur, Ecole Supérieur des Communications, Tunis, Tunisie, 2006.
- [8] M. Kechkouche, "Etude des services et application offerts par l'UMTS," Mémoire d'Ingénieur, Institut des Télécommunications Abdelhafid Boussouf, Oran, Algérie, 2004.
- [9] Y. Bouguen et E. Hadouin et F-X. Wolff, *LTE et réseaux 4G*, Edition Eyrolles, Paris, France, 548p, 2012.
- [10] Y. Mezen, "Modulation, simulation et optimisation des architectures de récepteur pour les techniques d'accès W-CDMA," Thèse de Doctorat, Université Paul Verlaine, Metz, France, 2009.
- [11] L. Issaoui, "Développement d'un outil de planification et d'optimisation de fréquences dans un réseau GSM," Mémoire d'Ingénieur, Ecole Supérieur des Communications, Tunis, Tunisie, 2006.
- [12] A. Bennchama et A. Bensaïd, "Utilisation de l'UMTS pour l'accès à Internet," Mémoire d'Ingénieur, Institut des Télécommunications Abdelhafid Boussouf, Oran, Algérie, 2006.
- [13] A. Boukelif, *Les communications mobiles*, OPU, Algérie, 234p, 2010.
- [14] N. Houcine, "Développement d'une chaine de mesure pour l'évaluation de couverture GSM," Mémoire d'Ingénieur, Ecole Supérieur des Communications, Tunis, Tunisie, 2006.

- [15] A. Coulibaly et N. Malle, "Accès à Internet pour les mobiles," Mémoire d'Ingénieur, Institut des Télécommunications Abdelhafid Boussouf, Oran, Algérie, 2005.
- [16] Alcatel University-8AS 90125 0185 VH ZZA, "BSS Description," Ed.02, 140p, October 2002.
- [17] A. B. Ibrahim et C. Mahamat, "Optimisation des réseaux GSM pour la migration vers l'UMTS", Mémoire d'Ingénieurs, Institut des Télécommunication, Abdelhafidh Boussouf, Oran, Algérie, 2005.
- [18] M. Hamoudi, "Analyse de l'impact de la sectorisation sur la capacité des réseaux UMTS," Ecole Supérieure de la Télécommunication, Projet de Fin d'Etudes, Tunis, Tunisie, /2006.
- [19] M. Saadat et L. Mahdaoui, "Qualité de service d'un flux vidéo dans un réseau mobile (UMTS)," Projet de Fin d'Etudes, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication, Oran, Algérie, juin 2009.
- [20] A. Atmani, A. Bahhar et T. El Aoumari, " Universal Mobile Telecommunications System : Architecture, Couches et Interfaces," Rapport final, ENSEIRB, Bordeaux, France, 2005.
- [21] S. Chouchene, " Conception et réalisation d'un outil d'évaluation de performances du réseau UMTS," Mémoire d'Ingénieur, Ecole Supérieure des Télécommunications, Tunis, Tunisie.
- [22] M. Lourdiane, "CDMA à séquence directe appliqué aux communication optiques," Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieur des Télécommunications, Paris, France, Janvier 2005.
- [23] http://www.cem2.univmontp2.fr/-moreau/jCDMA/cdma_cour.pdf
- [24] B. Boulares et A. Chekireb, "Simulation d'un système DS-CDMA par le Simulink/Matlab IS95A " Projet de fin d'Etudes, Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Algérie, juin 2006
- [25] A. M. Abatcha et A. Nafion, "Détection multiutilisateurs et estimation aveugle du canal pour les systèmes DS-CDMA," Projet de Fin d'Etudes, Institut National des Télécommunications et de Technologie de l'Information et de la Communication, Oran, Algérie, 2009.
- [26] M. Terré, "Radiocommunications CDMA," Cours du Conservatoire National des Arts et Métiers.
- [27] Thierry Lucidarme, *Principes de Radiocommunication de troisième génération, GSM, GPRS, UMTS*, Vuibert, Paris, 2002.
- [28] T. Ojonpera and R. Prasad, *WCDMA : Towards IP mobility and mobile Internet*, Artech House, London, UK, 476p, 2001.
- [29] J. P. Castro, *The UMTS network and radio access technology*, John Wiley & Sons, New York, USA, 354p, 2001.

[30] K. Bougares, "Développement d'un outil de simulation de la couverture radio en UMTS," Projet de fin d'Etudes, Ecole Supérieure des Communication, Tunis, Tunisie, 2006.

[31] http://agarbi.free.fr/umts_couche_physique.pdf

[32] H. Bensahaila et H. Latrache, "L'interface air dans l'UMTS," Mémoire de fin d'études, Institut des Télécommunication, Abdelhafidh Boussouf, Oran, Algérie, juin 2005.

[33] <http://www.mathworks.com/help/comm/examples/wcdma-end-to-end-physical-layer.html>



