

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électronique  
Option : Télécommunications

Réf:

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

**Modélisation et simulation d'un récepteur  
RAKE pour les techniques d'accès  
WCDMA**

Présenté par :  
**Sedrata Manal**  
Soutenu le : 06 Juin 2013

Devant le jury compose de :

Mr. Benakcha Abdelhamid  
Melle. Hendaoui Monira  
Mr. Geusbaya Taher

MCA  
MAA  
MCA

Président  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2012 / 2013**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électronique  
Option : Télécommunications

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

**Modélisation et simulation d'un récepteur RAKE pour  
les techniques d'accès WCDMA**

Présenté par :

*SEDRATA Manal*

Avis favorable de l'encadreur :

Melle. *HENDAOUI Monira*

*signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

Mr. *BENAKCHA Abdelhamid*

*Signature*

**Cachet et signature**



## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que  
j'aime :*

*A ma chère mère et mon cher père, qui m'ont beaucoup  
soutenu tout le long de mon parcours d'études, pour leurs  
sacrifices et leur amour, sans limite.*

*Que dieu me les garde éternellement heureux.*

*A mes chers frères et sœurs : Sadek, Mohammed, Tarek,  
Maha, Rania, Zakaria et Hadil, pour leurs encouragements.*

*A toute la famille Sedrata et Ben amor.*

*A tout mes amies et mes collègues, et à tous ceux qui  
m'ont aidées surtout Djahida et spécialement Naâma*

*A toute la promotion 2013*

*Surtout : Nadia, Kaouther, Aichouche, Wassila, Naouel,  
Fatima, Mohammed, Taki eddin et Bilel.*

## *Remerciements*

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant et maître de l'univers qui m'a donné la force nécessaire, la forte volonté et la patience afin d'accomplir ce travail.*

*Je tiens à remercier **Melle. HENDAOUI Monira**, pour l'opportunité qu'elle m'a offerte pour travailler sur ce projet fort intéressant, pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils généreux et pour le soutien constant.*

*Tout particulièrement je remercie mes parents, pour m'avoir inculqué l'amour du savoir et l'esprit du travail.*

*J'exprime ma profonde gratitude à tous les enseignants pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont bien voulu prodiguer durant nos études surtout **Mr. RAHMANI**.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements à tous ceux qui n'ont épargné aucun effort, de près ou de loin, pour me permettre d'accomplir ce modeste travail.*

## Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	2
<b>Chapitre I : Généralité sur l'UMTS</b>	
I.1. Introduction.....	5
I.1. Bref Historique pour les technologies des générations du GSM.....	5
I.1.1. Technologies de première génération.....	5
I.1.2. Technologies de deuxième génération .....	6
I.1.2.1. Le standard GSM.....	6
I.1.2.2. Le standard GPRS.....	7
I.1.2.3. Le standard EDGE.....	8
I.1.3. Technologies de troisième génération .....	8
I.1.3.1. UMTS (3G).....	9
I.2 Etude de l'interface radio.....	10
I.2.1 Présentation de l'UMTS.....	10
I.2.2 Couverture globale de l'UMTS.....	10
I.2.3 Les objectifs de l'UMTS.....	11
I.2.4 Les services support UMTS.....	11
I.2.5 Les Classes de qualité des services.....	13
I.2.6 Architecture du système UMTS.....	14
I.2.7 Les différents éléments de réseau UMTS.....	15
I.2.7.1 L'architecture de réseau d'accès UTRAN.....	15
I.2.7.2 Réseau cœur.....	18
I.2.7.3 Les équipements d'utilisateurs.....	20
a) Le mobile.....	20
b) La carte USIM.....	21
I.2.8 Utilisations des architectures réseaux existantes.....	21
a) Le domaine circuit.....	22
b) Le domaine paquet.....	22
I.2.9 Les apports du réseau UMTS.....	22
I.3 Conclusion.....	22

## **Chapitre II : Le CDMA large bande(WCDMA) et le récepteur RAKE**

II.1 Introduction.....	25
II.2 Le Canal radio mobile.....	25
II.2.1 Définition.....	25
II.2.2 Caractéristiques du canal radio mobile.....	25
II.3 Le CDMA large bande (W-CDMA).....	26
II.3.1 Les techniques d'accès au canal.....	26
II.3.1.1 Techniques d'accès multiple FDMA et TDMA.....	27
II.3.1.2 Technique d'accès multiple CDMA.....	28
II.3.2 Technique d'accès large bande CDMA (WCDMA).....	29
II.3.3.1 Caractéristiques du WCDMA.....	29
II.3.3.2 Les techniques de multiplexage.....	30
a) Le mode FDD.....	30
b) Le mode TDD.....	30
II.3.4 Les avantages du WCDMA.....	31
II.4 L'étalement de spectre.....	32
II.4.1 Principe d'étalement de spectre.....	33
II.4.1.1 Etalement de spectre par DS-CDMA.....	34
II.4.1.2 Etalement de spectre par FH-CDMA.....	35
II.4.1.3 Etalement de spectre par TH-CDMA.....	36
II.4.2 Code de canalisation.....	36
II.4.2.1 Les codes correcteurs d'erreur.....	37
a) Le codage convolutionnel.....	38
b) Le décodage de Viterbi.....	39
II.4.3 Le Scrambling.....	40
II.4.4 Les séquences pseudo aléatoires.....	41
II.4.4.1 Les séquences de Gold.....	41
II.4.4.2 Séquences de Walsh.....	42
II.5 Propriétés du CDMA.....	44
II.5.1 Le trajet multiple.....	44
II.5.2 Le fast fading.....	45
II.5.3 Contrôle de puissance.....	45
II.5.4 Les Handovers.....	46

II.6 Le récepteur RAKE.....	47
II.6.1 La Diversité.....	47
II.6.2 Types de diversité.....	48
II.6.3 Principe du récepteur RAKE.....	49
II.6.4 Architecture fonctionnelle.....	49
II.6.5 Doigts du récepteur RAKE.....	51
II.6.6 La méthode de combinaison à ratio maximal (MRC).....	52
II.6.7 Choix des délais.....	52
II.6.8 Calcul de la probabilité d'erreur.....	53
II.7 Conclusion.....	53
<b>Chapitre III : simulation et résultats</b>	
III.1 Introduction.....	56
III.2 Description de la simulation.....	56
III.3 Modélisation du récepteur RAKE pour la technique DS-SS.....	56
III.4 Simulation d'un système CDMA.....	58
III.4.1 Le domaine temporel .....	59
III.4.2 Le domaine fréquentiel .....	60
III.5 Simulation d'un système WCDMA avec RAKE.....	61
a) L'émission .....	62
b) Le canal de transmission .....	63
c) La réception.....	63
d) Calcul du taux d'erreur binaire (BER).....	64
III.6 Etudes de la performance du récepteur RAKE.....	65
III.7 Conclusion.....	66
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>69</b>
<b>bibliographie</b>	



**Liste des figures**

Fig. I.1 Evolution de GSM vers l'UMTS.....	9
Fig. I.2 Couverture globale de l'UMTS suivant une structure hiérarchique de cellules.....	10
Fig. I.3 Les services de l'UMTS.....	13
Fig. I.4 L'architecture globale du système UMTS.....	14
Fig. I.5 Les éléments du réseau UMTS.....	15
Fig. I.6 Architecture du réseau d'accès.....	16
Fig. I.7 Node B avec antennes sectorielles.....	17
Fig. I.8 Node B avec antenne omnidirectionnelle.....	17
Fig. I.9 Architecture du réseau cœur de l'UMTS.....	19
Fig. I.10 Les éléments existants du réseau UMTS.....	21
Fig. II.1 Systèmes de communication.....	26
Fig. II.2 Les schémas des trois techniques d'accès multiple.....	28
Fig. II.3 Schéma d'un système WCDMA à l'émission.....	29
Fig. II.4 Schéma synoptique d'un système d'étalement de spectre(WCDMA).....	33
Fig. II.5 Principe conceptuel de l'étalement de spectre.....	34
Fig. II.6 Schéma d'un codage CDMA par séquence directe (DS-SS).....	35
Fig. II.7 Début de l'arbre des codes de channelisation.....	37
Fig. II.8 Encodeur convolutionnel avec $K = 3$ , $k = 1$ et $n = 2$ .....	39
Fig. II.9 Relation entre l'étalement et le scrambling.....	41
Fig. II.10 Fonctions de Walsh.....	43
Fig. II.11 Propagation à trajets multiple.....	54
Fig. II.12 Exemple du soft handover.....	46
Fig. II.13 Architecture fonctionnelle d'un récepteur RAKE.....	50

Fig. III.8 Courbes de la performance du récepteur RAKE et comparaison entre théorique et pratique.....65

Fig. III.14 Courbes de la performance du récepteur RAKE et ces principes de fonctionnement.....66

### Liste des abréviations

<b>3GPP</b>	3rd Generation partnership project (produces WCDMA standard)
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone System
<b>AMR</b>	Adaptive Multi-Rate
<b>AuC</b>	Authentication Centre
<b>BER</b>	Bit error rate
<b>BPSK</b>	Binary phase shift keying
<b>BSC</b>	Base Station Controller
<b>BSS</b>	Base Station Subsystem
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station
<b>CDMA</b>	Code division multiple access
<b>CN</b>	Core network
<b>CS</b>	Circuit Switched
<b>DCS</b>	Digital Cellular System
<b>DS-CDMA</b>	Direct Sequence code division multiple access
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
<b>EGC</b>	Equal Gain Combining
<b>EIR</b>	Equipment Identity Center
<b>ETACS</b>	Extended Total Access Communication System
<b>FDD</b>	Frequency division duplex
<b>FDM A</b>	Frequency division multiple access
<b>FFH</b>	Fast Frequency Hopping
<b>FH-CDMA</b>	Frequency Hopping Code Division Multiple Access
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GM SC</b>	Gateway MSC
<b>GPRS</b>	General Paquet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>HLR</b>	Home Location Register
<b>IMT-2000</b>	International mobile telephony, 3 <sup>rd</sup>
<b>IS-95</b>	cdmaOne, one of the 2 <sup>nd</sup> generation systems, mainly in Americas and in Korea
<b>MMS</b>	Multimedia message Service.
<b>MS</b>	Mobile Station
<b>MRC</b>	Maximal Ratio Combining
<b>MSC</b>	Mobile-services Switching centre
<b>OVSF</b>	Orthogonal variable spreading factor
<b>PCS</b>	Personal communication systems, 2 <sup>nd</sup> generation cellular systems
<b>PLMN</b>	Public Land Mobile Network
<b>PN</b>	Pseudo Noise
<b>PS</b>	Packet switched
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RNC</b>	Radio network controller
<b>RNIS</b>	Réseau Numérique à Intégration de Services
<b>RTCP</b>	Réseau Téléphonique Commuté Public
<b>SF</b>	Spreading Factor
<b>SFH</b>	Slow frequency hopping
<b>SGSN</b>	Serving GPRS Support Node
<b>SNR</b>	Signal to noise ratio

<b>SMC</b>	Strongest Multipath Combining
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>TACS</b>	Total Access Communication System
<b>TDD</b>	Time division duplex
<b>TDM A</b>	Time division multiple access
<b>TE</b>	Terminal equipment
<b>TH-CDMA</b>	Time Hopping Code Division Multiple Access
<b>UE</b>	User Equipment
<b>UIT</b>	Union Internationale des Communications
<b>UM TS</b>	Universal mobile telecommunication services
<b>USIM</b>	UMTS Subscriber Identity Module
<b>UTR AN</b>	UM TS Terrestrial radio access network
<b>VLR</b>	Visitor Location Register
<b>VoIP</b>	Voice over IP
<b>WCDMA</b>	Wideband CDMA Code division multiple access

**Liste des Tableaux**

Tab. I.1 Les avantages et les inconvénients du GSM .....	6
Tab. I.2 Les avantages et les inconvénients du GPRS .....	7
Tab. I.3 Les avantages et les inconvénients de l'EDGE. ....	8
Tab. I.4 Les objectifs de l'UMTS .....	11
Tab. II.1 Principaux paramètre du WCDMA .....	31
Tab. III.5 Les paramètres de la simulation. ....	62
Tab. III.6 Variation de BER en fonction de temps dans l'intervalle [0.6 - 0.8].....	64
Tab. III.7 Variation de BER en fonction de temps]. ....	64

### Résumé :

L'UMTS est un réseau mobile de troisième génération. Grâce à sa vitesse accrue de transmission de données, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux, qui permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et les vidéos ainsi qu'une connexion haut débit à internet.

L'UMTS repose sur la technique d'accès multiple WCDMA, une technique dite à étalement de spectre. Les systèmes à étalement de spectre ont pour objectifs de résister à les phénomènes d'évanouissement et pour éviter l'interférence entre les usagés ce qui offre la sécurité des communications. Mais ces systèmes requièrent des équipements spéciaux au niveau de la réception. Le récepteur RAKE peut répondre à ces besoins. L'architecture fonctionnelle de ce récepteur fait intervenir une structure basée sur des doigts parallèles. Chaque doigt permet de désétalement le signal reçu selon l'un des différents trajets pris en compte pour récupérer les données transmises.

Notre travail consiste à modéliser un récepteur RAKE qu'on a simulé sous l'environnement matlab et qui a donné de bon résultat concernant l'optimisation de la réception d'un système WCDMA.

**Mots clés :** UMTS, WCDMA, récepteur RAKE, MRC, Etalement de spectre, DS-CDMA.

### ملخص :

"UMTS" هو الجيل الثالث لشبكة الهاتف النقال. ونظرا لسرعته في نقل البيانات، فإن "UMTS" يفتح الباب أمام تطبيقات وخدمات جديدة، والتي على وجه الخصوص تسمح بنقل و في وقت قصير نسبيا محتوى الملتيميديا مثل الصور والأصوات وأشرطة الفيديو وكذا اتصال مجاني بالإنترنت عالي السرعة.

و يستند "UMTS" على تقنية الولوج المتعدد "WCDMA" و التي تعرف بتقنية إطالة الطيف بحيث يتم الولوج المتعدد من خلال مزيج بين تقنيتي تقسيم الوقت "TDMA" و تقسيم التردد "FDMA" وتهدف أنظمة إطالة الطيف لمقاومة ظواهر التخماد و تجنب التداخل بين المستخدمين مما يوفر اتصالات آمنة، و لكن هذه الأنظمة تتطلب معدات خاصة عند استقبال البيانات ولهذا فالمستقبل "RAKE" يستجيب لهذه المتطلبات، فالبنية الوظيفية للمستقبل "RAKE" تحتوي على هيكل يعتمد على أصابع متوازية، حيث يقوم كل إصبع بالعملية العكسية لإطالة الطيف وفقا للإشارات الواردة من مختلف المسارات التي تؤخذ بعين الاعتبار و ذلك لاسترداد إشارات البيانات المرسلة.

و في دراستنا هذه قمنا بالتعريف بأحد النماذج للمستقبل RAKE و الذي قمنا بمحاكاته في محيط "MATLAB" و قد أعطى " نتائج جيدة فيما يتعلق بتحسين عملية الاستقبال في نظام "WCDMA".

**كلمات المفتاح:** "UMTS", "WCDMA", المستقبل "RAKE", "MRC", إطالة الطيف,  
"DS-CDMA".

## *Introduction générale*

Le domaine des télécommunications et des réseaux a connu profonds changements, et une évolution rapide durant les dix années écoulées. Avec l'apparition de nouvelles technologies en télécommunications, les normes modernes deviennent de plus en plus strictes en termes de qualité de service rendu aux clients. Mais sur le plan technologique en particulier, les réseaux de transmission ont vu leur capacité s'accroître, notamment concernant le débit supporté et le nombre d'utilisateurs.

De plus, l'intégration des services et la diversité des données échangées (voix, vidéo haute définition, consultation interactive de base de données, Internet haut débit...) exigent des systèmes de plus en plus rapides pour traiter des volumes d'informations en augmentation constante ; tous nécessitent toujours plus de vitesse, ainsi que des capacités de traitement du signal accrues, en conservant des délais d'attente les moins contraignants possibles pour l'utilisateur [1]. La convergence des technologies de l'Internet et des réseaux mobiles qui se fera dans le cadre de la troisième génération des réseaux mobiles et au-delà et l'émergence des nouvelles applications temps-réel multimédias, telles que la vidéo et la visioconférence, nécessite la prise en compte de services à débit variables avec des contraintes de qualité de service diversifiées [2]. Ces systèmes de télécommunications de troisième génération sont regroupés, dans ce travail, sous le terme « UMTS » (*Universal Mobile telecommunication system*) [3].

Généralement, il n'est pas possible d'attribuer à chaque utilisateur son propre canal, d'autant plus que le nombre de personnes interconnectées ne cesse de croître. Il est donc absolument indispensable d'avoir recours à la nouvelle méthode du multiplexage à travers d'un canal radio.

Donc, les performances des systèmes de radiocommunications sont fortement liées aux choix des techniques qui permettent à des utilisateurs multiples (multi user) d'accéder à un canal



de transmission. La technique d'accès multiples au canal radio par répartition de code (CDMA) peut répondre à ces besoins.

Le CDMA (*Code Division Multiple Access*) est une technique d'accès multiple grâce à laquelle plusieurs utilisateurs peuvent communiquer en même temps dans une même bande de fréquences. La séparation entre chaque utilisateur se fait par codes connus exclusivement de l'émetteur et du récepteur et ces deux derniers doivent être synchronisés. C'est ce mode, plus précisément le WCDMA qui est retenu pour le réseau d'accès radio de l'UMTS. Il est dit "à large bande" avec une largeur de bande de 5 MHz.

Lors de la réception au sein d'un système de transmission de données, des problèmes d'accès au canal dans les protocoles large bande de type WCDMA sont apparues. Le cœur de la problématique se situe dans la partie numérique en bande de base, le récepteur RAKE. Ce récepteur est responsable de la démodulation du signal et de l'exploitation de la diversité du signal en identifiant et combinant les composantes de trajets multiples d'un même signal. En effet, cette dernière fonction est particulièrement importante d'une part de son rôle pour contrer les effets d'évanouissement causés par les trajets multiples, et d'autre part du rôle central du récepteur RAKE.

A travers ce sujet en va montrer l'importance du récepteur RAKE dans les systèmes WCDMA.

Ce projet est structuré autour de trois chapitres. Le premier chapitre détaille la technologie de troisième génération du réseau mobile GSM qui est l'UMTS.

Le second chapitre concerne l'étude théorique de la technologie WCDMA et le récepteur RAKE.

Le troisième chapitre est dédié à la simulation sous l'environnement Matlab d'un récepteur RAKE pour les techniques d'accès WCDMA.

Finalement, une conclusion générale et quelques perspectives à ce travail seront présentées.

## **I.1. Introduction**

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 (anyone, anywhere, anytime), 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... [4].

Dans ce projet, nous nous intéressons au réseau UMTS, ainsi, ce chapitre propose une description sur ce réseau, de point de vue, principes de base et architecture.

### **I.1. Bref Historique pour les technologies des générations du GSM**

Cette partie présente les différentes générations de la téléphonie mobile. Cela va permettre de mettre à plat les différences et ressemblances entre celles-ci.

#### **I.1.1. Technologies de première génération (1G)**

La première génération de téléphonie mobile (notée 1G) possédait un fonctionnement analogique et était constituée d'appareils relativement volumineux. Il s'agissait principalement des standards suivants :

AMPS (Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux Etats-Unis constitue le premier standard de réseau cellulaire. Ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.

TACS (Total Access Communication System) est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre.

ETACS (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS, développé au Royaume-Uni, utilisant un nombre plus important de canaux de communication.

Les réseaux cellulaires de première génération ont été rendus obsolètes avec l'apparition d'une seconde génération entièrement numérique [5].

## I.1.2. Technologies de deuxième génération (2G)

La seconde génération de réseaux mobiles (notée 2G) a marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique vers le numérique. Les principaux standards de téléphonie mobile 2G sont le GSM, le GPRS et l'EDGE.

### I.1.2.1. Le standard GSM

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21<sup>ème</sup> siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé. Baptisé Groupe Spécial Mobile à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée : Global System for Mobile communications au début des années 1990 [5].

Cette technologie représente la première technologie de téléphonie numérique sans fil. En 1992, le GSM est utilisé dans 7 pays européens [6].

En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800MHz. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande (parfois noté tri-bande), les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour Multimedia Message Service).

La bande de fréquences autour de 1800 MHz est dite DCS (Digital Cellular System) et celle autour de 1900 MHz est dite PCS (Personal Communication System) [5].

Avantages	Inconvénients
Meilleure qualité d'écoute	Débit : envoi de données lentes
Taille réduite	
Confidentialité des communications	

Tab. I.1 Les avantages et les inconvénients du GSM [6].

### I.1.2.2. Le standard GPRS

Le standard GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation GSM ++ (ou GSM 2+). Étant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2.5 G pour classer le standard GPRS. Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s). Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût. Ainsi, le standard GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment internet) [5].

Le GPRS supporte différents niveaux de qualité de service (QoS). Quatre paramètres définissent la qualité de service :

- Classe de priorité
- Classe de fiabilité
- Classe de délai / retard
- Classe de débit

Plusieurs nouveautés sont disponibles avec le GPRS comme l'Accès au Web, Messagerie électronique, Transfert de fichier, Commerce électronique et Services d'information [6].

Avantages	Inconvénients
Débits	Pas d'accès à l'Internet global
Accès WAP (Internet allégé)	Réseaux GSM déjà saturés
Facturation à la donnée	Aucune application décisive pour le grand public
Connexion permanente possible	
Support de plusieurs niveaux de qualité de service	

Tab. I.2 Les avantages et les inconvénients du GPRS [6].

### I.1.2.3. Le standard EDGE

Le standard EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution.) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE. EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par le GSM (8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. L'EDGE permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie, le standard EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kbit/s pour les stations fixes (piétons et véhicules lents) et jusqu'à 144 kbit/s pour les stations mobiles (véhicules rapides).

Avantages	Inconvénients
Solution alternative moins onéreuse que la 3G	Obligation de changer de terminal
Débits plus élevés que le GPRS	

Tab. I.3 Les avantages et les inconvénients de l'EDGE [6].

### I.1.3. Technologies de troisième génération (3G)

Les spécifications IMT-2000 de l'Union Internationale des Communications (UIT), définissent les caractéristiques de la 3G (troisième génération de téléphonie mobile). Ces caractéristiques sont notamment les suivantes :

- Un haut débit de transmission :
  - 144 Kbps avec une couverture totale pour une utilisation mobile,
  - 384 Kbps avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne,
  - 2 Mbps avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe.
- Compatibilité mondiale,
- Compatibilité des services mobiles de 3<sup>ème</sup> génération avec les réseaux de seconde génération.

La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbit/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visioconférence ou l'accès à internet haut débit. Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz [5].

### I.1.3.1. UMTS (3G)

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) a été développé en 2004 sous sa première version Release 99 (R99). La principale norme 3G, utilise un codage WCDMA.

La technologie UMTS utilise la bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 384 kbps à 2 Mbps.

Nous allons voir plus de détail au sujet d'UMTS dans ce chapitre et le schéma ci-après présent l'évolution de GSM vers l'UMTS [5].

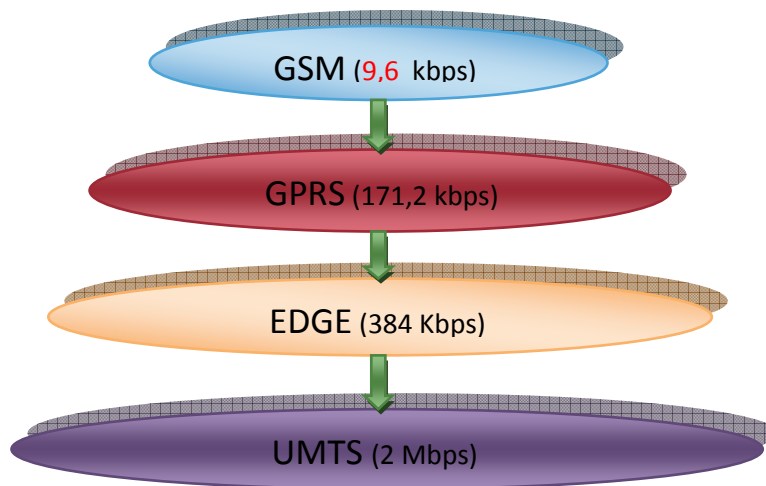


Fig. I.1 Evolution de GSM vers l'UMTS.

## I.2 Etude de l'interface radio UMTS

### I.2.1 Présentation de l'UMTS

L'UMTS est un réseau mobile de troisième génération capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur en terme de services à valeur ajoutée, tels que l'accès Internet à haute vitesse, le téléchargement de fichiers (audio et vidéo) ou alors la visiophonie. L'UMTS se base principalement sur la technique d'accès multiple large bande WCDMA pour y offrir ce type de service. Le système universel UMTS a été choisi dans le but de faire une distinction avec les systèmes de première et de deuxième génération qui sont considérés comme des systèmes axés principalement sur le service de la voix [7].

### I.2.2 Couverture globale de l'UMTS

Comme pour le réseau GSM, l'UMTS est divisé en cellules de tailles variables. On trouve : les macro-cellules, les microcellules, pico-cellules, en fonction de la densité de population à servir [8]. Il existe une extension qui permet un accès par satellite comme illustré sur la figure suivante.

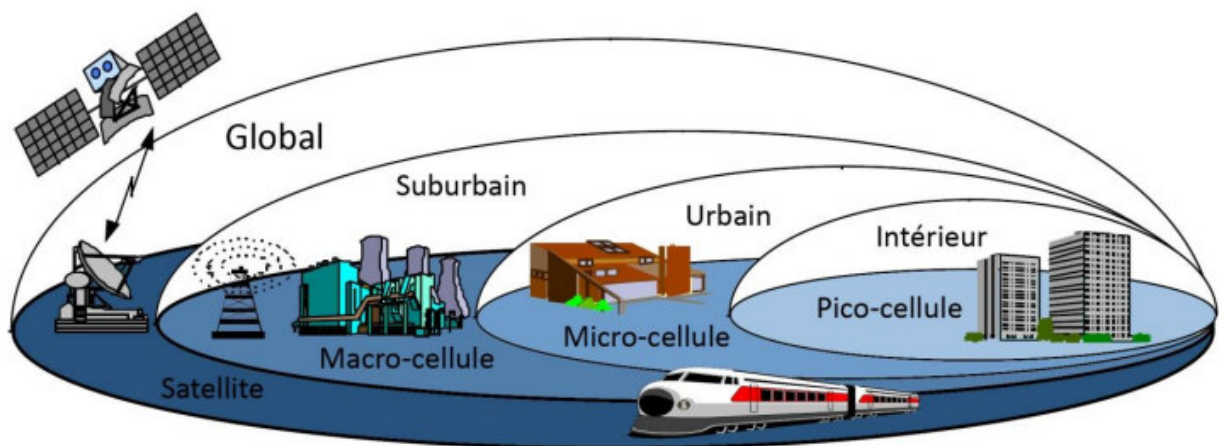


Fig. I.2 Couverture globale de l'UMTS suivant une structure hiérarchique de cellules [5].

Les macro-cellules couvrent les zones suburbaines et rurales, les micro-cellules les zones urbaines (forte densité d'utilisateurs) et les pico-cellules les zones bien denses telles les immeubles, les environnements intérieurs (indoor) [5].

Le débit dépend de la vitesse de l'utilisateur supportée par une particulière [8]:

- Macro-cellules : 144 Kbps pour 500 Km/h

- Microcellules : 384 Kbps pour 120 Km/h
- Pico-cellules : 2 Mbps pour 10 Km/h

### I.2.3 Les objectifs de l'UMTS

Le tableau. I. 4 résume les hypothèses de départ de spécification du système. Par rapport à l'existant, matérialisé par le GSM ou GPRS, apparaissent clairement les besoins suivants :

Un service de données temps réel et un service de données à haut débit, le premier s'accompagnant le plus souvent mais pas toujours du second. Si le GPRS, véritable système de transport de paquets, permet en théorie des applications du type courrier électronique, navigation Web ou téléchargement de fichiers, le besoin de services de données temps réel VoIP, ou certains services vidéo par exemple, peuvent difficilement se contenter de ses performances car il estime que plus de 300 ms de retard pour des paquets de voix est incompatible avec une restitution de qualité de la parole.

Environnement/Service	temps réel		temps non réel	
	Débit max	BER Retard	Débit max	BER Retard
Rural ( $v < 500$ km/h)	144 kb/s	$10E^{-3}/10E^{-7}$ 20 - 300ms	144 kb/s	$10E^{-5} / 10E^{-8}$ 150 ms (95%)
Urbain ( $v < 120$ km/h)	384 kb/s		384 kb/s	
Intérieur ou courte portée	2 Mbit/s		2 Mbit/s	

Tab. I.4 Les objectifs de l'UMTS [9].

Un des buts de l'UMTS est de fournir des services temps réel au moins jusqu'à 144 kbps pour les données et, éventuellement dans certains cas, de monter le débit pour certains utilisateurs jusqu'à 2 Mbps dans la cellule. Cela en continuant à fournir des services de voix performants en adaptant par exemple, comme en GSM, un ensemble de dispositifs de codage de la parole aux conditions radio du canal AMR (*Adaptive Multi-Rate*) [9].

### I.2.4 Les services support UMTS

L'UMTS permet à un utilisateur ou à une application de négocier les caractéristiques du support qui transmettra l'information. Il est également possible de modifier ces caractéristiques durant une connexion grâce à une procédure de renégociation. La négociation du support est à l'initiative de l'application, alors que la négociation peut être déclenchée



soit par cette même application, soit par le réseau, par exemple lors d'une situation de handover. Dans le cas d'une négociation par une application, cette dernière demande un support correspondant à ses besoins, le réseau vérifié que les ressources nécessaires correspondantes sont disponibles et que l'utilisateur possède les droits suffisants, puis il répond à l'application en lui accordant ou non sa requête initiale. L'utilisateur peut alors accepter ou refuser l'offre, les propriétés du support déterminant généralement le prix de service.

La classe du support, les paramètres propres au support et la valeur de ses paramètres sont directement liés à une application aussi bien qu'aux réseaux qui véhiculent l'information de bout en bout. Le jeu de paramètres devra être choisi parmi un ensemble de jeux afin de rendre les procédures de négociation et de renégociation simples et sans équivoque. Le format et la sémantique de ses paramètres devront tenir compte de ceux des protocoles de réservation de ressources, tel que RSVP (*Resource Reservation Protocol*) ainsi que de ceux utilisés en GPRS (*General Packet Radio System*).le concept de qualité de service (QoS *Qualité of Service*) devra être suffisamment souple et polyvalent pour permettre la négociation des supports des futures applications [3].

Le schéma ci-après 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).

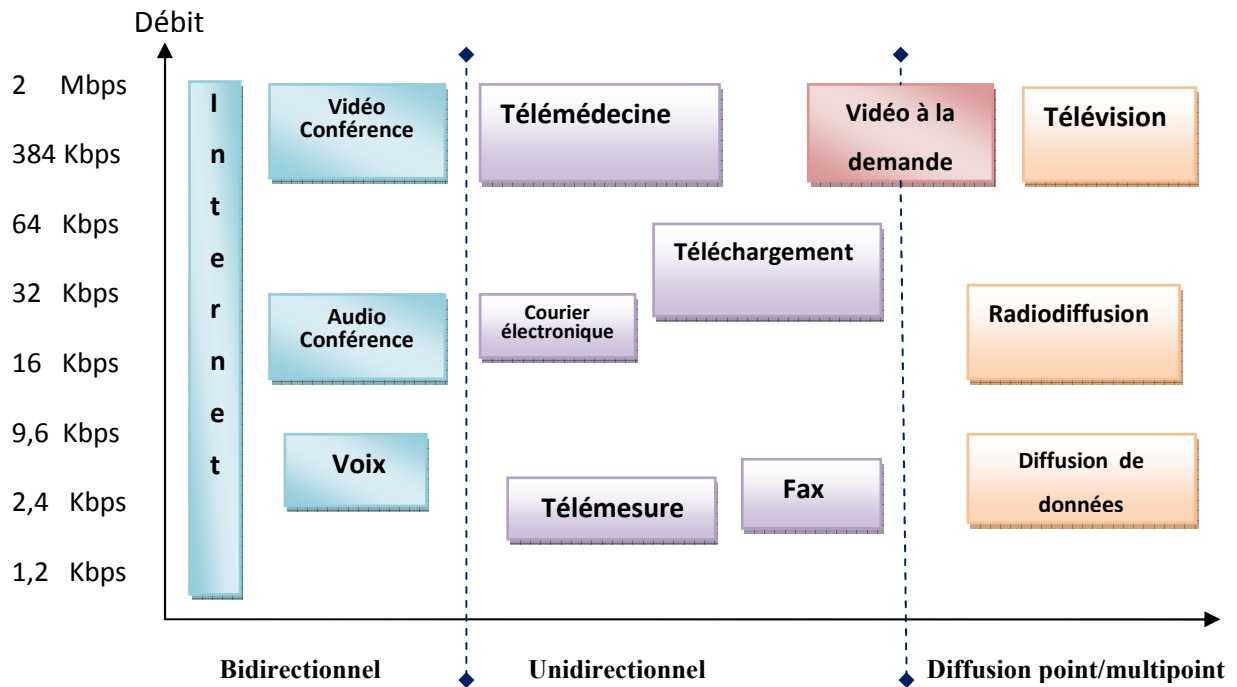


Fig. I.3 Les services de l'UMTS [9].

### I.2.5 Les Classes de qualité de service

Comme tous les nouveaux protocoles de transmission de données, L'UMTS doit être à même de répondre aux besoins en termes de qualité de service des applications et des utilisateurs. Il est courant de répartir ces applications en quatre groupes. Pour L'UMTS, les quatre classes de trafic suivantes ont été définies [3]:

- *Classe Conversational* : Temps réel : voix en mode circuit, voix en mode paquet (VoIP), services de vidéoconférence bidirectionnels. Le temps de transmission et les relations temporelles entre blocs de données doivent être maîtrisés.
- *Classe Streaming* : Ecoute ou visualisation de flux audio ou vidéo unidirectionnels entre un serveur et un usager. Le retard est moins important car le récepteur réaligne les flux de données reçus mais les relations de temps entre blocs de données sont importantes.
- *Classe Interactive* : Accès à des serveurs de données : navigation Web, télémétrie... Il s'agit d'échange de données entre un serveur et un usager en fonction des requêtes de ce dernier. Le temps d'aller et retour est maîtrisé, les données sont fiables : faible BER (Bit Error Rate).
- *Classe Background* : E-mail, messages courts (SMS), transfert de fichiers.

Les exigences se traduisent en termes de fiabilité : très faible BER. Le temps de transmission est moins important que celui de la classe Interactive [4].

Au début de L'UMTS, les classes *conversational* et *streaming* seront transmises en tant que connexions temps réel sur l'interface air WCDMA, alors que les classes *interactives* et *background* le seront en tant que connexion données (non temps réel) [3].

### I.2.6 Architecture du système UMTS

Le système UMTS est composé de différents éléments logiques qui possèdent chacun leurs propres fonctionnalités. Ainsi fonctionnellement, 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 *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 de 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 [3].

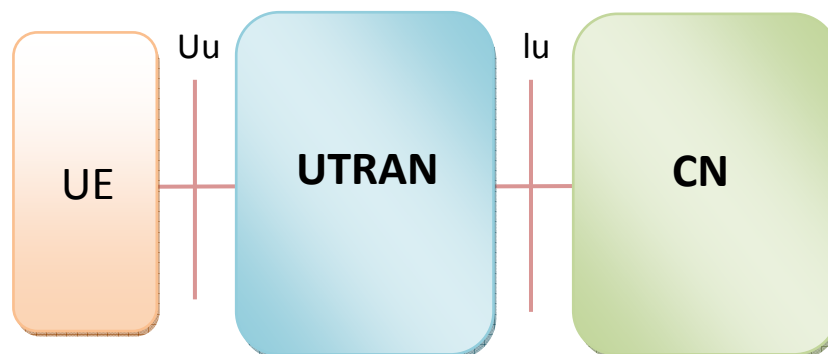


Fig. I.4 L'architecture globale du système UMTS [3].

### I.2.7 Les différents éléments de réseau UMTS

Il est courant de regrouper les différents éléments du réseau UMTS en différents sous-systèmes. Le système UMTS est modulaire, c'est-à-dire qu'il est possible d'avoir plusieurs éléments de réseau du même type dans le même réseau. Il est d'usage d'appeler de tels sous-systèmes, « PLMN » (*Public Land Mobile Network*). Généralement, un PLMN correspond à un opérateur et est connecté à d'autres PLMN ainsi qu'à d'autres types de réseaux tels que les réseaux RTCP (*Réseau Téléphonique Commuté Public*) et RNIS (*Réseau Numérique à Intégration de Services*) et d'autres réseaux de transmission de données. Et la figure ci-dessous présente les différents éléments d'un réseau UMTS correspondant à un seul opérateur ainsi que les différentes interfaces [3].

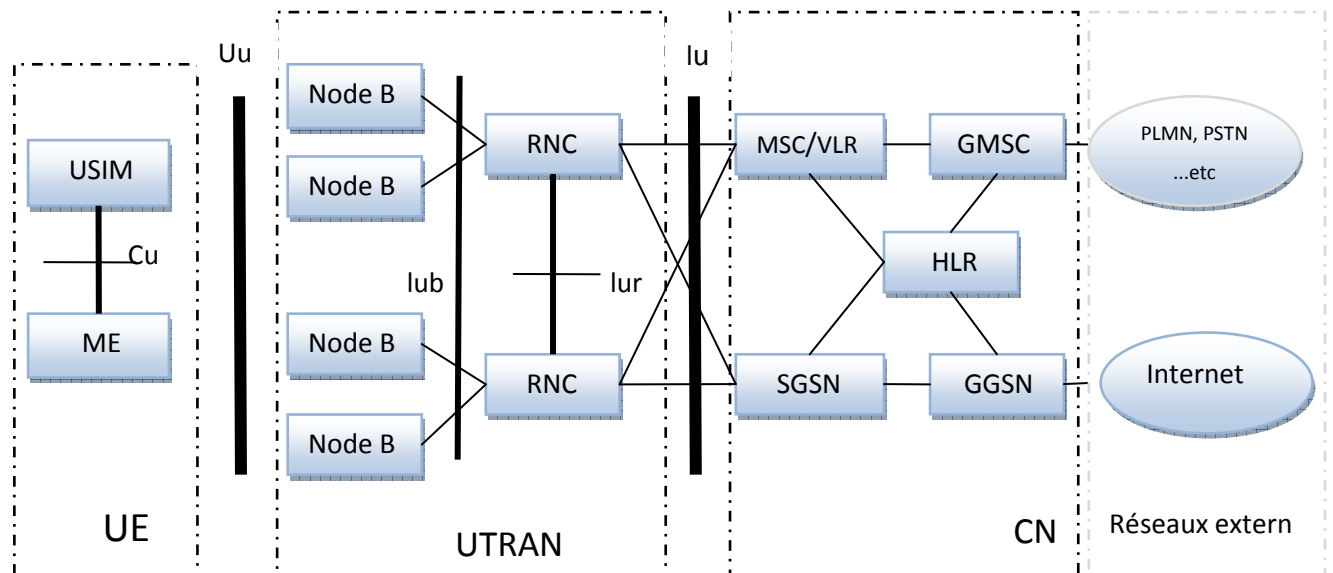


Fig. I.5 Les éléments du réseau UMTS [3].

#### I.2.7.1 L'architecture de réseau d'accès UTRAN

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il est chargé d'autres fonctions [6]:

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

L'UTRAN est complètement distinct du BSS du GSM. Il est constitué de un ou plusieurs RNC (Radio Network Controller), 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 réseau cœur par plusieurs liens (un par RNC) [4].

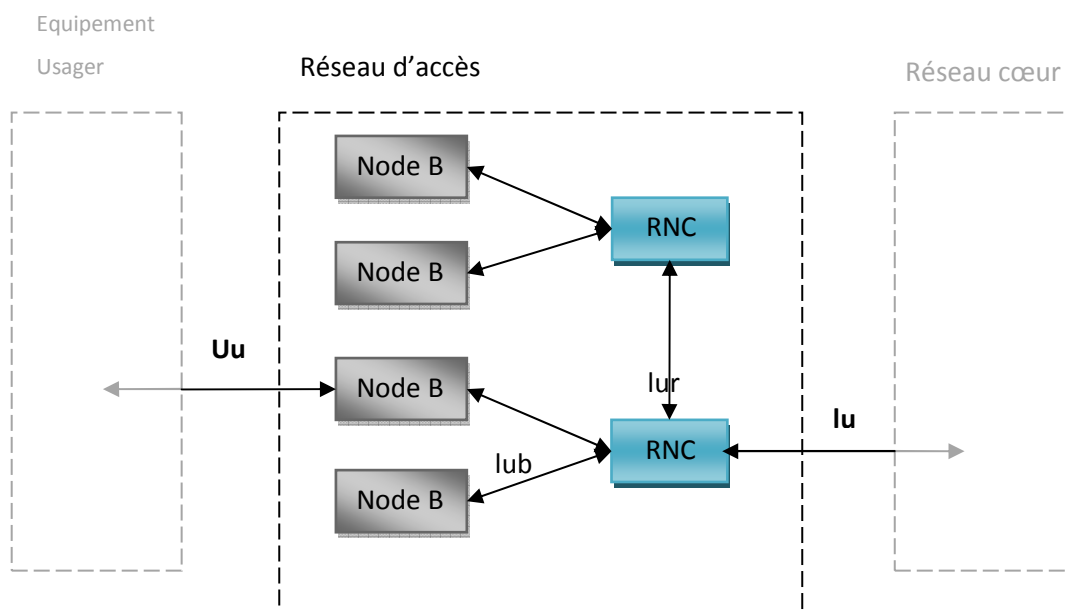


Fig. 1.6 Architecture du réseau d'accès [3].

- ◆ Le Node B convertit le flux de données entre les interfaces Lub et Uu et participe à la gestion des ressources radio. Notons que le terme « Node B » est équivalent au terme « station de base » du réseau GSM [3].

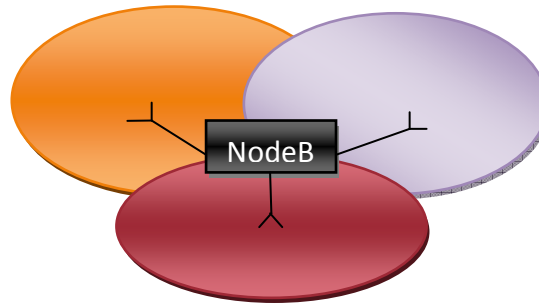


Fig. I.7 Node B avec antennes sectorielles [6].

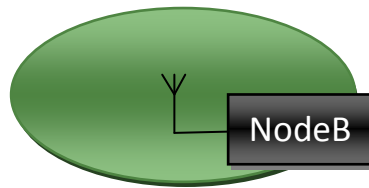


Fig. I.8 Node B avec antenne omnidirectionnelle [6].

Le nœud B peut en principe cohabiter avec une station de base GSM pour minimiser les coûts d'infrastructure. A ce titre, le Node B assure les fonctions suivantes :

- Adaptation de débit,
  - Etalement /désétalement WCDMA,
  - Modulation QPSK,
  - Combinaison des signaux issus de plusieurs secteurs du même Nœud B [9].
- ◆ Le RNC ( *Radio Controller Network*) gère les ressources radio de la zone dont a le contrôle, c'est-à-dire les ressources de la zone de couverture de tous les Node B auxquels il est rattaché. Le RNC est le point d'accès pour tous les services fournis par l'UTRAN au réseau cœur [3]. Les fonctions radio gérées par le RNC sont essentiellement [4] :
- L'admission;
  - La gestion de la connexion RRC;
  - Le soft-handover.

- ◆ Les interfaces de communication sont structurées de telle façon que les fonctionnalités internes des éléments de réseau. Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS qui sont [6] :

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.

- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.

- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.

- Iub : Interface qui permet la communication entre un Node B et un contrôleur radio RNC.

### **I.2.7.2 Réseau cœur**

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

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.
- Les éléments communs aux domaines CS et PS

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication paquets et circuits. Ces domaines peuvent être considérés comme des domaines de service. Ce type d'architecture permet de pouvoir créer ultérieurement d'autres domaines de service [6]. La figure suivante représente l'architecture du réseau cœur de l'UMTS.

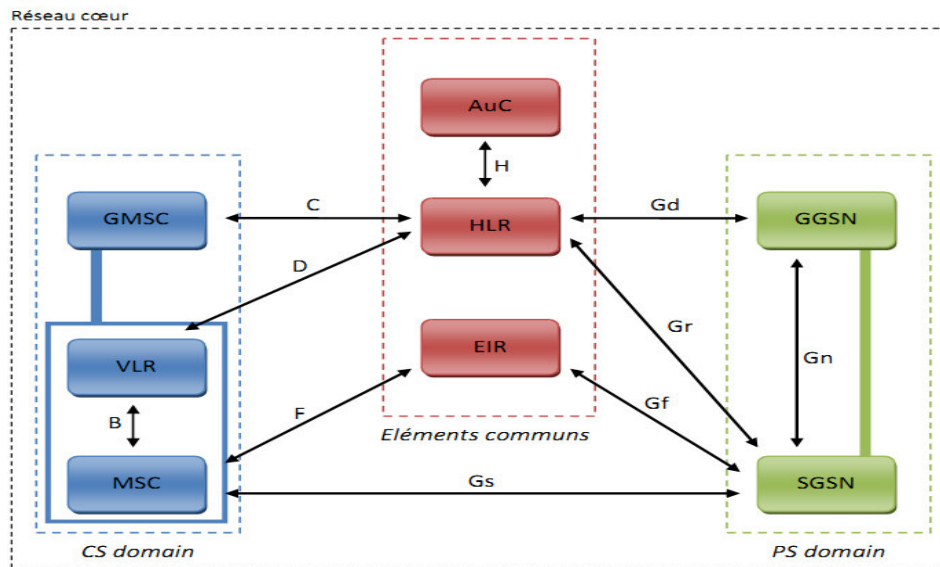


Fig. I.9 Architecture du réseau cœur de l'UMTS [6].

Les éléments de réseau cœur sont :

- ◆ L'AuC (*Authentication Center*) est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication. Si une de ces deux fonctions n'est pas respectée, la communication est rejetée. L'AuC se base sur le HLR afin de récupérer les informations relatives à l'utilisateur et pour ainsi créer une clé d'identification.
- ◆ L'EIR (*Equipment Identity Register*) est en charge de la gestion des vols des équipements usagers. Il est en possession d'une liste des mobiles blacklistés par un numéro unique propre à chaque équipement usager, le numéro IMEI (*International Mobile station Equipment Identity*) [6].
- ◆ Le HLR (*Home Location Register*): est la base de données de référence qui gère l'ensemble des abonnés et leurs profils. Le profil d'un abonné regroupe de nombreuses informations telles que son numéro de téléphone, les services qu'il a le droit d'utiliser, les informations relatives aux services supplémentaires tels que les renvois d'appel, les restrictions d'appels, etc. ce profil est créé lorsque l'abonné souscrit un abonnement et est stocké tant que son abonnement reste valide. Afin de pouvoir router efficacement les appels entrants, le HLR stocke également des données de localisation de l'abonné en termes de zone MSC/VLR et/ou de zone SGSN, c'est-à-dire à un niveau que l'on pourrait qualifier de macroscopique [3].



- ◆ Le MSC/VLR (*Mobile Switching Center/Visitor Location Register*) : correspond au commutateur (MSC) et à la base de données (VLR) qui fournit des services circuit à un terminal utilisateur présent dans leur zone. Le MSC permet la commutation des connexions circuit alors que le VLR contient une copie du profil de l'abonné et certaines informations plus précises relatives à la localisation de l'abonné. Il est courant d'appeler « domaine circuit », la partie du réseau gérée par la MSC/VLR [3].
- ◆ Le GMSC (*Gateway MSC*) : est un commutateur connecté directement aux réseaux externes en mode circuit. Toutes les communications entrantes et sortantes, en mode circuit, passent nécessairement par un GMSC. Le GMSC est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (*Public Switched Telephone Network*) [3].
- ◆ Le SGSN (*Serving GPRS Support Node*) : possède des fonctionnalités similaires au MSC/VLR mais est utilisé pour les communications paquet. La partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée «Domain paquet » [3].
- ◆ Les fonctionnalités du GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) : sont très proches de celles du GMSC, mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet [3].

### I.2.7.3 Les équipements d'utilisateurs

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

#### a) Le mobile

Les technologies de l'informatique et des télécommunications se rapprochent par l'intégration de système d'exploitation et d'applications sur les terminaux UMTS. Les terminaux s'adapteront sur différents réseaux et devront être capables de fonctionner sur environnements :

- Dans une zone rurale;
- Dans des espaces urbains;
- Dans un bâtiment;
- Avec un satellite.

Le terminal utilisera ainsi les réseaux GSM / GPRS / UMTS pour une couverture nationale tout en faisant appel aux réseaux de satellites pour une couverture mondiale si nécessaire. Le terminal sera équipé d'un navigateur, une évolution du browser WAP présent dans le système GSM actuel [10].

### b) La carte USIM

La carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module) est une carte à puce qui stocke l'identité de l'abonné, les algorithmes et les clés d'authentification, les clés de chiffrement ainsi que certaines données relatives à l'abonnement de l'utilisateur qui sont nécessaires au niveau du terminal [3]. Ce qui assure la sécurité du terminal, la confidentialité des communications et la protection des données d'identité de l'abonné [10].

### I.2.8 Utilisations des architectures réseaux existantes

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants parce que la mise en place d'un système UMTS est très cher (achat licence + modification majeures sinon totales des éléments de base du réseau (station / antenne) répartis de manière massive sur un territoire national). Les réseaux existant GSM et GPRS apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Data ; le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia.

Le réseau cœur de l'UMTS se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet [11].

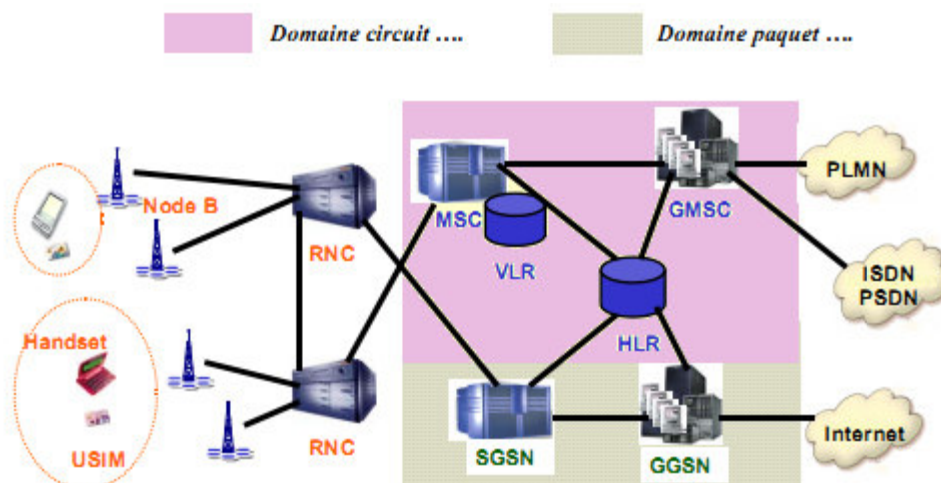


Fig. I.10 Les éléments existantes du réseau UMTS [11].

**a) Le domaine circuit**

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, streaming, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit sera de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe [11].

**b) Le domaine paquet**

Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'Internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'accès/utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC / VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données [11].

**I.2.9 Les apports du réseau UMTS**

Le réseau UMTS permettra à l'opérateur de proposer à ses abonnés des services innovants.

Le GSM répond aux attentes en terme de communication de type Voix et le réseau GPRS répondra aux attentes en terme d'échange de Data en complément du réseau GSM. L'avènement des réseaux UMTS sera la l'ère du multimédia portable. Nous verrons en Partie 2 de ce rapport quels types de services pourront être proposés (vidéo, jeux ...) aux utilisateurs finaux [11].

**I.3. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons fait un rapide tour d'horizon de l'UMTS en termes de services et d'applications. Bien évidemment le contenu que nous venons de voir n'est pas exhaustive mais elle donne un bon aperçu de ce que nous devons voir apparaître dans les années à venir. Rappelons que l'UMTS permet d'offrir des débits importants tant en mode

circuit qu'en mode paquet, une prise en charge efficace de différents supports, des appels multi-parties et bien d'autres fonctionnalités qui rendront possible la création de nouvelles applications à des couts modérés.

## II.1 Introduction

Les systèmes de transmission numérique de l'information véhiculent des données entre deux entités élémentaires que sont la source et la destination. Ces données circulent par le biais d'un support physique qui peut être un câble, de la fibre optique ou un faisceau hertzien comme les canaux radio mobile. Les transmissions d'information sur ces canaux sans fil subissent des perturbations comme la propagation multi trajets avec évanouissement et les interférences. Les systèmes à étalement de spectre ont pour objectifs de résister à ces phénomènes et pour éviter l'interférence entre les usagés et pour la sécurité des communications, ils utilisent des techniques d'accès comme le CDMA large bande qui est ciblé pour la troisième génération (3G) des systèmes de communications multimédia « l'UMTS ». Ces dernières ont besoin à la réception d'un récepteur spécial comme le récepteur RAKE.

Ce chapitre a pour but de situer le CDMA large bande (WCDMA) par rapport aux autres familles de méthodes d'accès et de préciser ces caractéristiques principales afin de situer et préciser l'importance de l'étalement de spectre. Finalement, nous avons modélisé et décrit un récepteur RAKE destiné pour l'optimisation de la réception du signal au niveau du système UMTS.

## II.2 Le Canal radio mobile

### II.2.1 Définition

Pour être mobiles les terminaux d'un système de communication doivent pouvoir ne pas être physiquement reliés au réseau. Le canal radio permet de réaliser des transmissions entre émetteurs et récepteurs grâce à la propriété du champ électromagnétique qui se propage sous forme d'ondes, d'une manière efficace et sûre, quelles que soient les conditions de propagation [8]. En effet, plusieurs phénomènes viennent entacher le signal reçu d'erreurs que le mobile et la station de base doivent détecter et prendre en compte lors du processus de réception [12].

### II.2.2 Caractéristiques du canal radio mobile

Dans un canal radio idéal, le signal reçu se composerait seulement d'un signal simple du chemin direct, qui serait une reconstruction parfaite du signal transmis. Cependant dans un vrai canal radio, le signal reçu se compose d'une combinaison des reproductions atténuée, réflétée et réfractée du signal transmis [13]. En plus de ceci, le canal radio mobile souffre de

plusieurs imperfections comme, l'interférence, l'effet Doppler et l'effet de masque, l'évanouissement, la propagation multi-trajet. Ces deux derniers effets seront décrits plus loin dans ce chapitre.

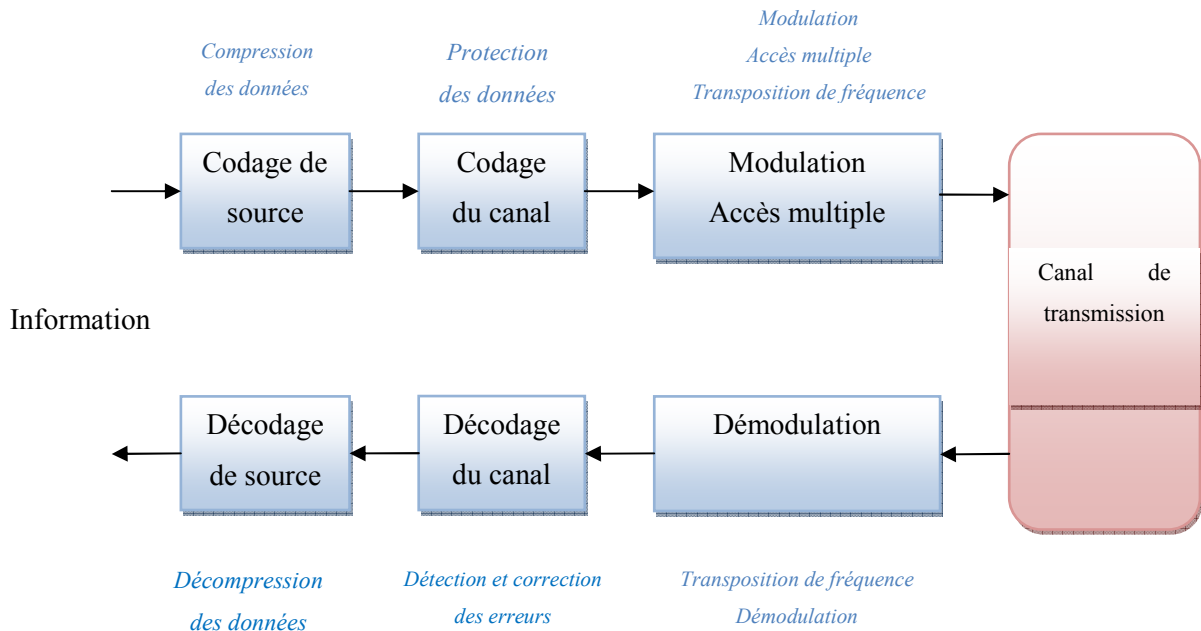


Fig. II.1 Systèmes de communication.

### II.3 Le CDMA large bande (W-CDMA)

L'interface radio de l'UMTS se base sur le WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). Cependant, le WCDMA se base sur une technique plus ancienne qui est le CDMA (*Code Division Multiple Access*). Afin de comprendre les concepts du WCDMA, il est important de comprendre les différents techniques d'accès au canal.

#### II.3.1 Les techniques d'accès au canal

Les performances des systèmes de radiocommunications sont fortement liées aux choix techniques, qui permettent à des utilisateurs multiples d'accéder à un canal de transmission.

On distingue plusieurs types de systèmes de communication à utilisateurs multiples. Nous nous intéressons par les techniques d'accès multiple qui permettent à plusieurs liaisons élémentaires d'utiliser le même support de transmission.

### II.3.1.1 Techniques d'accès multiple FDMA et TDMA

La technique d'Accès Multiple par Répartition de Fréquences (*FDMA*) est une solution simple qui consiste à diviser la bande de fréquence  $W$  disponible en  $N_u$  (nombre d'utilisateurs total) sous bandes disjointes et à allouer une sous bande à chaque utilisateur. Elle est utilisée dans de nombreux systèmes tels que le GSM, ainsi que dans de nombreux systèmes satellitaires. Cependant, cette méthode présente deux inconvénients majeurs. D'abord, les différentes sous bandes sont séparées par une bande de garde. Ainsi, le nombre de sous bandes est inférieur au nombre idéal. Ensuite, la complexité du système d'E/R (Emission/Réception) est accrue car il doit pouvoir travailler sur plusieurs fréquences. D'où la nécessité de réaliser des synthétiseurs de fréquences et surtout des filtres (un pour chaque canal), rendant ainsi le système peu flexible au niveau du nombre d'utilisateurs.

La technique d'Accès Multiple par Répartition de Temps (*TDMA*) consiste à définir une durée de trame  $T_t$  et à décomposer cette dernière en  $N_u$  intervalles de temps encore appelés "time slot", de durée  $T_{\text{slot}} = T_t/N_u$ . Ainsi, chaque utilisateur souhaitant transmettre des données se voit allouer un "time slot" particulier dans chaque trame. La division temporelle permet ainsi d'avoir un débit plus grand qu'avec le FDMA (pas de fréquence de garde). En outre, cette méthode est plus flexible au niveau du nombre d'utilisateurs à partir du moment où le temps d'accès est paramétrable. L'inconvénient majeur de cette technique est de nécessiter une horloge commune à tous les utilisateurs, ce qui peut poser des problèmes de synchronisation [10].

Ainsi, pour les modes d'accès FDMA ou TDMA, le canal de transmission est décomposé en sous canaux indépendants, chaque sous canal étant alloué à un utilisateur. La principale difficulté consiste donc à allouer les ressources libres (sous bandes ou times slot) aux utilisateurs, ce qui n'est pas le cas du CDMA [10].

### II.3.1.2 Technique d'accès multiple CDMA

L'Accès Multiple par Répartition de Codes (*CDMA*), est une technique de multiplexage plus récente que le TDMA et le FDMA. Cette méthode d'accès est issue des transmissions étalées utilisées dans le contexte des transmissions militaires depuis de nombreuses années. L'objectif des premières transmissions militaires étalées était de résister au mieux à des brouilleurs bandes étroites et de réaliser des transmissions discrètes [14]. Dans cette technique d'accès multiple, les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les

mêmes intervalles temporels. Le CDMA est utilisé dans de nombreux systèmes de communication. Il permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même onde porteuse. Les transmissions sont numérisées, dites à étalement de spectre. L'étalement du spectre rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquence. Le signal est ainsi transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire [6]. Contrairement aux FDMA et TDMA où la capacité en nombre d'utilisateurs est limitée respectivement par les ressources fréquentielles et temporelles, en CDMA, le nombre d'utilisateurs est fixé par les propriétés des codes d'étalement utilisés. Le CDMA constitue donc une alternative aux FDMA et TDMA permettant d'augmenter la capacité des systèmes. La ci-dessous représente de façon schématique ces trois techniques d'accès multiple.

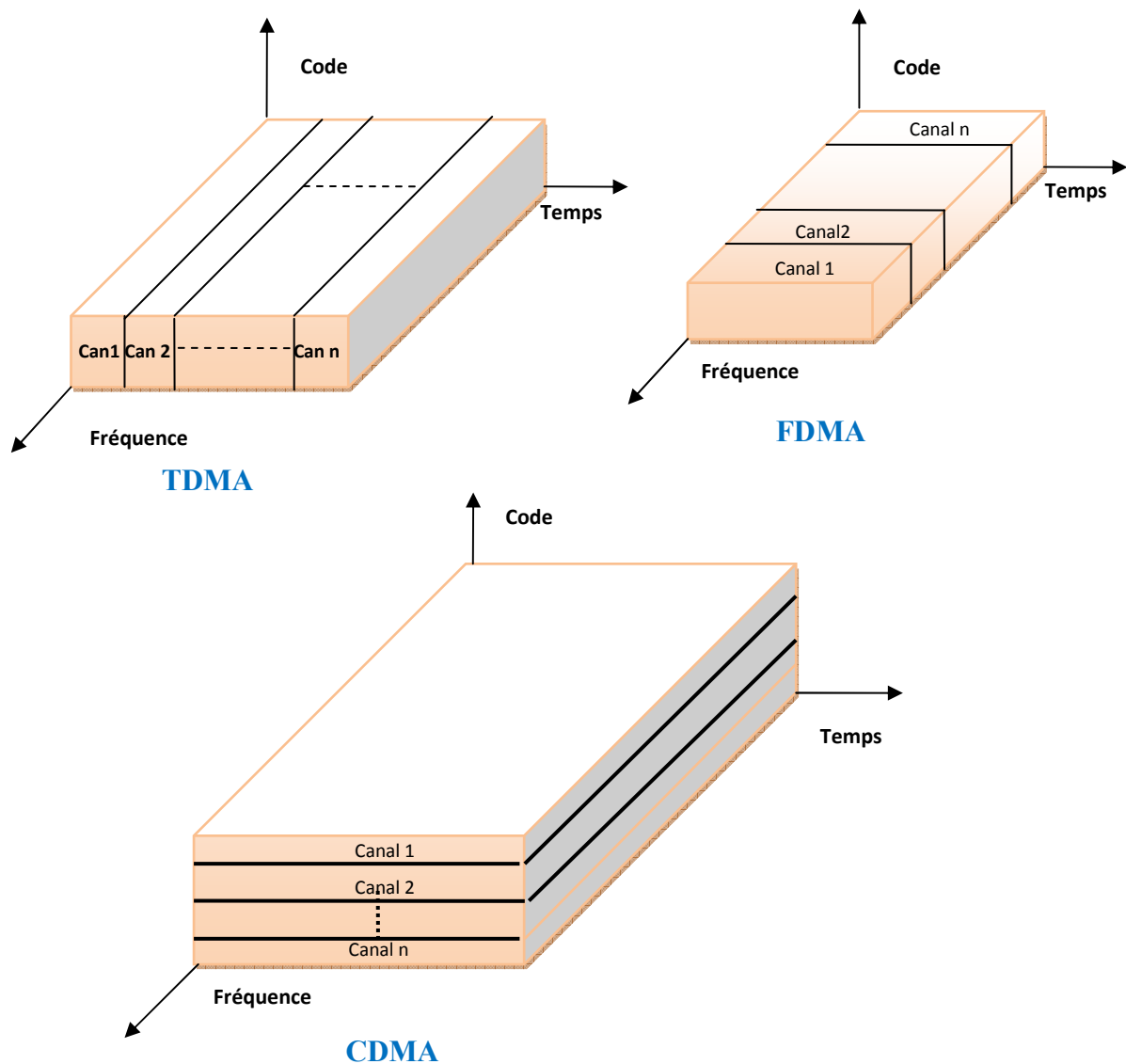


Fig. II.2 Les schémas des trois techniques d'accès multiple [14].



### II.3.2 Technique d'accès large bande CDMA (WCDMA)

WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access), il s'agit de la même technique CDMA, en utilisant des canaux large de 5 Mhz en UMTS [7]. Alors le CDMA large bande est une extension du concept de CDMA à bande étroite et la figure ci-dessous représente de façon schématique un système WCDMA à l'émission.

Le CDMA est une technique d'accès multiple grâce à laquelle les différents utilisateurs peuvent communiquer simultanément dans une même bande de fréquences. La distinction entre les différents utilisateurs s'effectue grâce à un code qui leur est attribué et connu exclusivement par l'émetteur et le récepteur. Si l'on considère les systèmes basés sur le FDMA et le TDMA, on s'aperçoit que leur capacité est limitée par la bande de fréquences allouée à chaque utilisateur. Aussi, la capacité d'un système basé sur CDMA est limitée, notamment par le niveau d'interférence dans le réseau. En fait, les caractéristiques du système WCDMA seront notre principal développement dans les explications suivantes.

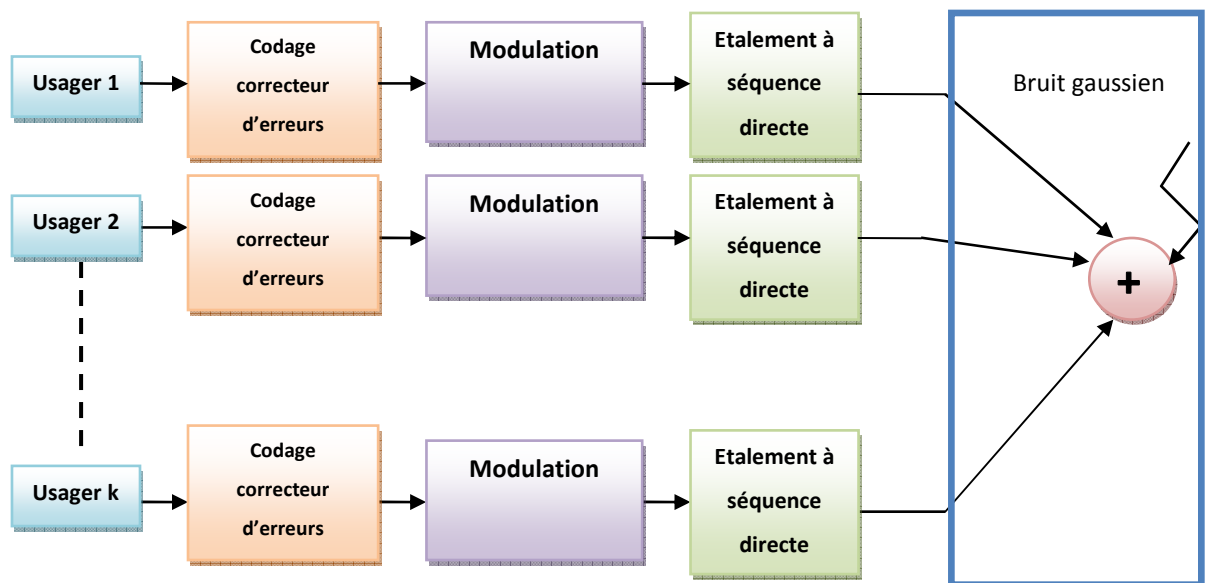


Fig. II.3 Schéma d'un système WCDMA à l'émission [14].

### II.3.3 Caractéristiques du WCDMA

Toutes les caractéristiques du CDMA s'appliquent également au WCDMA. Néanmoins, le WCDMA apporte plusieurs améliorations concernant la performance et la flexibilité des services, ainsi que l'exploitation de l'extensibilité. Les principales différences entre le CDMA et le WCDMA sont couvertes dans les sections suivantes.

Le CDMA et le WCDMA sont des systèmes d'accès multiple par répartition de code utilisant une modulation par séquence directe (*DS-CDMA, Direct Sequence Code Division Multiple Access*). Cela signifie que les bits correspondants aux données utilisateur sont étalés sur une large bande passante en multipliant ces données utilisateur par une séquence pseudo-aléatoire de bits (*appelée chip*) provenant des codes d'étalement CDMA. Afin de pouvoir supporter des débits très élevés (jusqu'à 2Mbit/s), le WCDMA utilise des transmissions à facteur d'étalement variable et à codes multiples.

Le débit chips (débit binaire de la séquence de code) de 3.84 Mc/s donne une bande passante par porteuse de l'ordre de 5 MHz. La large bande passante par porteuse du WCDMA permet de supporter des débits utilisateur importants. Elle a en outre un impact bénéfique sur les performances du système. En effet, en fonction de la licence qui lui a été attribuée, l'opérateur peut utiliser plusieurs porteuses pour augmenter la capacité de son réseau. L'espacement des porteuses peut être choisi par pas de 200 kHz, entre 4,4 et 5 MHz, selon le niveau d'interférence entre les porteuses [3].

Le WCDMA possède deux modes de fonctionnement : le mode FDD (*Frequency Division Duplex*) et le mode TDD (*Time Division duplex*) [3].

### **II.3.3 Les techniques de multiplexage**

#### **II.3.3.1 Le mode FDD**

Dans le mode FDD, deux bandes passantes de 5 MHz sont utilisées, l'une pour le sens montant (*uplink*), l'autre pour le sens descendant (*downlink*). Le sens montant, *uplink*, correspond à la transmission du mobile vers la station de base, alors que le sens descendant, *downlink* correspond à la station de base vers le mobile. La méthode FDD est la plus couramment utilisée pour les systèmes cellulaires [3].

Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires [6].

#### **II.3.3.2 Le mode TDD**

Le mode TDD, une seule bande passante de 5MHz pour les deux sens [3]. Cette technique est la plus flexible lorsque le spectre n'est disponible qu'en quantités limitées. Le mode TDD possède des adeptes, notamment en chine ou un certain nombre de développements le concerne. De plus, des propositions techniques concernant le mode TDD

ont été générées du fait qu'un certain nombre d'autorités nationales allocataires de spectre, ont alloué pour chaque opérateur candidat à l'achat d'une licence UMTS en mode FDD (par exemple sur 15 MHz), un bout de bande de 5MHz supplémentaire supposé servir le TDD. Les opérateurs et industriels cherchent encore la meilleure façon d'utiliser cette bande passante, nous nous contenterons dans la suite de décrire le mode FDD, véritable mode nominal de l'UMTS [9].

Elle comprend donc une composante TDMA (*Time Division Multiple Access*) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur. Le tableau suivant résume les Principaux paramètres de WCDMA.

Méthode d'accès multiple	DS-CDMA
Méthode de multiplexage	Fréquence Division Duplex/ Time Division Duplex
Synchronisation des stations de base	Fonctionnement asynchrone
Débit <i>chip</i>	3,84 Mc/s
Durée de trame	10 ms
Multiplexage des services	Services multiples possédant une qualité de service différente multiplexé sur une seule connexion
Débit variable	Facteur d'étalement variable et codes multiples
Détection	Cohérente
Détection multi-utilisateurs et antennes adaptatives	Supportées par la norme, implémentation optionnelle

Tab. II.1 Principaux paramètres du WCDMA [3].

### II.3.4 Les avantages du WCDMA

- Un gain de traitement plus élevé. En effet, en élargissant la bande, le signal est moins sensible aux interférences. Cela permet aussi d'accroître le nombre d'utilisateurs présents dans une cellule.
- La possibilité de transmettre des services à haut débit : Avec 5 MHz de largeur de bande, nous pouvons atteindre un débit de 2 Mbps.
- Meilleures performances pour détecter les trajets multiples. En effet, dans un canal de propagation à trajets multiples, des versions décalées du signal transmis parviennent à des intervalles de temps différents. Cette propriété qui était un inconvénient dans d'autres systèmes, va être utilisée dans un système CDMA en combinant les signaux pour diminuer le taux d'erreurs et obtenir ainsi de meilleures performances.

- La possibilité de déploiement dans un spectre de fréquences déjà utilisé, qui consiste à faire cohabiter un système WCDMA et un autre système cellulaire sur un même spectre de fréquences.

- L'inconvénient majeur du WCDMA est qu'il requiert un support matériel et logiciel plus élaboré qu'un système à bande étroite [4].

#### **II.4 L'étalement de spectre**

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 de fréquences ou le domaine du temps. C'est une technique par laquelle un signal est transmis sur une bande passante considérablement plus large que la bande nécessaire pour que l'ensemble des fréquences composant le signal original ne soient transmises par des méthodes classiques de modulation. 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. Deux motivations sont à l'origine de cette technique : en premier lieu, résister aux efforts ennemis pour brouiller le signal, puis cacher la communication elle-même. De nos jours, l'aspect partage d'une même fréquence par plusieurs utilisateurs (accès multiple) est l'une de ses principales applications. Par ailleurs, l'étalement de spectre facilite les transmissions numériques dans les cas d'interférences par trajets multiples. Le saut de fréquence, l'étalement par séquence directe, l'étalement par sauts de temps, et les combinaisons de ces techniques sont des formes d'étalement de spectre. Cette technique est réapparue dans les années 1960. Elle est par exemple utilisée par le système de positionnement par satellites (GPS), les liaisons cryptées militaires et plus récemment dans les liaisons sans fil 3G UMTS (WCDMA) [1]. La figure suivante représente un exemple d'un système d'étalement de spectre codé.

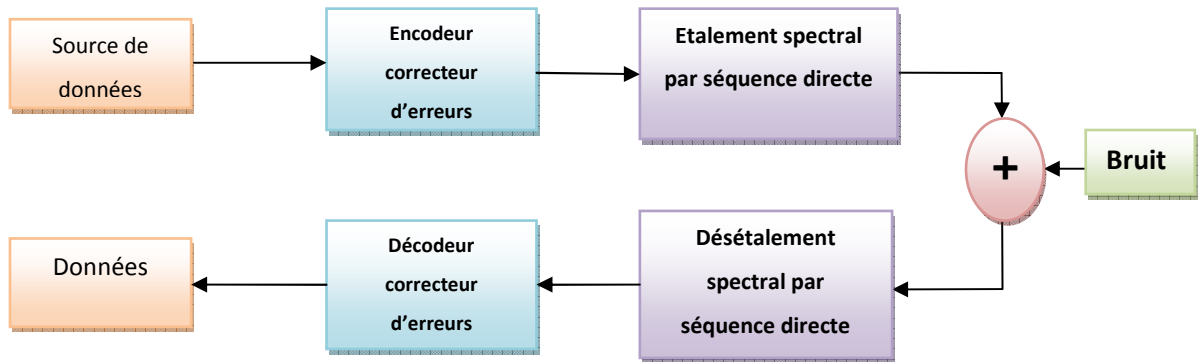


Fig. II.4 Schéma synoptique d'un système d'étalement de spectre (WCDMA) [14].

#### II.4.1 Principe d'étalement de spectre

L'étalement de spectre (*en anglais Spread Spectrum*) peut être défini de la façon suivante : « 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 [1] et la figure ci-dessous représente le principe d'étalement de spectre. Il existe trois concepts fondamentaux pour l'étalement de spectre avec accès multiple : la DS-SS (Direct Sequence Code Division Multiple Access) et la FH-SS (Frequency Hopping Code Division Multiple Access) et l'étalement par sauts de temps TH-SS (Time Hopping Code Division Multiple Access).

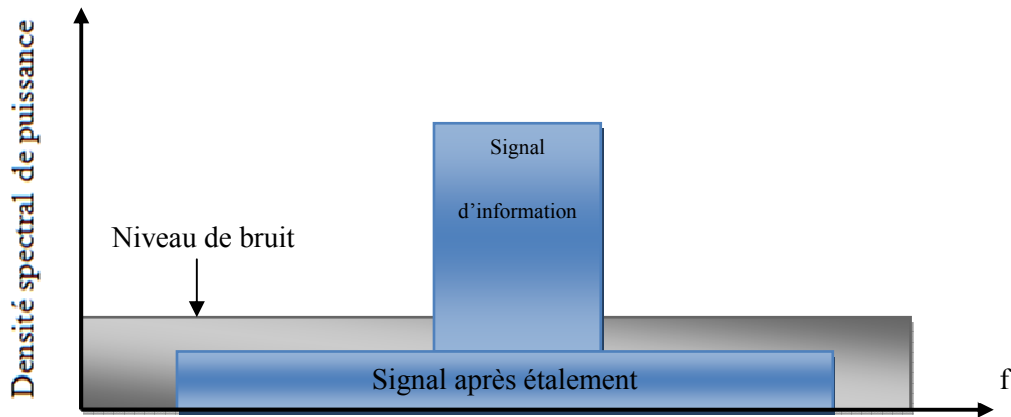


Fig. II.5 Principe conceptuel de l'étalement de spectre [1].

Dans un système CDMA, le spectre du signal à transmettre est étalé pour devenir beaucoup plus large que la largeur de bande minimale nécessaire à transmettre l'information, ce qui le rend difficilement détectable par les autres usagers du même système car il devient noyé dans le bruit.

#### II.4.1.1 Etalement de spectre par DS-CDMA

Le WCDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe (*Direct Sequence*). Pour cela, dans le CDMA à séquence directe (*DS-CDMA*), les données associées à un utilisateur sont modulées en phase, en fréquence ou en amplitude. Le signal résultant est par la suite codé par une séquence de code (*séquence pseudo aléatoire*), puis superposé aux autres signaux traités de la même manière.

Comme le montre la Figure suivante, un signal binaire  $x(t)$  modulé par exemple en phase BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), est codé par une séquence pseudo-aléatoire  $pn(t)$  ou *Pseudo Noise (PN)*. Le résultat de ce codage est représenté par le signal  $g(t)$ .

Le codage des données s'effectue donc de manière « *directe* », sans faire intervenir d'autres paramètres comme la fréquence ou la longueur d'onde.

Il est, bien sûr, tout à fait possible de coder les données avant d'appliquer la modulation, d'amplitude, de phase ou de fréquence souhaitée [15].

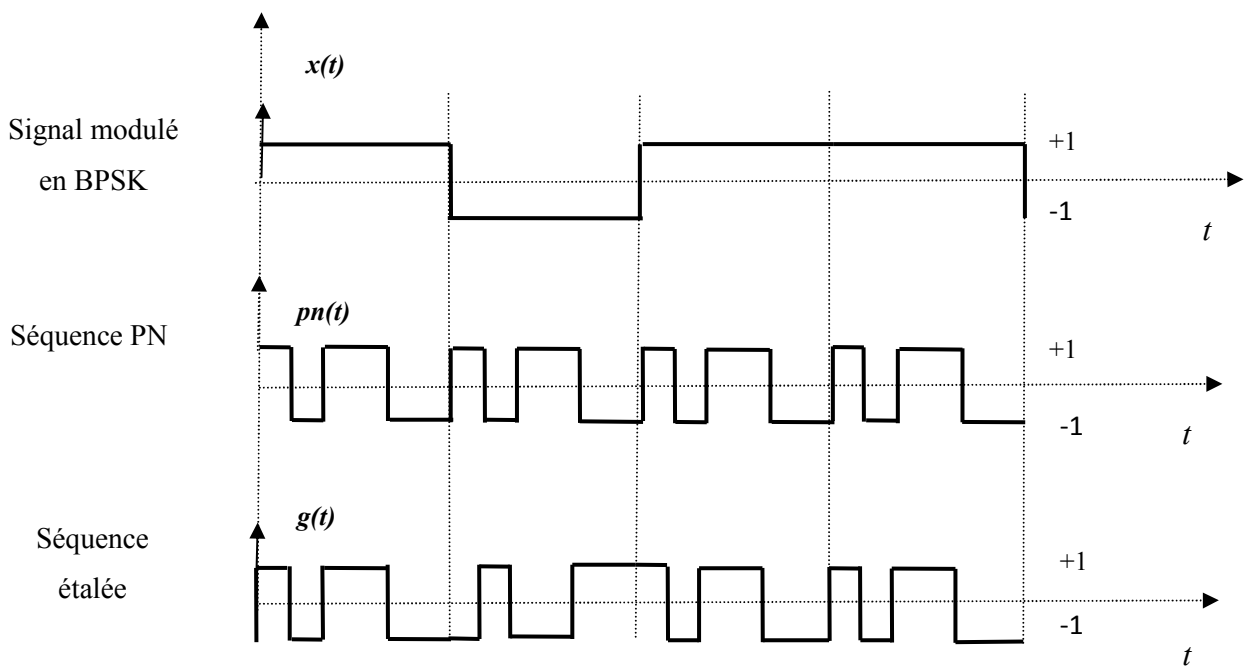


Fig. II.6 Schéma d'un codage CDMA par séquence directe (*DS-SS*) [15].

#### II.4.1.2 Étalement de spectre par FH-SS

Dans le protocole CDMA par saut de fréquence, la fréquence porteuse du signal d'information modulé n'est pas constante et change périodiquement  $M$  fois chaque intervalle de temps  $T$ . Pendant des intervalles de temps  $T$ , la porteuse reste la même, mais après chaque intervalle de temps, la porteuse saute vers une autre (ou éventuellement la même) gardant la même largeur de bande telle que la manière de sauts est régit par le code. Dans ce type de protocole, il y a deux manières d'étalement :

- L'étalement par Saut de fréquence Lent SFH (*Slow frequency hopping*) : plusieurs symboles sont transmis par saut.
- Étalement par Saut de fréquence rapide FFH (*Fast Frequency Hopping*) : plusieurs Sauts par symbole. C'est la manière la plus résistante aux interférences, mais elle est plus complexe pour la mettre en œuvre puisque des synthétiseurs de fréquence rapides sont exigés.

Pour la détection, le récepteur doit connaître à l'avance le protocole de saut, si non la détection du signal sera très difficile. C'est la fonction du code PN qui permette d'assurer que toutes les fréquences, dans toute la largeur de bande disponible, sont employées de façon optimale.

### II.4.1.3 Étalement de spectre par TH-CDMA

L'étalement par sauts de temps consiste à diviser la durée de la transmission en plusieurs intervalles de temps de durée  $T$  et chaque intervalle est segmenté en plusieurs créneaux de temps de durée  $T_c = \frac{1}{f_s}$  où  $f_s$  est la fréquence de la séquence pseudo aléatoire.

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.

Soit  $n_b$  le nombre de bits d'information transmis dans un créneau de temps. Dans ce cas, le gain de traitement ou autrement dit le facteur d'étalement est:

$$G = \frac{T}{n_b \cdot T_c} \quad (\text{Equ. II.1})$$

Cette méthode d'étalement permet une amélioration en terme d'efficacité spectrale puisque chaque bit d'information peut être transmis sur plusieurs créneaux. Cependant, elle nécessite une synchronisation parfaite entre les usagers, ce qui la rend non efficace pour la technique CDMA qui est de nature asynchrone [14].

### II.4.2 Code de canalisation

Les émissions issues d'une même source sont séparées grâce aux codes de canalisation. Il peut s'agir, par exemple, des différentes connexions provenant d'un même secteur dans le sens descendant et le canal physique dédié d'un terminal dans le sens montant. Les codes d'étalement et de canalisation sont fondés sur la technique OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*).

L'utilisation des ces codes OVSF permet de modifier le facteur d'étalement et de maintenir l'orthogonalité des différents codes d'étalement même si ces derniers sont de longueur différente. Ces codes sont choisis parmi ceux de « l'arbre des codes » qui est présenté dans la figure (II.7) Dans le cas d'une connexion utilisant un facteur d'étalement variable, l'utilisation de l'arbre de codes permet également que le désétalement soit effectué selon le plus petit facteur d'étalement. Cela nécessite simplement que les codes de canalisation utilisés soient choisis parmi ceux de la branche qui correspond au code utilisé pour le plus petit facteur d'étalement.



Il existe cependant certaines restrictions quant à l'utilisation des codes de channelisation. Notons que les codes orthogonaux correspondant au sens descendant utilisés par chaque station de base sont gérés par le RNC [3]. Parmi les codes de canalisation on peut utiliser les codes correcteur d'erreur exactement les codes convolutionnel qu'on va décrire en détail dans la suite.

#### II.4.2.1 Les codes correcteurs d'erreur

Le codage correcteur d'erreurs est un procédé indispensable pour la protection de l'information dans un système de communications et plus particulièrement dans un système à étalement de spectre tel que décrit à la figure (II.4).

Dans un système CDMA, l'étalement spectral est souvent réalisé en utilisant des séquences pseudo aléatoires. Cependant, plusieurs recherches ont montré que l'application du codage correcteur d'erreurs à très faibles taux offre une performance meilleure que l'étalement causé seulement par les séquences pseudo aléatoires. Une combinaison du codage correcteur d'erreurs et des séquences pseudo aléatoires peut donc être utilisée pour améliorer la capacité d'un système WCDMA [14]. En fait, notre application consiste à étudier et évaluer les performances de l'application du récepteur RAKE à un système WCDMA.

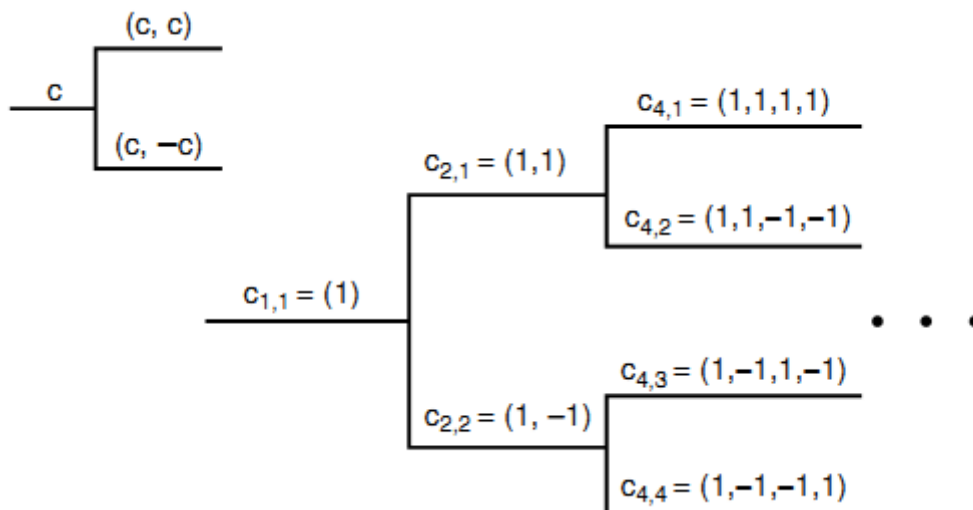


Fig. II.7 Début de l'arbre des codes de channelisation [3].

### a) Le codage convolutionnel

Les codes convolutifs s'appellent aussi codes récurrents séquentiels. La méthode la plus simple pour définir un code convolutionnel est de décrire le dispositif employé pour le codage. Il ne faut pas pour autant identifier un code (ensemble de suites de symboles) et un codeur (dispositif générateur de telle suite), dans la mesure où plusieurs dispositifs de codage différents peuvent engendrer un même code.

Un codeur convolutionnel de taux  $R = k/n$ , où  $k$  est le nombre de bits d'information à l'entrée du codeur et  $n$  désignent le nombre de symboles codés, est constitué d'un registre à décalage de  $K$  (longueur de contrainte du code) cellules connectées à  $n$  additionneur modulo-2. Les connections rattachées à un même additionneur constituent un vecteur générateur de  $k$  dimensions :

$$G_i = (g_1, g_2, \dots, g_n). \quad (\text{Equ. II.2})$$

Ce vecteur comporte des nombres binaires où "1" indique une connections entre l'additionneur et la cellule considérée et "0" autrement. L'ensemble des  $n$  vecteurs générateurs définit alors le code. Les bits d'information sont introduits dans le registre à décalage les uns à la suite des autres et une queue de  $K - 1$  bits, généralement des zéros, est ajoutée à la fin de la séquence d'information pour réinitialiser le registre.

En effet, le contenu du registre ainsi que les connexions déterminent les symboles codés correspondants à chaque bit introduit. Chaque bit d'information est donc encodé en  $n$  symboles.

Le rapport  $k/n < 1$  correspondant à la proportion de bits d'information par symbole codé définit le taux de codage  $R$ , qui dans notre cas est égal à  $1/n$  ( $k = 1$ ). Un codeur transforme donc un mot binaire (ou  $q$ -aire)  $U_i$  de  $k$  symboles  $\{u_{i,k}\}$  en un mot binaire (ou  $q$ -aire)  $V_i$  de  $n$  symboles  $\{v_{i,n}\}$  appelé mot code [14]. Un tel code est représenté à la Figure suivante.

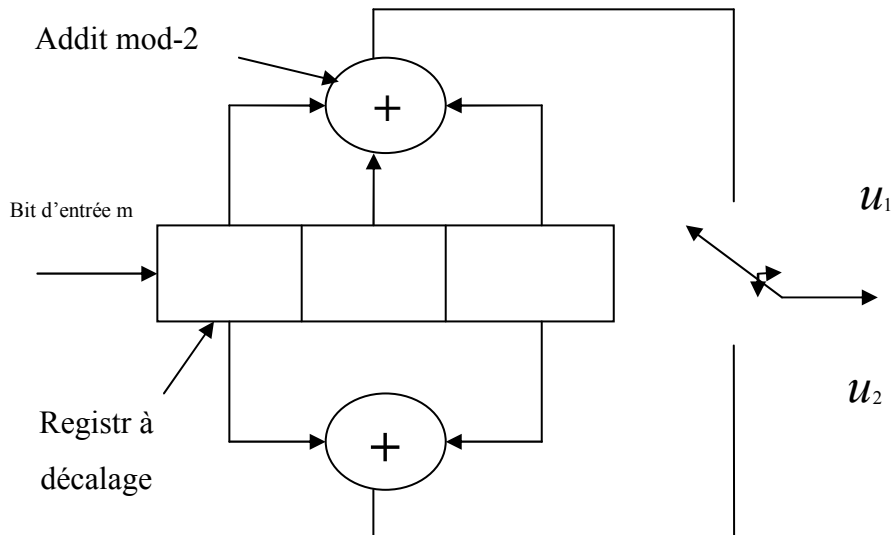


Fig. II.8 Encodeur convolutionnel avec  $K = 3$ ,  $k = 1$  et  $n = 2$  [14].

### b) Le décodage de Viterbi

Le décodage est l'opération inverse du codage. En général, le décodage des codes convolutionnels suit une approche probabiliste. Il consiste à récupérer la séquence d'information transmise à partir de la séquence reçue.

Le décodage probabiliste constitue un remède très efficace pour détecter les perturbations qui peuvent survenir et corriger certaines erreurs introduites par le bruit dans le canal de transmission. En effet, le décodage probabiliste est basé sur un critère appelé "mesure de vraisemblance" pour récupérer la séquence d'information.

Dans, *Viterbi* a proposé un algorithme de décodage des codes convolutifs qui est appelé "algorithme de *Viterbi*". Par la suite, *Omura* a montré que cet algorithme est une procédure de calcul, voisine de la programmation dynamique, pour retrouver un chemin plus court dans un graphe. Enfin *Forney* a prouvé que cet algorithme peut être appliqué à une grande variété de problèmes d'optimisation. Il est en fait un algorithme du maximum de vraisemblance. Il parcourt de façon exhaustive tous les états du treillis afin de déterminer la séquence ayant la vraisemblance maximale.

Le code est défini par son treillis. Cette structure permet d'éliminer les séquences qui ne peuvent avoir la vraisemblance maximale durant le décodage. En effet, si deux chemins convergent vers un même nœud, les métriques de ces chemins varient de la même manière. Alors à chaque étape de l'opération de décodage, tous les chemins ou séquences sont prolongés d'un niveau. Cette procédure consiste en fait à additionner la métrique de branche B

à la métrique cumulative du chemin considéré. Au niveau final, la séquence la plus probable est celle ayant le chemin de métrique cumulative maximale.

Le décodeur de *Viterbi* effectue ces opérations d'élimination en procédant à comparer les métriques des chemins aboutissant à chaque nœud et à garder le chemin de métrique maximale appelé chemin survivant. La seule difficulté qui peut survenir est l'égalité éventuelle des distances ou métriques dans la comparaison entre des chemins convergents. Cette ambiguïté peut être résolue par tirage au sort. L'algorithme de *Viterbi* peut se résumer en trois opérations principales à savoir l'addition, la comparaison et la sélection.

On peut citer, à titre d'exemple un code de longueur de contrainte  $K$  et de taux de codage  $1/n$ , le décodage se réalisant de la manière suivante :

- 1- calculer la métrique de branche pour tout chemin entrant à chaque état,
- 2- additionner les métriques accumulées aux métriques de branches,
- 3- à chaque nœud, comparer les métriques accumulées des deux chemins entrants,
- 4- sélectionner le chemin ayant la métrique maximale de chaque nœud et éliminer l'autre,
- 5- effectuer ces opérations à chaque niveau du treillis jusqu'à la profondeur finale.

Quand le décodeur utilise toute l'information apportée par les fonctions de vraisemblance que calculent le démodulateur, le décodage est dit à décision souple ou pondérée (*Soft decision*). Par contre, le décodage à décision ferme (*Hard decision*) est réalisé quand le décodeur utilise des symboles binaires en provenance du démodulateur. Dans ce cas, il fournit des décisions binaires seules [14].

### II.4.3 Le Scrambling

Le processus réalisé par l'émetteur comprend une opération dite de « scrambling » ou de brouillage. Cette dernière est essentielle au bon fonctionnement du système car elle permet de séparer les différents signaux d'un même terminal ou d'une même station de base. Le scrambling est réalisé juste après le code de canalisation et ne modifie en rien la bande passante du signal, son rôle se limite à séparer les signaux, les uns des autres. Avec cette procédure de scrambling, l'étalement peut être effectué par plusieurs émetteurs avec le même code de « channelisation » sans pour autant compromettre la détection des signaux par le récepteur. La figure présente les opérations d'étalement et de scrambling ainsi que l'impact de ces dernières sur le débit utilisateur. Notons que le scrambling n'a pas d'influence sur le débit de chip introduit par l'étalement.

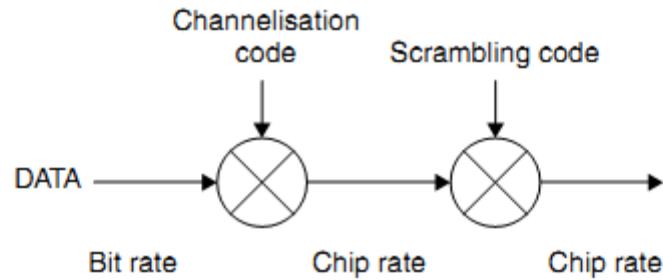


Fig. II.9 Relation entre l'étalement et le scrambling [3].

#### II.4.4 Les séquences pseudo aléatoires

Les séquences pseudo aléatoires sont à la base du fonctionnement d'un système CDMA. En effet, ces séquences s'obtiennent de façon simple à l'aide d'un registre à décalage.

Dans un système CDMA, les séquences pseudo aléatoires sont souvent appelées des codes qui doivent être les plus orthogonaux possibles. Cette propriété assure un certain niveau de transparence entre les usagers. Outre l'orthogonalité, il existe deux autres paramètres à considérer pour concevoir des codes performants: à savoir l'auto corrélation qui est définie comme la convolution d'un code avec lui même et l'inter-corrélation qui correspond à la convolution d'un code avec un autre. Ces deux fonctions peuvent être périodiques ou apériodiques [14].

Les codes les plus populaires sont les séquences à longueur maximale, Séquences de Walsh Hadamard, les séquences de Gold et les séquences de Kasami.

##### II.4.4.1 Les séquences de Gold

Les séquences de *Gold*, souvent appelées les familles de séquences de *Gold*, ont été conçues en 1967 pour les applications d'accès multiples par étalement spectral.<sup>2</sup>

C'est un ensemble de séquences pseudo aléatoires générées par la combinaison de paires de séquences de longueur maximale, dites séquences privilégiées car elles présentent de bonnes propriétés d'inter-corrélation appartenant à un ensemble connexe maximal et ayant la même fonction d'inter-corrélation périodique prenant trois valeurs:  $\{-1, -t(n), t(n) - 2\}$  où :

$$t(n) = 1 + 2^{\lfloor (n+2)/2 \rfloor} \quad (\text{Equ. II. 3})$$

$\lfloor \alpha \rfloor$  dénotant la partie de  $\alpha$ .

En plus, la fonction d'interrelation aperiodique des séquences de *Gold* est connue comme la fonction la plus petite statistiquement pour des séquences de longueur donnée. Ainsi, toutes ces bonnes propriétés rendent les séquences de *Gold* appropriées pour les applications CDMA.

La construction d'un ensemble connexe maximal est à la base d'une opération dite de "décimation". On considère une séquence à longueur maximale (ou m-séquence) représentée par un vecteur binaire  $\{a\}$  de longueur  $N$  et une deuxième séquence  $\{a'\}$  obtenue par décimation de rang  $q$  de la première séquence  $\{a\}$ . En fait, la décimation consiste à obtenir une nouvelle séquence  $\{a'\}$  en prélevant un élément binaire  $A$  tous les  $q$  éléments dans la séquence  $\{a\}$ .

On a donc  $a' = a[q]$ . En choisissant pour  $q$  une puissance de 2, la séquence  $\{a'\}$  est identique à la séquence  $\{a\}$ , à une permutation circulaire près (cette permutation dépend de l'origine choisie pour la décimation). Toutes les paires de  $m$  séquences ayant la même période  $N$  peuvent donc être reliées par  $a' = a[q]$  pour un  $q$  donné. En effet, un générateur de *Gold* est constitué de deux registres à décalage dont les sorties sont additionnées par un 'OU exclusif'.

Les séquences de *Gold* sont des familles de codes pseudo aléatoires qui possèdent de meilleures performances que les séquences binaires à longueur maximale et ceci en terme d'inter corrélation et d'intra corrélation [14].

#### II.4.4.2 Séquences de Walsh

Il existe plusieurs méthodes pour construire des séquences binaires orthogonales entre elles. Les fonctions de Walsh sont les plus souvent utilisées.

Les fonctions de Walsh sont à l'origine des fonctions à deux niveaux  $\pm 1$  définies dans l'intervalle  $\pm 1/2$ .

Elles peuvent être fabriquées aisément à partir des matrices de Hadamard, définies de la façon suivante :

$$(H_1) = (1)$$

$$(H_{2n}) = \begin{pmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{pmatrix}$$

C'est à dire pour les premières :

$$(H_2) = \begin{pmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$(H_4) = \begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{pmatrix}$$

Deux exemples de fonctions de Walsh :

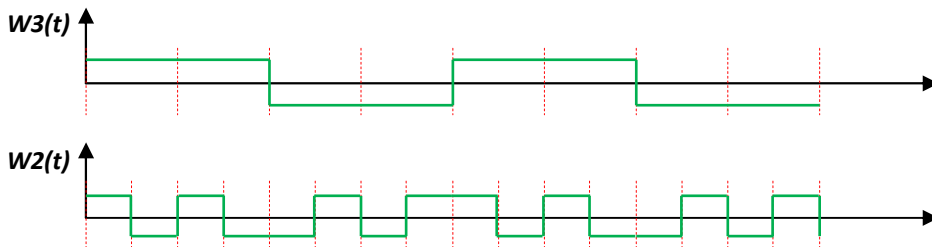


Fig. II.10 Fonctions de Walsh [15].

Une *fonction de Walsh* est fabriquée en recopiant une ligne de ces matrices génératrices. On appelle *séquence de la fonction de Walsh* le *nombre de transitions* rencontrées, par exemple la troisième ligne de la matrice H8 donne la suite :

$$+1 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1$$

++--++-- qui possède 3 transitions de + à – ou inversement, il s’agit donc de W3.

On pourra vérifier que toutes les séquences ainsi créés sont orthogonales entre elles et orthonormées, (le carré scalaire est égal à 1).

Le signal reçu dans le cas le plus général est :

$$u(t) = \sum_k s_k(t) \cdot c_k(t)$$

Le récepteur de numéro  $j$  recherche le message qui lui est destiné en multipliant  $u$  par la séquence locale :

$$\left\langle \sum_k s_k(t) \cdot c_k(t) \middle| c_j(t) \right\rangle = s_j(t)$$

Tous les produits scalaires  $\langle c_j | c_k \rangle$  étant nuls sauf pour  $k=j$ .

Si un seul signal est envoyé à la fois le signal  $u(t)$  est binaire et le produit scalaire peut être effectué par intégration.

Le signal  $u(t)$  reçu est multiplié par la séquence code et le résultat appliqué à un intégrateur remis à zéro à la fin de chaque période bit [15].

## II.5 Propriétés du CDMA

Les systèmes CDMA incluent un certain nombre de dispositifs qui ne sont pas forcément présents dans les autres systèmes de communication. Ces propriétés sont très importantes à connaître parce qu'elles permettent de différencier les systèmes. Elles jouent aussi un rôle important pour augmenter la capacité du système, améliorer la qualité de service et développer la performance du système du point de vue du débit/surface [1].

### II.5.1 Le trajet multiple

La deuxième propriété des systèmes CDMA est le traitement des trajets multiples. Ce traitement des différents trajets du signal va servir à augmenter la capacité de système ainsi qu'à améliorer sa performance. En fait, la propagation des ondes radio dans un canal est caractérisée par de multiples réflexions et atténuations du signal. Ces phénomènes sont dus aux obstacles naturels, tels que les immeubles et les montagnes qui provoquent une propagation caractérisée par des trajets multiples.

Le signal peut mettre plus ou moins de temps pour arriver au récepteur en fonction du parcours qu'il emprunte. Ainsi, la même information peut être reçue plusieurs fois par le récepteur avec une puissance plus ou moins importante [3]. Si le retard est plus long que la durée d'un chip, le récepteur considère habituellement l'information reflétée comme un bruit indésirable [1]. Il est donc impératif que le récepteur sache identifier et séparer les différentes composantes dans le but de reconstituer les données [6].



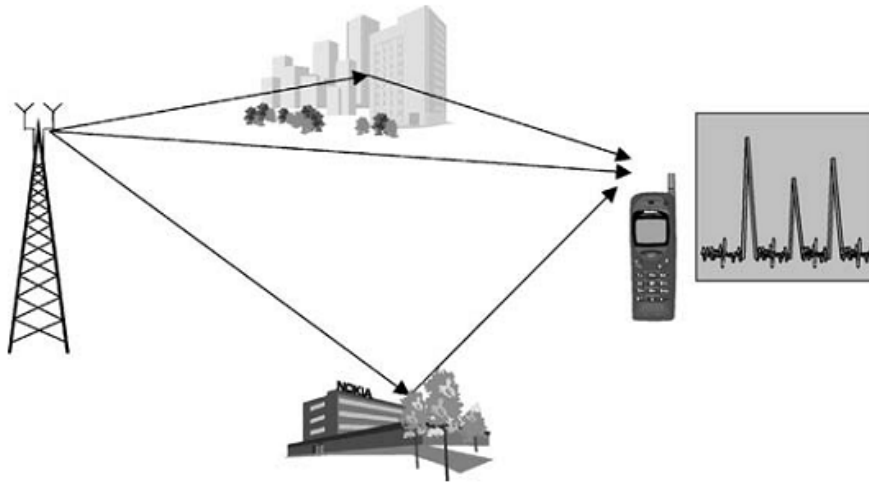


Fig. II.11 Propagation à trajets multiple [3].

### II.5.2 Le fast fading

À un instant donné, il est clair qu'une onde peut emprunter plusieurs parcours ayant chacun une longueur sensiblement équivalente. Les ondes qui empruntent des trajets ayant une différence de longueur égale à une demi-longueur d'onde arrivent donc quasiment au même instant au niveau du récepteur, ces deux ondes s'annulent. Cette annulation de signal due à des trajets multiples est appelée « fast fading » et intervient lorsque le récepteur est immobile ou se déplace à faible vitesse [3].

### II.5.3 Contrôle de puissance

L'utilisation du contrôle de puissance dans tout système cellulaire basé sur le CDMA est un point faible du point de vue de la performance générale du système, parce qu'il a un rôle essentiel dans les performances du réseau en termes de couverture, de capacité et de qualité de service. En effet, l'intérêt du contrôle de puissance sera plus facilement apprécié lorsque l'effet dit « proche-lointain » sera décrit. Étant donné que tous les utilisateurs partagent la même bande de fréquences, chacun d'entre eux est considéré comme un brouilleur en puissance, c'est-à-dire qu'un problème d'interférence d'accès multiple pourra être considéré si les signaux étalés ne sont pas orthogonaux. En pratique, pour un système CDMA sans contrôle de puissance, la puissance du signal de l'utilisateur le plus proche de la station de base serait plus importante que celle de l'utilisateur le plus éloigné. Cette situation a pour effet que le signal de l'utilisateur le plus proche éblouit le signal de l'utilisateur le plus loin vis-à-vis de la station de base (le problème d'effet proche-lointain est inexistant dans la

voie descendante). Deux types de contrôles de puissance sont utilisés dans les systèmes basés sur le CDMA : le contrôle de puissance en boucle ouverte ou en boucle fermée [1].

### II.5.4 Les Handovers

Le handover présente une très importante influence sur la réception dans la station mobile. En général, pendant la procédure de handover, le mobile doit interrompre la communication avec une station de base avant d'en établir une autre avec une station de base différente. Dans ce cas-là, il aura besoin de connaître le code de la nouvelle station de base. Au contraire, pour la fréquence, et parce que dans un système CDMA les cellules voisines utilisent la même fréquence porteuse, le mobile peut conserver une liaison radio avec plusieurs stations de base simultanément, puisqu'il n'y a pas de rupture physique de la communication [3]. Il existe plusieurs sortes de handovers :

- Softer handover : lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone commune de deux secteurs couverts par la même station de base.

- Soft handover : lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux stations de base. Les communications du mobile empruntent simultanément deux canaux différents pour atteindre les deux stations de base [6].



Fig. II.12 Exemple du soft handover [6].

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

- Hard handover inter-systèmes : permet à un appareil mobile de passer d'un système à un autre, comme du WCDMA en mode FDD au WCDMA en mode TDD ou au GSM [3].

L'avantage du handover dans le CDMA est qu'il augmente la capacité de la cellule parce que, dans la voie descendante, le mobile peut combiner de manière cohérente les signaux provenant de différentes stations de base. De même, dans la voie montante, les mêmes signaux reçus par deux stations de base peuvent être combinés dans le BSC. Un autre avantage du handover est qu'il réduit l'interférence causée par la station mobile dans les autres cellules [1].

Les stations de base ainsi que les mobiles utilisent essentiellement des récepteurs à corrélation WCDMA. Toutefois, du fait de la propagation caractérisée par des trajets multiples et éventuellement de l'utilisation de multiples antennes de réception, il est nécessaire d'utiliser plusieurs récepteurs à corrélation afin de récupérer le maximum d'énergie du signal sur les différents trajets et éventuellement au niveau des différentes antennes. Ces récepteurs sont couramment appelés « doigts » (*fingers*) et forment ce que l'on appelle un récepteur RAKE (*RAKE receiver*). Nous allons décrire en détail le fonctionnement de ce récepteur RAKE dans la suite.

## **II.6 Le récepteur RAKE**

Dans le contexte des télécommunications, le traitement du signal reçu reste la partie la plus compliquée à traiter [1]. Le récepteur optimal doit exploiter les multi trajets au lieu de les supprimer, en combinant de façon cohérente leurs contributions au signal émis. L'opération peut être réalisée de façon optimale par un récepteur de séquence à maximum de vraisemblance, mais qui peut s'avérer trop coûteux. En fait, si le code utilisé dans le système DS-SS possède une auto corrélation qui s'approche d'une impulsion, il est possible de décorrélérer les trajets qui forment le canal radio. Ainsi, on peut désétaler chaque trajet puis les combiner en tenant compte du gain et de la phase de chacun et arriver à un niveau de performance proche de celui du récepteur optimal à maximum de vraisemblance. Ce récepteur est appelé récepteur RAKE ou râteau [16]. En pratique, le récepteur RAKE est le récepteur le plus utilisé, soit dans la station mobile en cas de code multiple par utilisateur, soit dans la station de base pour la détection multi-utilisateur [1].

### **II.6.1 La Diversité**

Le concept de diversité est basé sur la présence au récepteur de plusieurs copies du signal désiré, chacune ayant traversé un canal différent. Si les évanouissements dans ces canaux sont suffisamment indépendants, il y a peu de chance qu'un évanouissement important

se produise dans tous les canaux au même moment, ce qui permet d'obtenir une qualité du signal reçu plus constante que si on utilisait une seule copie du signal. Il s'agit ensuite d'implémenter un récepteur capable de distinguer et regrouper les différentes copies du signal afin d'obtenir le meilleur estimé possible du signal désiré [17].

### II.6.2 Types de diversité

Il existe plusieurs méthodes permettant d'obtenir de la diversité au récepteur. Celles-ci sont plus ou moins efficaces selon le contexte. On présente ici quelques unes des formes de diversité les plus fréquemment utilisées [17]:

- ◆ Diversité spatiale : nous pouvons parler de diversité spatiale, ou de diversité d'antennes, lorsque l'on utilise plus d'une antenne à l'émission ou à la réception. Cette technique permet de pallier les effets des évanouissements à court terme. Il y a deux types de diversité spatiale :
  - Diversité d'antenne en réception : dans un système WCDMA, la diversité d'antenne en réception peut être considérée comme un moyen d'accroître la diversité des trajets lorsque l'on utilise un récepteur RAKE.
  - Diversité d'émission : à l'émission, le principe qui régit la diversité d'antenne est toujours le même ; il consiste à transmettre le signal via des antennes différentes suffisamment espacées afin de décorréliser les effets des évanouissements.
- ◆ La diversité en fréquence nécessite la transmission simultanée du signal sur plusieurs bandes fréquences, suffisamment espacées pour limiter la corrélation entre les évanouissements présents sur chacune des bandes. Le principal désavantage de cette technique est l'utilisation peu efficace du spectre de fréquences.
- ◆ La diversité en temps est obtenue en transmettant plusieurs fois le même signal avec des intervalles de temps suffisamment espacés pour que les caractéristiques d'évanouissement du canal aient changées. Cette méthode implique cependant des délais de transmissions, qui la rendent peu pratique.
- ◆ Finalement, la diversité en impulsions, une légère variation de la diversité en temps, utilise les répétitions décalées en temps du signal causées par les parcours multiples du canal. On utilise généralement un récepteur RAKE pour effectuer la combinaison des signaux. La diversité en impulsions nécessite un système ayant une largeur de

bande suffisante pour résoudre les différentes impulsions de la réponse impulsionnel du canal [17].

### II.6.3 Principe du récepteur RAKE

Cette section consacrée au récepteur « en râteau », la fonction de ce dernier est de tirer parti de la diversité fournie par les différents trajets ayant propagé le signal. A cette fin, le récepteur RAKE a besoin de connaître, au strict minimum, leurs instants d'arrivée. Leur estimation est réalisée par un bloc annexe du récepteur RAKE appelé le Searcher, qui dans sa forme la plus simple se compose d'un organe réalisant une corrélation glissante avec le code de l'utilisateur d'intérêt et d'un organe de décision décrétant ou non la présence d'un trajet à un instant donné. En supposant que le récepteur RAKE n'a connaissance que des instants d'arrivée des différents trajets, il doit effectuer en parallèle [12]:

- la resynchronisation des différents trajets,
- Le dé-étalement de ces différents trajets, pour revenir du rythme chip au rythme symbole, et ainsi faire ressortir le signal utile du bruit dans lequel il a été noyé,
- la mesure du coefficient d'atténuation du trajet en train d'être dé-étalé, nécessaire à la reconstruction du signal optimal par sommation cohérente des différents trajets, dans le cas où celui-ci n'est pas fourni au récepteur RAKE par le dispositif d'estimation de canal,
- La sommation cohérente des différents trajets resynchronisés, dé-étalés, remis en phase, et pondérés proportionnellement à leur atténuation respective (recombinaison MRC).

### II.6.4 Architecture fonctionnelle

Le récepteur RAKE est composé d'un certain nombre de doigts, chargés de dé-étaler un trajet de chacun des usagers. La figure (II.13) présente l'architecture fonctionnelle d'un récepteur RAKE à trois doigts. Les échantillons numériques entrés du récepteur RAKE sont issus des premiers étages RF de la chaîne de réception. Ces échantillons sont représentés dans le plan complexe, c'est-à-dire sur les axes perpendiculaires I et Q. Au niveau de chaque doigt, le générateur de code (*code generator*) et le corrélateur (*correlator*) réalisent les tâches de dé-étalement et d'intégration des symboles du signal utilisateur. Le module dédié à l'estimation du canal (*channel estimator*) utilise les symboles *pilot* afin de définir l'état du canal et d'en compenser les effets sur les symboles du signal utilisateur ainsi dés étalés et intégrés le retard

entre les temps d'arrivée des symboles sur les différents doigts est ensuite compensé au niveau du module (*Delay Equalizer*). Le dernier module de la chaîne de traitement (*RAKE combiner*), commun à l'ensemble des doigts, somme les symboles ainsi modifiés en provenance de tous les doigts. C'est cette opération qui apporte la diversité de trajets multiples et qui permet de lutter contre les phénomènes de *fading*. Passons maintenant au dernier élément de récepteur, il s'agit d'un filtre adapté (*matched filter*) qui permet de définir le profil de retard dû aux trajets multiples du canal. Ce profil mesuré qui est moyenné et mis à jour régulièrement, permet d'assigner aux différents doigts du récepteur RAKE les périodes de temps durant les quelles la puissance du signal reçu est maximale.

Les éléments constitutifs des récepteurs RAKE, fonctionnant à une fréquence d'hologe proche de celles des *chips*, sont généralement des *ASIC (Application Specific Integrated Circuit)*. C'est notamment le cas pour les corrélateurs, générateurs de code et filtres adaptés. Concernant les autres éléments qui traitent essentiellement des symboles, il est courant d'utiliser des *DSP (Digital signal processor)*. Notons que, bien qu'il existe de nombreuses différences entre les récepteurs Rake qui sont implémentés dans les mobiles et ceux des stations de base, tous les principes qui viennent d'être présentés restent les mêmes quelle que soit la localisation du récepteur.

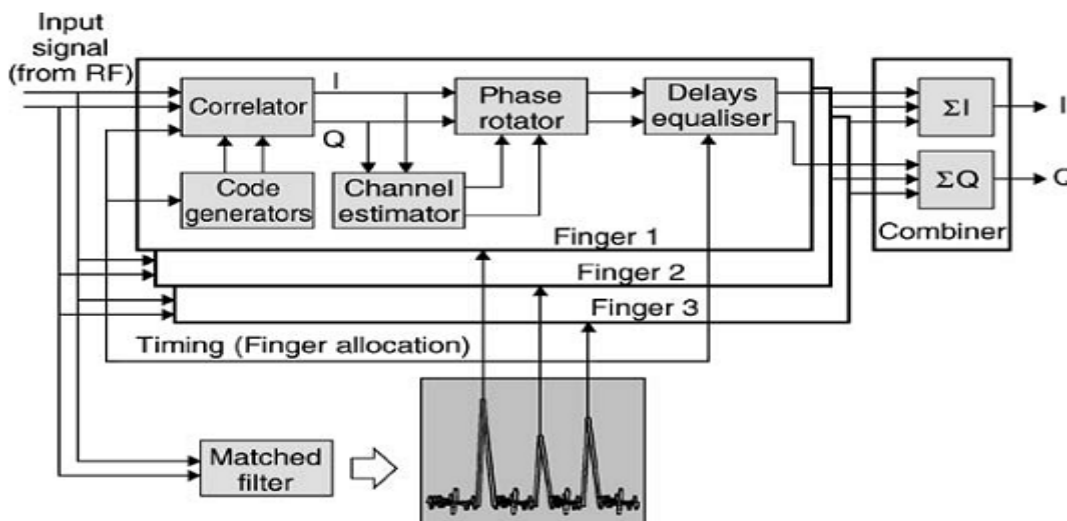


Fig. II.13 Architecture fonctionnelle d'un récepteur RAKE [3].

Notons également que la diversité de trajets multiples peut être obtenue en utilisant plusieurs antennes de réception. Cela ne change en rien le fonctionnement du récepteur RAKE. Il est même envisageable d'utiliser le principe des doigts de réception sur plusieurs

antennes. Il va de soit qu'il sera nettement plus facile d'implémenter cela au niveau des stations de base qu'au niveau des mobiles [3].

### **II.6.5 Doigts du récepteur RAKE**

Un récepteur RAKE comporte un ensemble de doigts, et des moyens de combinaison des signaux issus de ces différents doigts. Chaque doigt permet de dé-étaler le signal reçu selon l'un des différents trajets pris en compte, les différents trajets pris en compte étant déterminés par le détecteur de trajets. Le principal paramètre qui guide les performances et la complexité du récepteur RAKE est le nombre de doigts considérés.

La banque de doigts du récepteur RAKE est l'ensemble des doigts utilisés pour dé-étaler le signal reçu. Dans chaque doigt, le signal reçu est corrélé avec le code d'étalement sur une période correspondante au facteur d'étalement. La fonctionnalité mathématique d'un doigt de RAKE n'est pas très complexe, mais son implantation est très importante si nous considérons la performance, l'extensibilité et la flexibilité globale de la partie bande de base du récepteur.

Le nombre de corrélateurs dans le récepteur RAKE dépend du nombre de doigts (c'est-à-dire du nombre de trajets multiples traités) et du nombre de codes par utilisateur ; dans le cas conventionnel nous utilisons un corrélateur pour chaque doigt et un corrélateur pour chaque code de canal (code par utilisateur). Par exemple, pour obtenir un débit de données égal à 2,3 Mbps dans la voie descendante, nous avons besoin de trois codes par utilisateur (trois codes de canal) avec un facteur d'étalement égal à 4 ( $SF=4$ ). Cela se traduit par trois corrélateurs dans chaque doigt, et avec quatre doigts dans le récepteur RAKE (si nous considérons quatre trajets pour un signal) nous arrivons à un total requis de douze corrélateurs. Techniquement, le nombre de doigts dans le récepteur RAKE détermine le nombre de trajets multiples que nous pouvons traiter. Bien évidemment, plus le nombre de doigts est important, plus l'énergie du signal utile est récoltée et plus la capacité du système va augmenter. Mais, en même temps, les ressources matérielles nécessaires pour ce traitement vont augmenter, ainsi que l'interférence entre symboles et entre trames. Du point de vue de l'implantation, il est préférable d'utiliser un nombre minimal de doigts à la réception. On trouve habituellement de 4 à 6 doigts dans les récepteurs RAKE conventionnels [1].

### II.6.6 La méthode de combinaison à ratio maximal (MRC)

La combinaison linéaire des doigts du récepteur RAKE peut se faire de plusieurs manières. En général, il y a deux manières pour combiner les différents trajets : soit avant l'entrée des doigts (avant la corrélation) soit à la sortie des doigts (après la corrélation). Le récepteur RAKE classique utilise la combinaison à ratio maximal (Maximal Ratio Combiner) pour combiner les sorties des branches [1]. Le WCDMA utilise des symboles connus du récepteur, que l'on appelle symboles « pilot » (*pilot symbols*). Ces symboles sont utilisés par chaque doigt afin d'estimer l'état du canal (valeur des déphasages et atténuations). Le déphasage ainsi défini est ensuite inversé. Les symboles correspondant aux données utilisateur reçues sont alors sommés avec les symboles pilot modifiés afin d'annuler la relation de la phase introduite par le canal radio. Cette méthode est appelée MRC (*Maximal Ratio Combining*) [3].

D'une part, il faut souligner que la combinaison à l'entrée du récepteur permet de maximiser le rapport de signal/bruit lorsque les éléments combinés ne sont pas corrélés. Par exemple, lorsque la seule source d'interférence présente dans le système est du bruit blanc gaussien, le rapport signal à bruit est maximisé et la combinaison est optimale. Cependant, certaines sources d'interférence entraînent une corrélation entre les doigts du RAKE, ce qui rend la combinaison à ratio maximal sous-optimale.

D'autre part, la combinaison à ratio maximal à la sortie des doigts du récepteur RAKE est une méthode simple et intuitive. C'est une méthode intuitive parce que la combinaison consiste simplement à ajouter les ensembles de symboles, qui sont décorrélés et stockés, à la sortie des doigts. Mais dans la combinaison à ratio maximale, il ne faut pas oublier que les phases des symboles doivent être alignées et leurs amplitudes jaugées avant d'être ajoutées. Ceci est fait en fonction des coefficients complexes acquis par l'estimateur complexe de canal. La combinaison à la sortie du récepteur permet de maximiser le rapport de signal sur bruit, parce que le SNR final sera égal à la somme des SNRs des différents trajets multiples. En supposant que les trajets multiples les plus forts ont été indiqués aux doigts du récepteur RAKE, cette méthode de combinaison donne les meilleurs résultats [1].

### II.6.7 Choix des délais

Dans un cas idéal, le récepteur RAKE aurait une branche (ou corrélateur) pour chaque parcours de la réponse à l'impulsion. Puisque la réponse à l'impulsion du système étudié



comporte un grand nombre de parcours très rapprochés dans le temps, il serait physiquement impossible et très coûteux d'assigner une branche à chaque parcours.

Les branches sont donc assignées à un nombre limité de délais en sélectionnant les délais contenant le plus d'énergie/d'information. Cette variante du récepteur RAKE est généralement appelée RAKE sélectif.

Dans un récepteur RAKE réel, le choix des délais de chacune des branches se fait généralement à l'aide des propriétés d'auto corrélations des séquences pseudo-aléatoires utilisées. Par balayage, on teste la valeur de corrélation entre le signal reçu et la séquence d'étalement de ce signal pour différents délais. Puisque l'auto corrélation comporte un pic important lorsque le signal reçu est synchronisée avec la séquence d'étalement (voir figure 2.13), le balayage devrait indiquer des pics plus importants lorsque la séquence d'étalement décalée en temps est synchronisée avec les parcours les plus importants. Ce sont ces pics qui sont utilisés comme délais. Si le récepteur connaît les propriétés du signal transmis il peut aussi estimer les amplitudes des parcours correspondant à chacune des branches sélectionnées. Pour cette raison, et pour faciliter le balayage, les systèmes de type IS-95 utilisent une séquence pilote afin de déterminer le délai et le gain des branches du récepteur RAKE [17].

### **II.6.8 Calcul de la probabilité d'erreur**

Comme pour une modulation numérique, les performances d'un système de codage sont évaluées à l'aide de la probabilité d'erreur ou du taux d'erreur en fonction d'un rapport signal à bruit.

La probabilité d'erreur après décodage est une probabilité d'erreur moyenne sur les bits. Elle correspond au nombre moyen de bits décodés incorrectement sur le nombre total de bits d'information.

Afin d'estimer de manière pertinente les performances d'un tel système, des bornes sur la probabilité d'erreur sont théoriquement conçues. Pour un code particulier, la probabilité d'erreur par bit peut être bornée par le biais du spectre du code qui a pour rôle de compter le nombre de bits erronés pour chaque chemin différent du chemin correct, noté  $C_d$ .

Les performances d'un code correcteur se jugent tout d'abord grâce à ses propriétés de correction liées à sa distance minimale. Le critère retenu dans ce mémoire pour évaluer les

performances d'un système est le taux d'erreur sur les éléments binaires en fonction du rapport signal à bruit  $E_b/N_0$ , où  $E_b$  est l'énergie par bit et  $N_0/2$  est la densité spectrale de puissance du bruit blanc gaussien additif inhérent au canal de transmission.

## II.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons rappelé les différentes techniques d'accès multiple couramment employées dans le domaine des communications radio fréquences. Nous avons montré qu'il existe différentes méthodes d'accès de type TDMA, FDMA, CDMA.

L'interface d'accès WCDMA est une technique nécessaire dans les systèmes de communication multimédia, utilisant l'étalement de spectre qui permet de supporter des débits utilisateur variables. Ainsi, nous avons présenté la structure et la fonctionnalité du récepteur RAKE utilisé dans le système WCDMA.

### III.1 Introduction

Notre modèle de simulation est basé sur le système de troisième génération « UMTS » qui a été considéré comme étant un système opérationnel fonctionnant en WCDMA, dans la transmission radio mobile. Dans ce chapitre nous nous intéressons à la réception numérique du signal par simulation du récepteur RAKE pour la technique DS-SS (DS-WCDMA).

### III.2 Description de la simulation

Notre travail est basé sur la simulation d'un modèle du récepteur RAKE pour les techniques d'accès WCDMA et spécifiquement pour la technique DS-SS sous l'environnement Matlab dans une chaîne de transmission radio mobile bruitée.

### III.3 Modélisation du récepteur RAKE pour la technique DS-SS

Le récepteur de RAKE pour la technique DS-SS est essentiellement une banque des corrélateurs. Chaque corrélateur a deux entrées : signal reçu et une séquence d'étalement avec certain offset. Le corrélateur peut être exprimé mathématiquement comme la suit :

$$y(nT_s) = \int_{(n-1)T_s}^{nT_s} r(t) p_n(t - \hat{t}_i) dt \quad (\text{Equ. III. 1})$$

Là où  $T_s$  est durée de symbole,  $r(t)$  est le signal reçu,  $p_n(t)$  la séquence d'étalement et le  $t_i$  est le retard de propagation du canal de l'émetteur au récepteur (corrélateur). Nous pouvons réécrire l'équation ci-dessus comme suivant sans affecter le résultat.

$$y(nT_s) = \int_{(n-2)T_s}^{(n-1)T_s} r(t - (T_s - \hat{t}_i)) p_n(t - T_s) dt \quad (\text{Equ. III. 2})$$

Dans un canal par trajets multiples, le signal reçu  $r(t)$  est une combinaison des reproductions multiple du signal transmis où chacun a propagé par différent chemin pour arriver à l'antenne de récepteur. Chaque chemin présente sa propre perte de chemin (le gain) et le retard. Le signal reçu peut être écrit comme la suit :

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l(t) x(t - t_l) + n(t) \quad (\text{Equ. III. 3})$$

Là où  $L$  est le nombre de chemin,  $\alpha_l(t)$  est le  $L^{\text{ième}}$  gain de chemin,  $t_l$  est le retard et  $n(t)$  est le bruit de fond de canal.

Idéalement, on va utiliser L corrélateurs traitons le signal de réception pour exploiter complètement le gain de trajet multiple (gain de diversité). Cette banque des corrélateurs s'appelle le récepteur de L-doigt RAKE. La sortie du récepteur RAKE est écrite ci-dessous :

$$z(nT_s) = \sum_{l=0}^{L-1} g_l(t) y(nT_s) \quad (\text{Equ. III.4})$$

Nous devrions avoir les estimations de retard  $\hat{t}_l$  du récepteur RAKE le plus proche possible au retard des trajets  $t_l$ . L'auto-corrélation de séquence d'étalement est pratiquement égale à zéro si le paramètre d'offset est plus large qu'une durée d'un chip. Le cas échéant l'estimation de retard de canal est égale ou plus large que la durée d'un chip, la sortie associé de corrélateur contient seulement le bruit.

Chaque sortie de corrélateur est pondéré par un coefficient  $g_l$ . Ces sorties pondérer sont additionnées ensemble. Ce processus s'appelle combinaison. Il y a deux choix communs pour ces coefficients : combinaison égale de gain (tout les coefficients  $g_l$  égal à 1) et le rapport de combinaison maximum ( $g_l$  égal au conjugué de complexe  $\alpha_l$ ).

Les récepteurs RAKE modernes utilisent le traitement numérique du signal (DSP) où le signal reçu est prélevé après la conversion du RF vers un signal de bande de base. Le signal de bande de base soit prélevé à un taux  $\geq 1/T_c$  où le  $T_c$  est la durée du chip. Le  $L^{\text{ième}}$  doigt de corrélateur de temps discret peut être exprimé comme :

$$y_l[n] = \sum_{i=0}^{N-1} r[n - (N - m_l)] p_n[n - N] \quad (\text{Equ. III.5})$$

Là où N est le rapport d'étalement,  $m_l$ , un nombre entier, est discrétise le retard de  $L^{\text{ième}}$  parcours (les retard de chemin proposés sont des entiers multiples de durée du chip).

Le  $L^{\text{ième}}$  au-dessus corrélateur peut être mis en application dans le simulink comme montré ci-dessous

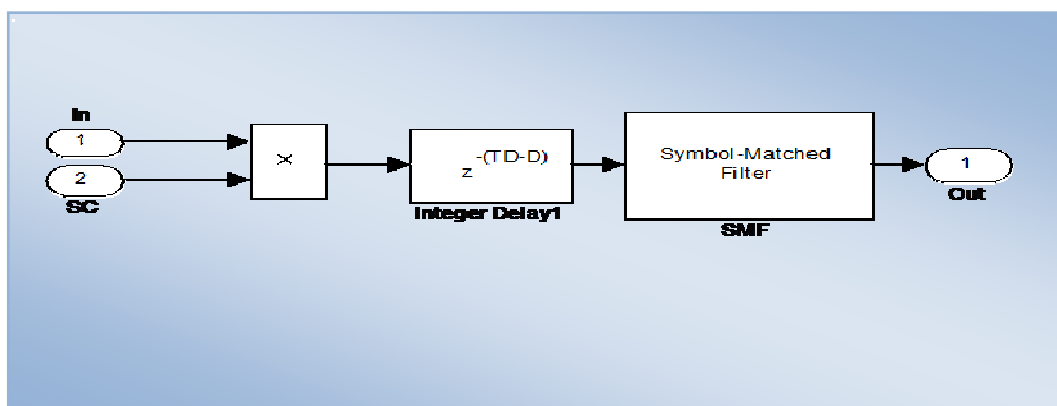


Fig. III.1 Corrélateur du Récepteur RAKE.

Avec le  $TD = N$  et  $D = m_j$ . Le signal reçu est intégré dans l'entrée 1 et la séquence d'étalement  $pn [n-m_j]$  est alimenté à l'entrée 2. La sortie de chacun est pondérée par son gain associé de chemin pour le rapport de combinaison maximum

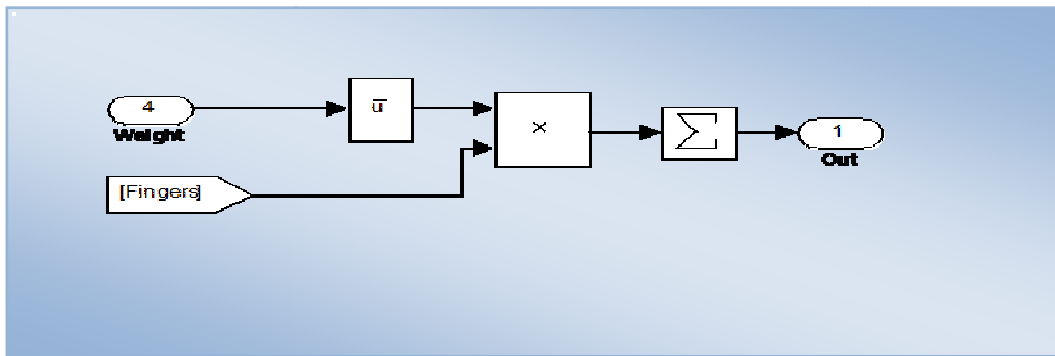


Fig. III.2 Sous système d'un récepteur RAKE.

Mais pour commencer on va simuler d'abord le système CDMA sous (matlab) qui nous donne un bon aperçu sur les processus des transmissions des données.

### III.4 Simulation d'un système CDMA

Comme on a déjà vu dans le chapitre II la technique CDMA est une technique d'accès multiple qui offre la sécurité et la protection des signaux contre l'interférence dans le canal à l'aide des techniques d'étalement de spectre. La figure suivante présente un système CDMA sous matlab, dont les résultats sont dans le domaine temporel puis fréquentiel, qu'on va discuter dans ce chapitre.

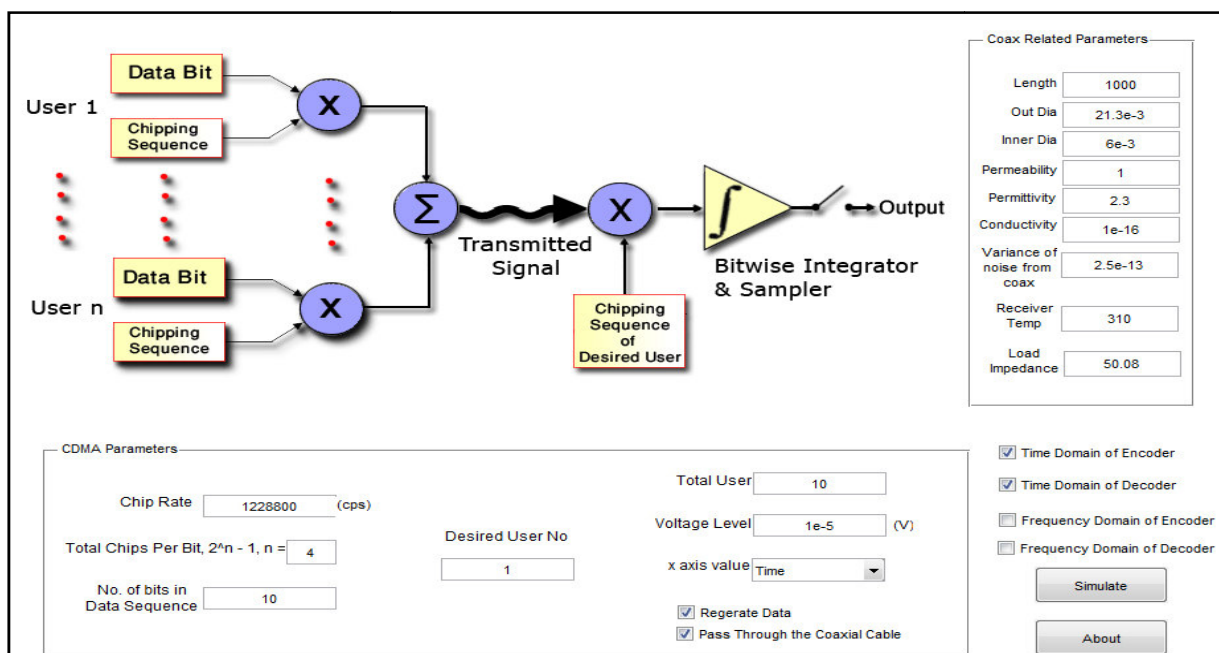


Fig. III.3 Schéma d'un système CDMA sous matlab.

### III.4.1 Le domaine temporel :

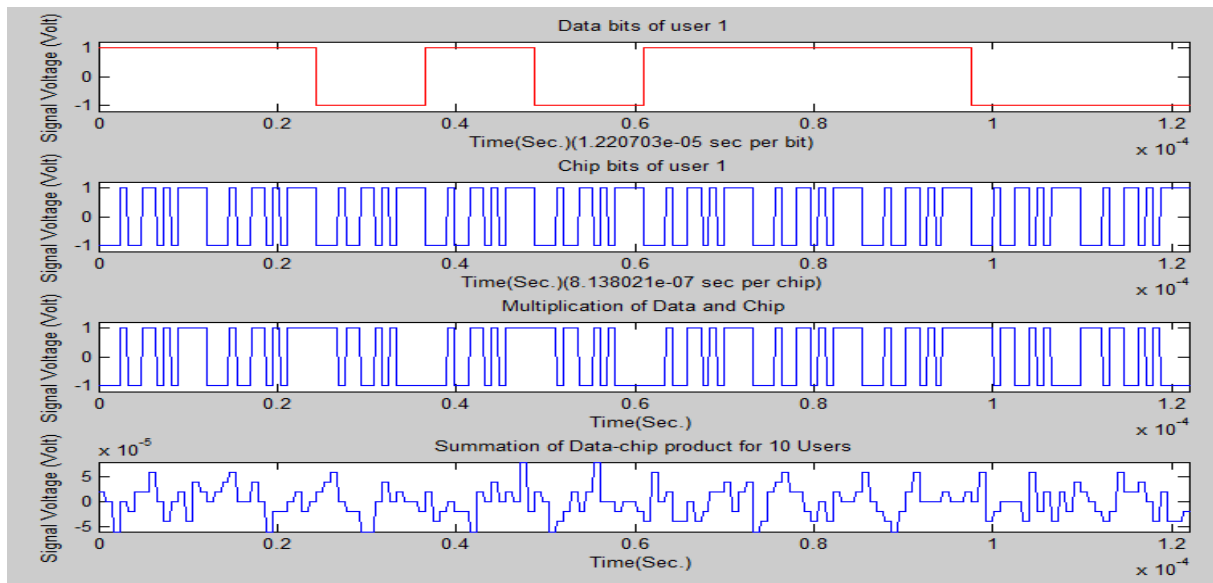


Fig. III.4 Traitements d'un signal à l'émission.

A l'émission dans un système CDMA chaque signal est multiplié par une séquence pseudo-aléatoire comme le montre la figure ci-dessus, le signal d'utilisateur numéro 1 multiplié par son propre séquence d'étalement puis sommé avec les signaux des autres usagers interféreurs (dans ce cas les signaux de dix usagers), après ces signaux sont prêts pour être transmis dans le canal gaussien après l'addition du bruit blanc.

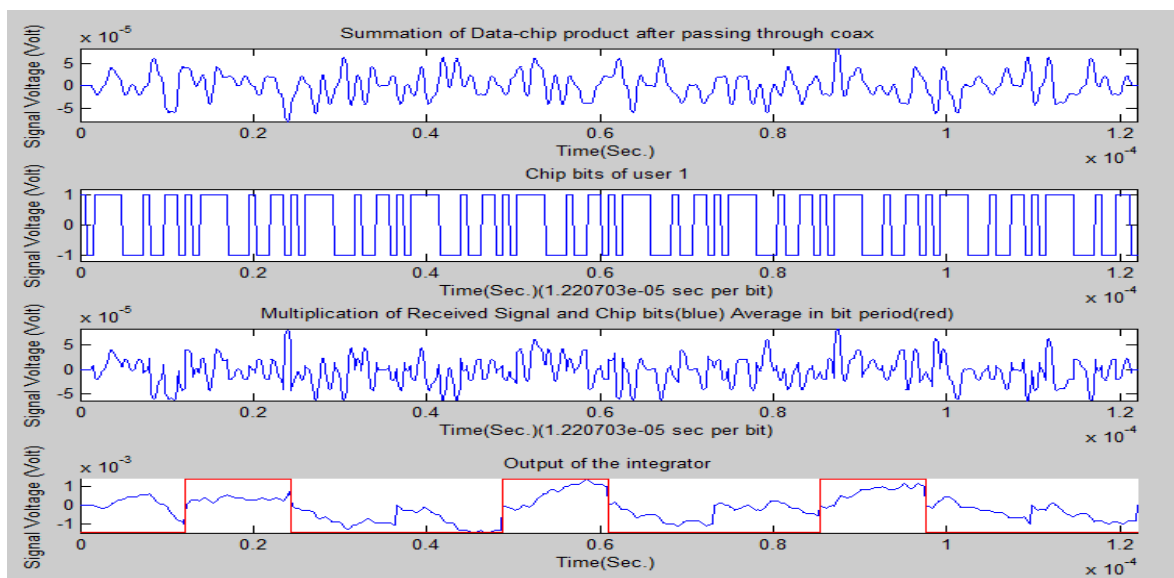


Fig. III.5 La réception des données.

A la réception et après le dépassement par le canal la somme des signaux a été affecté par le bruit Blanc Gaussien du canal, le signal reçu est multiplié avec la même séquence

d'étalement à l'émission, pour obtenir le signal d'utilisateur désiré (dans ce cas l'utilisateur n°1), puis vient alors le processus de récupération des données transmis par l'opération de décision. Ce qui montre la figure ci-dessus.

### III.4.2 Le domaine fréquentiel :

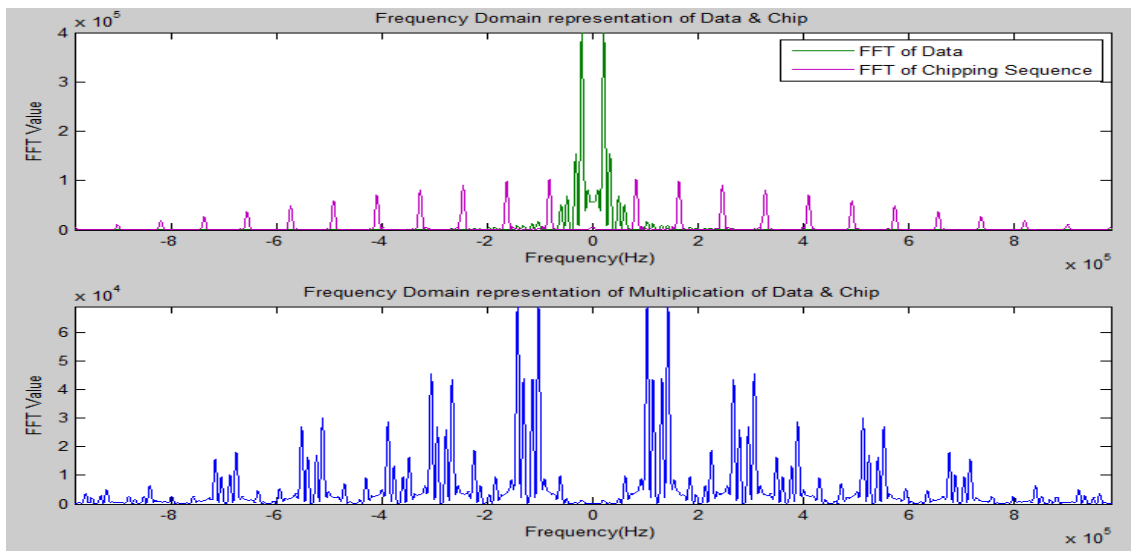


Fig. III.6 Représentations fréquentiel des données et des séquences à l'émission.

Comme on a déjà vu dans le domaine temporel, avant la transmission des données, le système fait la multiplication entre les données et les séquences pseudo-aléatoire, utilisant la FFT (Fast Fourier Transforme) pour représenter les signaux en domaine fréquentiel. Comme illustre la figure ci-dessus.

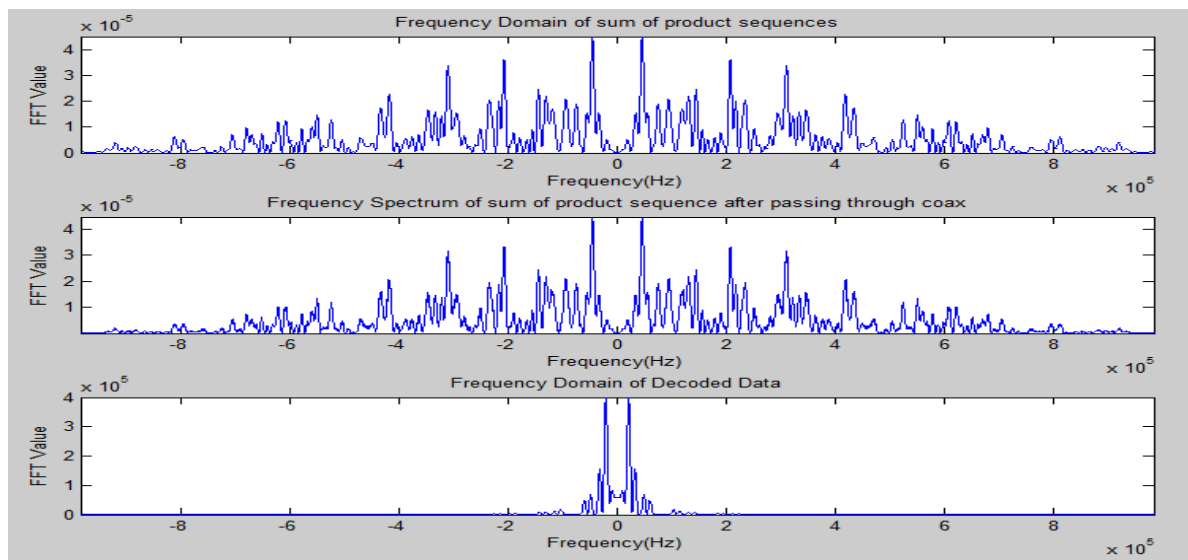


Fig. III.7 La récupération du signal désiré à la réception.

Le système fait la somme du produit (le signal d'utilisateur n°1) avec les autres signaux avant de transmettre dans le canal, puis l'embrouillage du canal offre plus encore de sécurité contre les curieux, finalement on obtient le signal récupéré à l'aide de la séquence d'étalement de l'utilisateur désiré et là on doit signaler que l'émetteur et le récepteur doivent être synchronisés.

### III.5 Simulation d'un système WCDMA avec RAKE

La figure ci-dessous représente un système WCDMA en utilisant le récepteur RAKE déjà modélisé au début de ce chapitre pour la technique DS-SS sous Simulink.

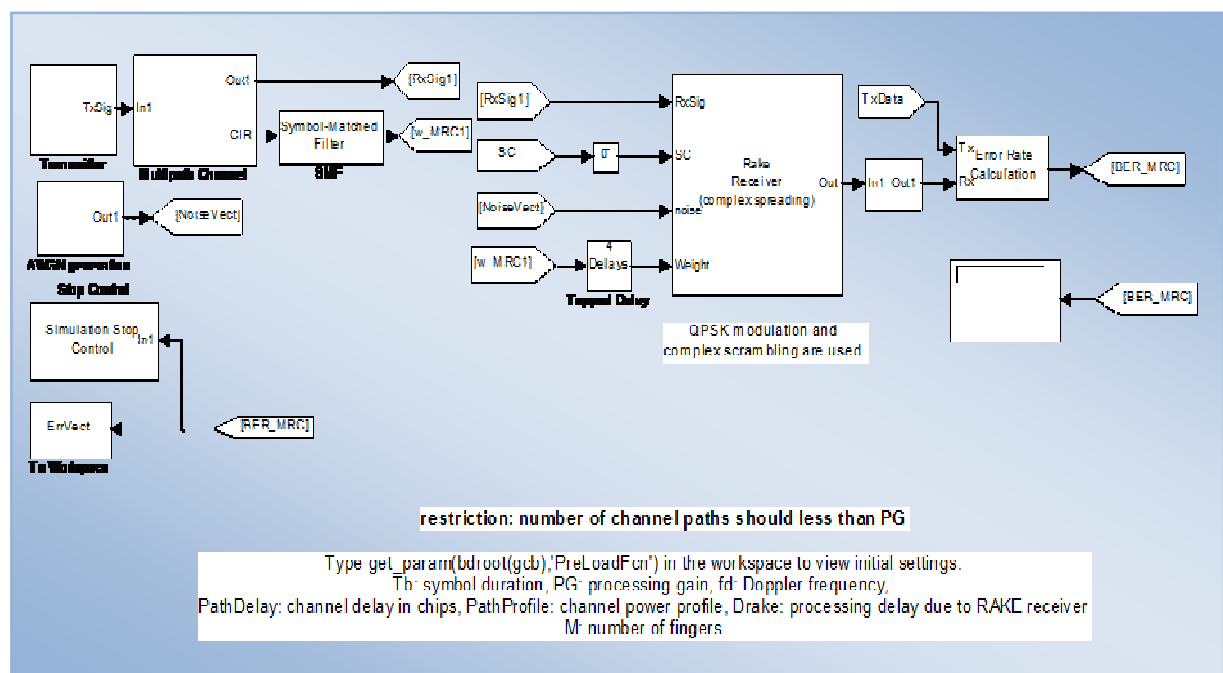


Fig. III.8 Schéma de base d'un système WCDMA avec un récepteur RAKE.

Le tableau suivant englobe les paramètres et les valeurs utilisés dans la simulation de ce modèle de récepteur RAKE.



Les paramètres	Les valeurs/type
Nombre des doigts	4
Type de modulation	QPSK
Le gain (PG)	16
Duré de chip (Tc)	6.2500000000000000e-06
Duré de symbole (Tb)	1.0000000000000000e-04
Fréquence doppler	50

Tab. III.5 Les paramètres de la simulation

**a) L'émission :**

Cette opération consiste à multiplier les données d'un au plusieurs utilisateur, chacun à son propre séquence d'étalement pour être transmits, comment elle illustre la figure suivante :

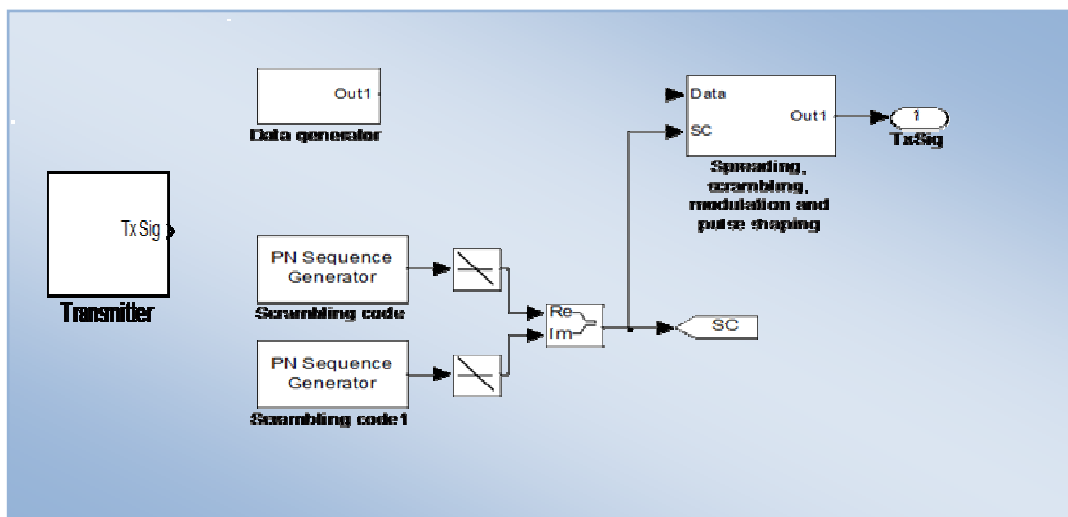


Fig. III.9 Schéma fonctionnel d'un émetteur WCDMA.

**b) Le canal de transmission :**

Le canal de transmission est un canal multi trajets (canal de Rayleigh), comportant une infinité de trajets. Avec un bruit aditif blanc gaussien.

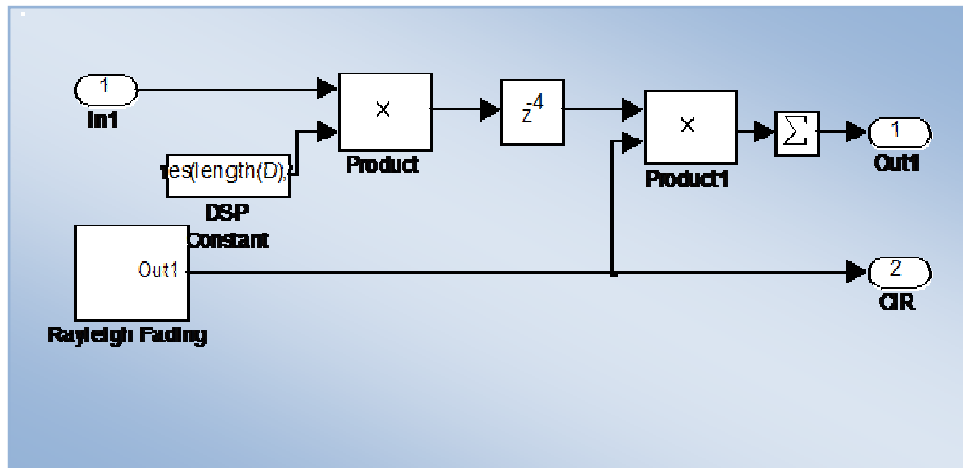


Fig. III.10 Canal multi trajets.

### c) La réception:

Cette opération est basé sur le récepteur RAKE qu'on va présenter à la figure suivante puis on va prendre les résultats (calcul du taux d'erreur) en utilisant une approche statistique.

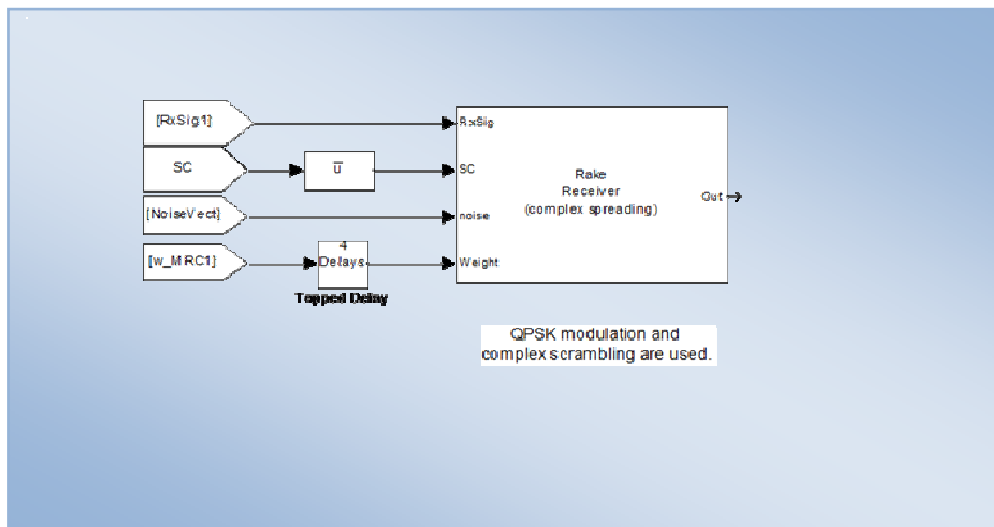


Fig. III.11 Schémas fonctionnel WCDMA à la réception.

### d) Calcul du taux d'erreur binaire (BER)

Dans notre simulation, nous utilisons une approche de type statistique pour calculer les différentes valeurs du BER à la sortie du récepteur RAKE. En fait, dans notre approche statistique nous utilisons le bloc de calcul de taux d'erreur (Error Rate Calculation block). Ce bloc compare directement les données reçues avec les données émises en utilisant une méthode statistique. Cette méthode est basée sur le rapport entre les nombres de paires de

données erronées et les nombres de paires de données appliquées à l'entrée de la source. Ce bloc produit les trois valeurs suivantes :

- ❖ Le taux d'erreur binaire au signal reçu ;
- ❖ Le nombre total d'erreurs ;
- ❖ Le rapport entre le nombre total d'erreurs et le nombre total de bits testés

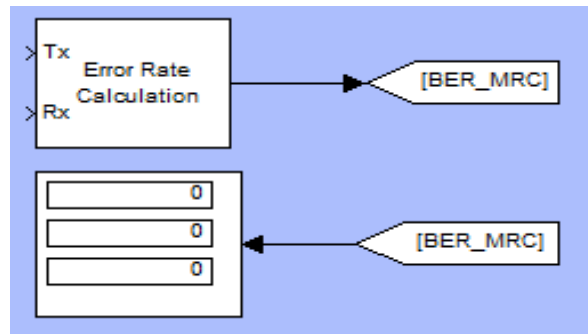


Fig. III.12 Bloque de calcul du taux d'erreur.

Et les résultats de simulation sont montrés dans les deux tableaux suivants

Le temps (ms)	0.6	0.7	0.8
BER	0	0	0

Tab. III.6 Variation de BER en fonction de temps dans l'intervalle [0.6 - 0.8].

Ce tableau montre que le récepteur RAKE donne des résultats fiables dans l'intervalle de temps [0.6-0.8].

Le temps (ms)	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
BER	0.2308	0.2	0.1765	0.1579	0.1429

Tab. III.7 Variation de BER en fonction de temps.

D'après le tableau on remarque que le BER est diminué au cours du temps. Cela signifie que le récepteur RAKE améliore la réception du système WCDMA.

### III.6 Etudes de la performance du récepteur RAKE

Notre objectif est l'étude de la performance du système qui utilise le récepteur RAKE, pour cela nous avons simulé ce récepteur sous matlab pour deux principe : l'un c'est l'environnement du fonctionnement et l'autre est la méthode de combinaison ;

- ❖ Pour déterminer l'environnement approprié pour améliorer le fonctionnement de ce récepteur on va étudier la performance d'un système de transmission lorsqu'il s'agit d'employer un récepteur RAKE avec et sans décodage Viterbi et modulation BPSK en comparant ces cas entre eux dans les domaines théorique et pratique.

La figure ci-dessous montre la performance (BER en fonction de  $E_b/N_0$ ) du récepteur RAKE avec et sans décodage Viterbi et modulation BPSK, théoriquement et pratiquement.

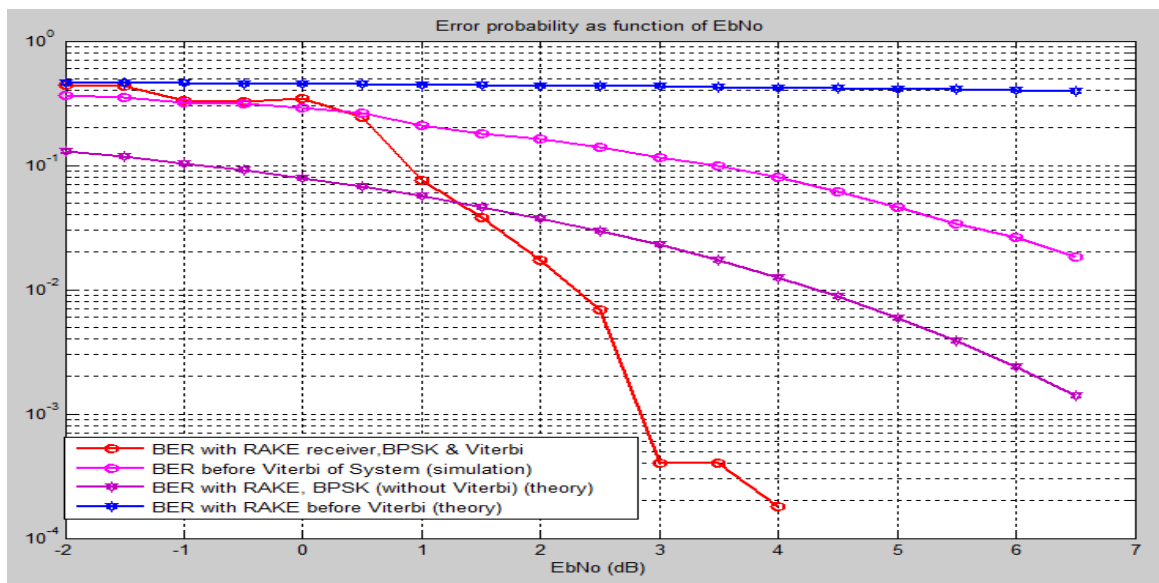


Fig. III.8 Courbes de la performance du récepteur RAKE et comparaison entre théorique et pratique.

Ces résultats montrent que la probabilité d'erreur binaire à la sortie du système est plus faible si le récepteur RAKE fonctionne dans un canal de transmission avec une modulation BPSK et un décodage de Viterbi. Cela signifie que le récepteur RAKE dans son environnement (RAKE + Viterbi + BPSK) améliore la performance d'un système WCDMA en réduisant le BER, même quand l'évanouissement dans le canal atteint une valeur très élevée, et plus précisément en pratique qu'en théorique.

- ❖ Pour la méthode de combinaison on va faire la comparaison entre trois méthodes MRC (*Maximum Ratio Combining*), EGC (*Equal Gain Combining*) et SMC (*Strongest Multipath Combining*) et déterminer la meilleure méthode qui nous donne un bon résultat pour le rapport signal à bruit en sortie de système de transmission.

En appliquant ces trois méthodes et les résultats sont présentés dans la figure suivante :

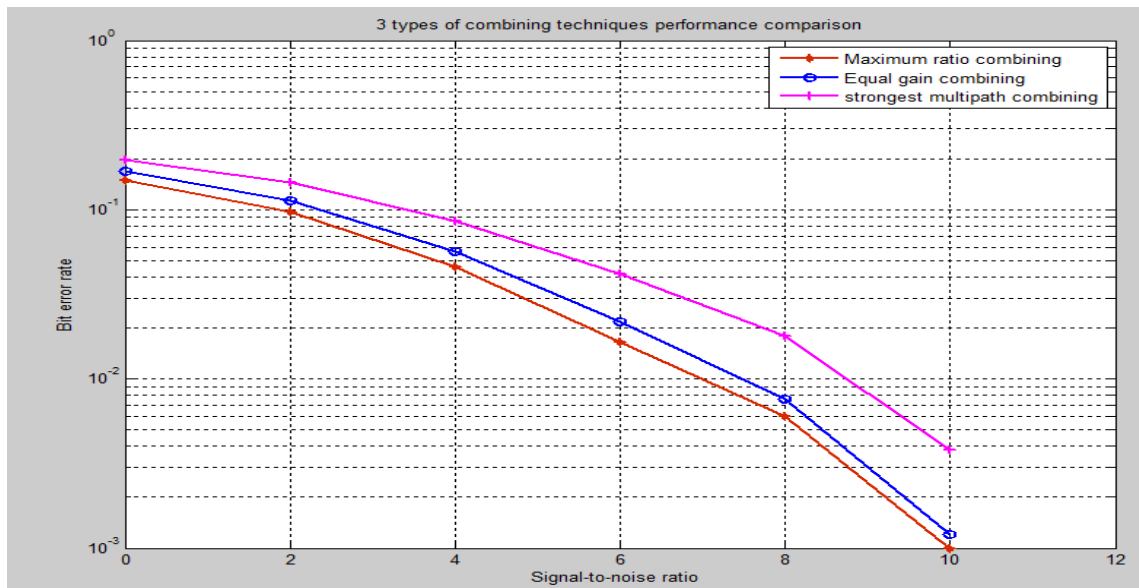


Fig. III.14 Courbes de la performance du récepteur RAKE et ces principes de fonctionnement.

D'après les courbes de la figure ci-dessus on constate que la performance du récepteur RAKE est meilleure où il fonctionne par la méthode MRC que les autres méthodes tel EGC et SMC, dont la probabilité d'erreur binaire (BER) en fonction du rapport signal sur bruit ( $E_b/N_0$ ) est minimal quand on utilise la méthode MRC après la corrélation (après désétalement) ce qui affirme ce que nous avons détaillé en théorie. La méthode MRC est celle qui est utilisée au sein du récepteur RAKE, car c'est elle qui offre le meilleur SNR et la plus faible BER.

Cela signifie que cette dernière est la plus efficace pour l'optimisation de la performance du récepteur RAKE au sein d'un système WCDMA en générale

### III.7 Conclusion

D'après la simulation d'un système CDMA, on a constaté que ce système nous donne une bonne aperçue pour la transmission des données, et les techniques que le CDMA utilisés tel que l'étalement et désétalement de spectre pour récupérer les données transmises d'utilisateur désiré, ce qu'on a montré par les résultats de la simulation, dont le signal transmis

d'utilisateur n°1 c'est le même signal récupéré après le dépassement au canal avec des autres signaux.

Ainsi ce chapitre consiste à simuler le récepteur RAKE dans une chaîne de transmission, ce qui nous donne des bons résultats dans le but de l'optimisation de la réception par diminution de la probabilité d'erreur.

On a montré aussi que pour une meilleure performance de récepteur RAKE, il faut fonctionner dans un environnement particulier avec modulation et codage correcteur d'erreur, ainsi que la méthode de combinaison MRC rend le récepteur plus performant si on applique cette méthode après la corrélation.

*Conclusion générale et perspectives*

Ce mémoire consiste en générale à étudier les systèmes de transmission des réseaux mobiles de troisième génération « UMTS ». Ces systèmes de troisième génération offrent des services haut débit permettant de transmettre images et vidéo ainsi qu'une connexion haut débit à internet. Une étude approfondie est effectuée à travers le chapitre 1 sur le réseau « UMTS ».

Les différents systèmes d'accès multiple présentent de nombreux avantages pour les systèmes de communication actuels et futurs, et tout particulièrement, la méthode d'accès multiple par étalement de spectre. Il en ressort que la méthode CDMA permet, par l'étalement de la puissance sur une large bande de fréquence du canal, de mieux résister aux évanouissements sélectifs en fréquence et de donner au signal à transmettre la forme d'un bruit le rendant difficilement détectable par des récepteurs auxquels le message n'est pas destiné. Un autre avantage est celui de la résistance au bruit que confère l'étalement. Ce qui nous avons mentionné au début du chapitre 2, ainsi ce chapitre traite la structure et les fonctionnalités du récepteur RAKE, c'est à dire des différentes parties analogiques et numériques intervenant dans la réception. Parce que dans le récepteur les exigences de performance sont réparties entre la partie radiofréquence et la partie numérique en bande de base, la partie radiofréquence est chargée de détecter la bande de fréquence souhaitée, et de détecter le signal désiré seulement, et ce avec un rapport signal sur bruit maximal. La partie bande de base récupère ensuite toutes les données transmises et applique au signal tous les traitements nécessaires pour extraire le signal transmis.

En fait, le cœur de la problématique – le récepteur RAKE – se situe dans la partie numérique en bande de base. Ce récepteur est responsable de la démodulation du signal et de l'exploitation de la diversité du signal en identifiant et combinant les composantes de trajets multiples d'un même signal. En général, l'architecture fonctionnelle du récepteur RAKE fait intervenir une structure basée sur des doigts parallèles. Chaque doigt permet de déséaler le signal reçu selon l'un des différents trajets pris en compte pour récupérer les données transmises.

Dans ce mémoire, nous avons proposé un modèle de récepteur RAKE pour la technique DS-SS.

Nos résultats montrent que pour une meilleure performance du récepteur RAKE, il faut fonctionner dans un environnement particulier avec modulation BPSK ou QPSK et un codage correcteur d'erreur, aussi la méthode de combinaison MRC après la corrélation rend le récepteur RAKE plus performant.

Finalement, il serait intéressant au future d'améliorer la performance d'un système WCDMA par l'optimisation de la performance du récepteur RAKE en améliorant la couche logicielle du récepteur RAKE.



## Bibliographie

- [1] Mazen Youssef, «Modélisation et Simulation des Architectures de Récepteur pour les Techniques d'Accès W-CDMA», Thèse de Doctorat, Université Paul Verlaine-Metz, France, juin 2009.
- [2] Bessem Sayadi, Stefan Ataman et all, «Contrôle de puissance et détection multi-code conjointe dans une liaison descendante à haut débit de l'UMTS», « <http://hdl.handle.net/2042/14115> ».
- [3] Harri Holma, Antti Toskala, « UMTS Les Réseaux Mobiles de Troisième Génération » 2ème Edition, Edition OEM, Paris, France 2001.
- [4] Ramzi Rezgui « Etude et Proposition de Techniques de Migration optimale de Réseaux GSM vers l'UMTS », mémoire d'ingénieur, Ecole SUP'COM de Tunis, 2005.
- [5] Oularbi Mohamed Rabie, « Antennes Multistandards pour Communications Mobiles », mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, juin 2006.
- [6] Eric Meurisse, Article « L'UMTS et le haut-débit mobile », « [www-igm.univ-mlv.fr](http://www-igm.univ-mlv.fr) », 2007.
- [7] Khalil IBRAHIMI « Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs », thèse Doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse France & Université Mohammed V-Agdal Rabat – Maroc, févr 2010.
- [8] Zine Elabidine Regai, « Egalisation aveugle multi utilisateurs pour les systèmes DS CDMA dans les réseaux des téléphones mobiles », mémoire de magister, UMK, Algérie, Mars 2010.
- [9] Thierry Lucidarme, « Principes de radiocommunication de troisième génération GSM, GPRS, UMTS », Edition Vuibert, Paris, France 2002.
- [10] Crépin Nsiala Nzéza, « Récepteur adaptatif multi – standards pour les signaux à étalement de spectre en contexte non coopératif », thèse Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, juillet 2006.

- [11] Stéphane Girodon, « Réseaux GSM, GPRS, UMTS, Architecture évolutive pour une stratégie services », Rapport de stage, DESS MTI – IAE Aix en Provence, France, juin 2002.
- [12] Eric BATUT « Etude du bloc de réception dans un terminal UMTS-FDD et développement d'une méthodologie de codesign en vue du fonctionnement en temps réel ».Thèse Doctorat, Institut National Polytechnique, GRENOBLE, juin 2002.
- [13] Yahia Medjahdi, « Simulation d'un système OFDM par sumilink », mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, juin 2006.
- [14] Monira Hendaoui, « Réception multi utilisateurs pour les systèmes radio mobiles AMRC », UMK, Biskra, Algérie, 2008.
- [15] M.A. ABDESSELAM Salim, support de cour, module « communication par satellite », UMK, Biskra, Algérie.
- [16] Cristiano Panazio « Etude fréquentielle de l'étalement de spectre et impact sur la conception d'un récepteur de radio communications universel », Thèse Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Mai 2005.
- [17] Michel Thériault, « Étude des performances d'un système DS-CDMA avec récepteur RAKE dans le Contexte UWB », Université Laval, Québec, 2005.

# **Introduction générale**

# **Chapitre I**

## **Généralités sur l'UMTS**

**Chapitre II**  
**CDMA large bande et le**  
**récepteur RAKE**

# **Chapitre III**

## **Simulations et résultats**

# **Conclusion générale**

# **Bibliographie**