Table des matières

Remerciement
Résumé
Abstract
Table des matières
Liste des figures
Liste des tableaux
Glossaire

Introduction générale.....1

Chapitre I :

Systèmes de Communication par Satellite.

I.1 Introduction..... 4
I.2 Présentation du satellite 5
I.3 Système de transmission par satellite 7
I.3.1 Architecture d'un système de communication par satellite 7
I.3.1.1 Secteur spatial..... 8
I.3.1.2 Secteur terrien..... 8
I.3.1.3 Principe de transmission..... 9
I.3.1.4 Structure du satellite 10
I.4 caractéristiques du système de transmission..... 12
I.4.1 Orbites 12
I.4.2 Couverture d'un satellite 17
I.4.3 Gestion de la bande passante (hand over) 19
I.4.4 Services de télécommunication par satellite 21

I.4.4.1 Le Service fixe par satellite (SFS) 21
I.4.4.2 Le Service mobile par satellite (SMS) 22
I.4.5 Bandes de fréquences 23
I.4.6 Politiques d'accès aux canaux satellite 24
I.4.6.1 Politiques d'accès aléatoire 25
I.4.9.2 Politiques de réservation 25
I.5 Conclusion 30

Chapitre II :

Accès Multiple par Répartition de code CDMA.

II.1 Introduction 31
II.2 Accès multiple par répartition de code 31
II.2.1 Différentes techniques CDMA 32
II.2.2 Etalement du spectre 33
II.2.2.1 Etalement par saut de fréquence 34
II.2.2.2 Etalement par séquence directe 36
II.3 Modélisation du système DS-CDMA 39
II.3.1 Transmission 39
II.3.1.1 Présentation des différents signaux de l'émission sous MATLAB 40
II.3.2 Réception 44
II.3.3 Récepteur 45
II.3.3.1 Présentation des différents signaux à la réception 46
II.3.4 Interférences par accès multiple MAI 49
II.4 Codes d'étalement 50
II.4.1 M-séquences 52
II.4.2 Séquences de GOLD et de KASAMI 53
II.4.2.1 Séquence de GOLD 53
II.4.2.2 Séquences de KASAMI 54
II.4.3 Séquences de WALSH- HADMARD 55
II.4.4 Intercorrélation 55
II.5 Avantages et inconvénients du CDMA 56
II.5.1 Avantages 56
II.5.2 Inconvénients 58
II.6 Conclusion 58

Chapitre III :

Modulation à Porteuses Multiples OFDM.

III.1 Introduction 59

III.2 Modulation à porteuses multiples OFDM 60

III.2.1 Principe de l'OFDM 61

II.2.2 Notion d'orthogonalité dans un espace fonctionnel 62

III.2.2.1 Bases orthogonales dans un espace paramétré en temps 62

II.2.2.2 Bases orthogonales dans un espace paramétré en fréquence 63

II.2.3 Procédé de modulation 64

III.2.4 Simulation d'une chaine OFDM 71

III.2.4.1 Emission 71

III.2.4.2 canal de transmission 74

III.2.4.3 Réception 75

III.2.5 Avantages et inconvénients 76

III.2.5.1 Avantages 76

III.2.4.2 Inconvénients 78

III.3 Systèmes mixtes OFDM-CDMA 80

III.4 Conclusion 82

Chapitre IV :

CDMA et OFDM Dans un Système de Communication par Satellite en Bande Ka.

IV.1 Introduction 83

IV.2 Canal satellite en bande Ka 83

IV.2.1 Classification des atténuations en bande Ka 85

IV.2.2 Statistiques relatives aux atténuations 89

IV.2.3 Différentes méthodes de compensation 91

IV.2.3.1 Contrôle de puissance 91

IV.2.3.2 Techniques de diversité 92

IV.2.4 Forme d'onde adaptative 94

IV.2.4.1 Variation du débit utile 95

IV.2.4.2 Modification du taux de décodage 96

IV.2.4.3 Modulation adaptative 96
IV.3 Etude des performances du CDMA et de l'OFDM pour un canal en bande Ka 98
IV.3.1 Influence sur les performances du CDMA 101
IV.3.2 Performances de l'OFDM 104
IV.4 Conclusion 111

Conclusion générale.....112
Annexes.....114
Références bibliographiques.....122

Liste des figures

Figure I. 1 Exemple d'un satellite en orbite 5
Figure I. 2: Liaison par satellite 8
Figure I. 3: Synoptique de la structure interne d'un satellite 9
Figure I. 4: Structure d'un satellite..... 10
Figure I. 5: Structure d'un satellite..... 13
Figure I. 6: Satellite en orbite circulaire..... 14
Figure I. 7: Satellite en orbite géostationnaire 15
Tableau I. 1: Caractéristiques des différentes zones d'altitudes. 17
Figure I. 8: couverture d'un satellite 17
Figure I. 9: Couverture en bande C de PAS-1R. 18
Figure I. 10: Schéma d'un multiplexage en fréquence (FDMA). 26
Figure I. 11: Schéma d'un multiplexage temporel (TDMA). 28
Figure II. 1: Différentes techniques CDMA. 32
Figure II. 2: Représentation du système FH-SS. 35
Figure II. 3: Spectre FH-SS. 35
Figure II. 4: Spectre du signal étalé en DS-SS. 36
Figure II. 5: Représentation schématique des principales fonctions. 37
Figure II. 6: Etalement et désétalement du signal. 38
Figure II. 7: Structure de l'émetteur pour une transmission numérique à spectre étalé. 39
Figure II. 8: Train d'impulsions information de l'utilisateur1. 41
Figure II. 9: Modulation BPSK du signal. 41
Figure II. 10: Spectre du signal envoyé (utilisateur1). 42
Figure II. 11: Train d'impulsions information de l'utilisateur2. 43
Figure II. 12: Modulation BPSK du signal (utilisateur2). 43
Figure II. 13: Spectre du signal envoyé (utilisateur2). 44
Figure II. 14: Structure du récepteur. 44
Figure II. 15: signal composite. 47
Figure II. 16: Signal d'utilisateur1 à la réception avant démodulation. 47
Figure II. 17: Signal démodulé (utilisateur1). 48
Figure II. 18: Signal d'utilisateur2 à la réception avant démodulation. 48
Figure II. 19: Signal démodulé (utilisateur2). 49
Figure III. 1: Base orthogonale en temps. 62
Figure III. 2: Base orthogonale en fréquence. 64
Figure III. 3: Schéma bloc du procédé OFDM. 65
Figure III. 4: Train de symboles OFDM. 65
Figure III. 5: Symbole OFDM temporel avec intervalle de garde (partie réelle). 66
Figure III. 6: Chaîne de transmission OFDM. 69
Figure III. 7: Spectre des différentes sous porteuses. 71
Figure III. 8: Constellation du signal modulé. 72
Figure III. 9: Signal OFDM à l'émission. 73
Figure III. 10: Réponse fréquentielle du canal. 74
Figure III. 11: Constellation du signal reçu avant l'estimation du canal. 75
Figure III. 12: Constellation du signal reçu après l'estimation du canal. 76

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure III. 13: Ajout de l’intervalle de garde. 77
Figure III. 14: Base orthogonale en fréquence. 77
Figure III. 15: Réponse fréquentielle du canal localement plate. 78
Figure III. 16: Partie réelle de l’enveloppe complexe (OFDM). 79
Figure III. 17: Emetteur et récepteur MC-CDMA. 81
Tableau IV. 1: les systèmes satellitaires exploitant la Bande Ka. 84
Figure IV. 1: générale d’un système de transmission par satellite avec une liaison bidirectionnelle 85
Figure IV. 2: Allure typique d’une atténuation en bande Ka due aux précipitations à la fréquence de 29.75 GHz 88
Figure IV. 3: Atténuation due aux précipitations en bandes Ku et Ka 88
Tableau IV. 2: Durée d’une atténuation dépassant 10 dB à trois fréquences différentes. 90
Tableau IV. 3: a et b pour différentes fréquences. 99
Figure IV. 4: Géométrie d'n trajet Terre-Espace 99
Figure IV. 5: Probabilité d'erreur pour un canal AWGN 102
Figure IV. 6: Probabilité d'erreur pour un canal de Rayleigh 102
Figure IV. 7: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka 103
Figure IV. 8: Constellation du signal reçu avant l’estimation du canal 104
Figure IV. 9: Constellation du signal en émission et en réception après estimation du canal 105
Figure IV. 10: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka, N=128 sous porteuses 106
Figure IV. 11: Probabilité d'erreur pour un canal multi-trajets, N=128 106
Figure IV. 12: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka, N=256 107
Figure IV. 13: Probabilité d'erreur pour un canal multi-trajets, N=256 108
Figure IV. 14: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka, N=512 109
Figure IV. 15: Probabilité d'erreur pour un canal multi-trajets, N=512 110
Figure A. 1: Constellations pour modulations MAQ-E. 117
Figure A. 2: Exemple de canal radio-mobile soumis aux multi-trajets. 120

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Caractéristiques des différentes zones d'altitudes. 17
Tableau IV. 1: les systèmes satellitaires exploitant la Bande Ka. 84
Tableau IV. 2: Durée d'une atténuation dépassant 10 dB à trois fréquences différentes. 90
Tableau IV. 3: a et b pour différentes fréquences. 99

Rapport-Gratuit.com

Introduction générale

Les technologies spatiales sont devenues l'une des clés du développement extrêmement rapide des télécommunications et plus généralement du transfert d'informations :

- Liaisons de communication internationales,
- Equipement des pays en voie de développement,
- Nouveaux services de transmission de données et de télévision.

Les satellites sont devenus un auxiliaire précieux pour la gestion des ressources naturelles terrestres, la maîtrise de l'environnement, la protection des biens et des personnes en danger, l'amélioration de la qualité des services publics comme, par exemple, les services météorologiques.

Des applications nouvelles sont apparues et se développent telles que la téléphonie avec les mobiles à travers des constellations de satellites, ou les grandes artères de communication pour les applications multimédia.

Le taux de pénétration des équipements Haut débit et de nouvelles technologies de transmission dans le monde des télécommunications est très important. Ceci ne va pas sans poser de problèmes car les accès Haut débit sont très gourmands en bande passante. Or cette ressource étant rare, les constructeurs comme les opérateurs cherchent à optimiser les équipements ou voir d'autres Bandes de fréquence non encore vraiment exploités, en particulier dans le domaine de la télécommunication par satellite.

Parmi ces bandes de fréquence, on trouve en premier lieu la bande Ka qui suscite de plus en plus d'intérêt auprès des différents acteurs de télécommunications par satellite pour une transmission en voie montante à 30 GHz et en voie descendante à 20 GHz. Cet intérêt se justifie essentiellement par l'émergence des nouvelles applications multimédia qui nécessitent une communication large bande, mais aussi par la quasi saturation des bandes L, C

et Ku **[1]**. L'utilisation de la bande Ka présente des avantages par rapport aux bandes de fréquence inférieures. Elle permet une bande passante plus large et donc un débit à transmettre plus important. De plus, les fréquences de la bande Ka permettraient d'avoir des terminaux utilisateurs, petits, légers et de faible puissance.

Plusieurs systèmes utilisant la bande Ka existent, parmi lesquels les systèmes américains Spaceway et Wildblue, le satellite Anik F2 de Telesat au Canada et le satellite thaïlandais Ipstar pour l'Australie et l'Asie du Sud-Est. En europe, en dehors des systèmes proposés par Ses-Astra, Eutelsat et Viasat ont récemment lancé le service Tooway*TM* pour les accès internet haut débit grand public, par l'intermédiaire du satellite HOT BIRD 6. **[2]**.

Les objectifs de ce mémoire portent sur deux aspects. Le premier est l'étude du canal de transmission dans la bande Ka et voir les différentes atténuations possibles et leurs fluctuations sur le signal transmis. Le second est de voir l'influence de la bande Ka sur les performances de transmission d'un signal dans un système OFDM et un système CDMA.
Tous les systèmes de communication qui s'appuient sur plusieurs utilisateurs doivent avoir un ensemble de protocoles pour permettre aux utilisateurs de partager un moyen d'accès commun. Ce mécanisme est appelé contrôle d'accès ou un accès multiples. Il existe de nombreuses méthodes d'accès multiples classiques (TDMA, FDMA…) et avancée (CDMA, OFDM, MCCDMA..).

La technique CDMA pour l'accès multiple par répartition de codes, est intrinsèquement associée à l'étalement de spectre.

La technique OFDM transforme, moyennant l'ajout d'un préfixe cyclique, un canal sélectif en fréquence en un banc de canaux non sélectifs en fréquences. Ainsi elle permet de baisser la complexité de l'égalisation de canal.

Notre mémoire sera divisé en quatre principaux chapitres :

Le premier chapitre a pour objectif de présenter les principales notions relatives aux systèmes de communications par satellite.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Dans un premier temps, nous allons effectuer une description du système de communication par satellite ; nous présenterons l'architecture du système, les caractéristiques, les différentes bandes utilisées pour ce type de communications, ainsi qu'une introduction aux techniques d'accès multiple.

Par la suite nous allons présenter la technique d'accès CDMA, solution simple basée sur l'étalement de spectre par multiplication du signal par un code à séquence directe, nous ferons une description ainsi qu'une présentation de différents signaux d'une chaine de transmission utilisant le DS-CDMA.

Le troisième chapitre sera consacré à une présentation générale de la modulation OFDM pour montrer l'intérêt des modulations à porteuses multiples, ainsi qu'à une simulation d'un système de transmission OFDM pour un canal a trajets multiples.

Dans le dernier chapitre nous allons développer des chaines de transmission complètes des deux solutions CDMA et OFDM sous MATLAB, afin d'évaluer leurs performances pour différents types de canaux ; AWGN, Rayleigh et particulièrement le canal satellite en bande Ka et étudier les performances de transmission sous cette Bande.

Nous terminerons le mémoire par une conclusion et les perspectives envisagées.

I.1 Introduction

Le développement des télécommunications est une caractéristique fondamentale des sociétés modernes. Il conditionne de nombreux aspects de la vie du monde contemporain. On s'est rendu compte que l'utilisation de l'espace extra atmosphérique permettait d'apporter des solutions satisfaisantes sur le plan technique, économique et commercial, et pour augmenter le volume des communications, leur rapidité et les distances franchies. S'agissant notamment de la capacité de transmission, un satellite de télécommunications offre des possibilités bien supérieures aux moyens classiques de liaisons intercontinentales comme les câbles sous-marins. Un satellite placé sur l'orbite géostationnaire couvre environ un tiers de la surface du globe terrestre. Il peut donc mettre en liaison des stations quelconques se trouvant dans cette zone. Cette possibilité a permis de mettre en place des télécommunications intercontinentales.

Les télécommunications spatiales ont ainsi conduit à une amélioration et un développement considérables du téléphone, du télégraphe, de la télécopie, des téléconférences, la composition simultanée de journaux, les transmissions de données numériques entre filiales d'entreprises, et de nombreuses autres applications.

Outre les télécommunications fixes, qui permettent d'établir des liaisons à l'échelle planétaire, régionale ou nationale entre des stations de radiodiffusion ou de télévision, les télécommunications de services mobiles permettent d'améliorer les liaisons entre un point fixe situé sur la Terre et des engins de transport comme les navires, avions et véhicules routiers. Elles ont contribué à la régulation et à l'amélioration de la navigation aérienne et maritime. Aux Etats-Unis, les entreprises de transport routier utilisent un système permettant de savoir à chaque instant le lieu où se trouvent leurs véhicules. Enfin, les télécommunications spatiales contribuent également à la sauvegarde de vies humaines en permettant la localisation rapide des appels de détresse.

Cette première partie a pour objectif de présenter les principales notions sur les communications par satellite.

Dans un premier temps, nous allons effectuer une description du système de communication par satellite ; nous présenterons l'architecture du système, les caractéristiques, ainsi que les différentes bandes utilisées pour ce type de communications.

Ensuite nous introduirons les deux techniques d'accès multiples classiques TDMA et FDMA permettant à plusieurs utilisateurs de communiquer dans le même environnement.

I.2 Présentation du satellite

Un élément-clé dans les télécommunications spatiales est le satellite défini par le Règlement des radiocommunications (RR) de l'UIT comme suit : « Corps qui tourne autour d'un autre corps de masse prépondérante et dont le mouvement est principalement déterminé, d'une façon permanente, par la force d'attraction de ce dernier» **[3]**.

Un satellite de télécommunication peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. En effet, il ne s'occupe pas de la compréhension des données : ce n'est qu'un simple miroir. Son rôle est de régénérer le signal qu'il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice. Le satellite offre également une capacité de diffusion, c'est-à-dire qu'il peut retransmettre les signaux captés depuis la terre vers plusieurs stations. La démarche inverse peut également être effectuée ; il peut récolter des informations venant de plusieurs stations différentes et les retransmettre vers une station particulière. De plus, il est également possible d'établir des liaisons directes entre satellites. Ce principe a d'ailleurs été utilisé dans le projet Iridium développé par Motorola **[4]**.

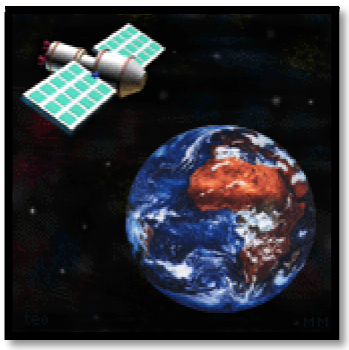


Figure I. 1 Exemple d'un satellite en orbite

Tous les phénomènes qui se passent au bord du satellite sont dus aux différents sous systèmes de télécommunication tels que la charge utile et la plate forme.

S'agissant de la charge utile (tous les équipements présents sur le satellite permettant la mise en œuvre de communication), parmi eux on peut noter les antennes d'émission et réception, les équipements électroniques et les transpondeurs.

- **Les antennes d'émission et réception a bord du satellite**

Elles définissent les zones de couverture des satellites pouvant comporter un à plusieurs faisceaux. Elles ont le même principe de fonctionnement que celle des stations terriennes. Cependant des contraintes de limitation d'espace au tour du satellite leur imposent des dimensions réduites.

- **Equipements électroniques**

Ce sont des équipements qui permettent à un signal de satellite spécifique d'être séparé de tous les autres signaux reçus par une station terrienne et qui convertie le format du signal en un format pour la vidéo, voix et données. Ces équipements sont composés des modems et possiblement des routeurs.

Pour les modems (modulateur-démodulateur), ils convertissent les signaux binaires, tels que ceux qui viennent des ordinateurs, pour communiquer sur une ligne analogique comme une ligne téléphonique, ou sur une porteuse dans le cas d'une transmission par ondes hertziennes.

Quant aux routeurs, ils sont des dispositifs de couche réseau qui détermine la voie optimale par laquelle le trafic du réseau devrait être acheminé.

Les routeurs acheminent des paquets d'un réseau à l'autre selon l'information de la couche réseau.

- **Transpondeur**

Le transpondeur ou répéteur est l'appellation donnée au réémetteur embarqué à bord du satellite. Il reçoit la porteuse issue d'une station terrienne émettrice, l'amplifie, la convertie à la bande de fréquence adéquate pour la liaison descendante avant de la transmettre vers la station terrienne réceptrice. Un satellite peut être équipé d'un ou plusieurs transpondeurs et chaque transpondeur est associé à plusieurs canaux de transmission dont chacun pouvant comporter une gamme de fréquence déterminée.

Pour les satellites géostationnaires les caractéristiques des répéteurs résultent d'une suite de compromis entre plusieurs facteurs.

- Puissance consommée et la bande de fréquence utilisée.
- Puissance émise par le satellite et diamètre d'antenne.
- Gain en réception du satellite qui est la puissance de la station terrienne.
- Le facteur de mérite de la station terrienne, le diamètre de l'antenne étant d'autant plus petit autant que les fréquences sont plus élevées.
- Sur leur anneau de positionnement : les satellites géostationnaires doivent être distants de 1000km au moins l'un de l'autre afin d'éviter toute interférence.

Dans les satellites de nouvelle génération, il est possible d'allouer de façon dynamique le débit de chaque transpondeur selon le type de communication et dans le temps **[5]**.

I.3 Système de transmission par satellite

La transmission par satellite consiste à prendre en charge des informations générées par un terminal directement connecté à une station terrienne et les acheminer vers une ou plusieurs stations.

Une liaison par satellite de télécommunication peut être comparée à celle d'un faisceau hertzien mais la seule différence est que le satellite joue un rôle d'un relais spatial.

Le signal qui constitue l'information à transmettre module une onde hyperfréquence dite porteuse émise par une station depuis le sol vers le satellite. Ce dernier joue le rôle d'un équipement d'amplification placé dans l'espace. Il transporte en fréquence le signal et le retransmet à une autre station.

I.3.1 Architecture d'un système de communication par satellite

Un système de télécommunication par satellite est décomposé en deux principaux secteurs **[6]** :

- Le secteur spatial;
- Le secteur terrien.

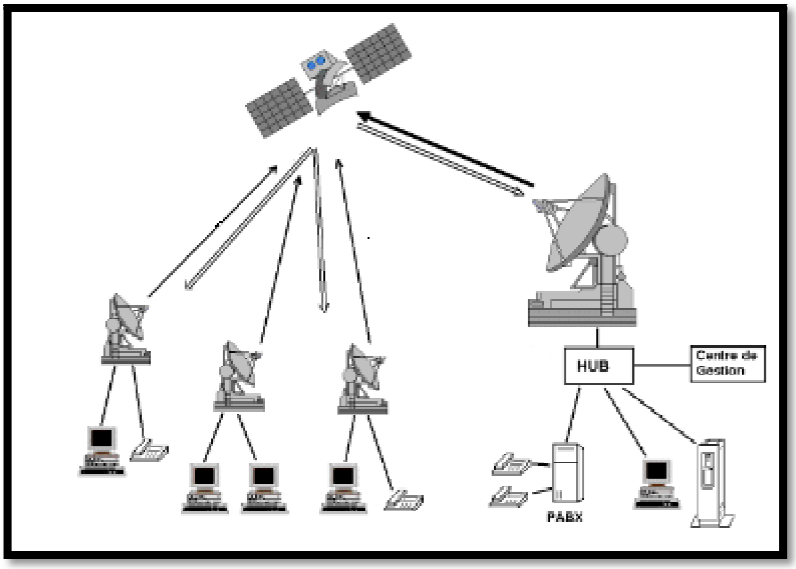


Figure I. 2: Liaison par satellite

I.3.1.1 Secteur spatial

Le secteur spatial est constitué du satellite par lui-même, de l'ensemble des stations de contrôle au sol, c'est à dire les stations télémesure et de télécommande appelées TT&C (***T****racking, **T****elemetry and **C****ommand*), ainsi que du centre de contrôle du satellite, où sont décidées toutes les opérations liées au maintien opérationnel, et où sont vérifiées les fonctions vitales du satellite.

I.3.1.2 Secteur terrien

Le secteur terrien est constitué de l'ensemble des stations terriennes, le plus souvent raccordées aux terminaux des usagers par un réseau terrestre, ou directement, dans le cas de petites stations (VSAT : ***V****ery **S****mall **A****perture **T****erminal*), et de stations mobiles. Les stations se distinguent par leur taille, qui varie selon le volume de trafic à acheminer sur la liaison spatiale, et selon le type de trafic (téléphone, télévision, données, etc.). Les plus grandes sont équipées d'antenne de 30 mètres de diamètre, et les plus petites antennes ont un diamètre de 0.6 mètre (cas de la réception TV). On distingue les stations fixes, les stations transportables, et les stations mobiles. Certaines stations sont en même temps émettrices et réceptrices.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

D'autres sont uniquement réceptrices, ce sont les RCVO (***ReCeiVe Only***) : ce sont par exemple, des stations de réception d'un système de radiodiffusion par satellite, ou d'un système de distribution de signaux de télévision ou de données **[6]**.

I.3.1.3 Principe de transmission

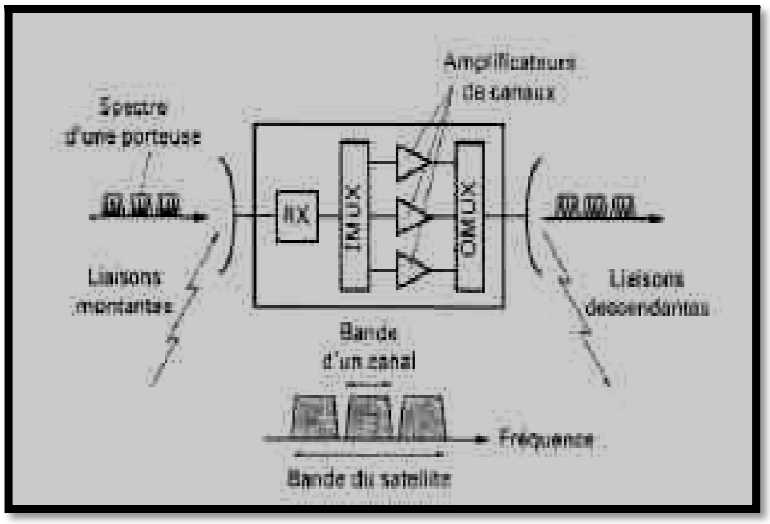


Figure I. 3: Synoptique de la structure interne d'un satellite

Les ondes radioélectriques porteuses émises par les stations terriennes sont reçues par le satellite et réparties dans les différents canaux selon leur fréquence grâce aux filtres d'entrée de canal (IMUX) : ces liaisons s'appellent liaisons montantes. Après amplification dans chaque canal, ces porteuses sont regroupées par des filtres de sortie de canal (OMUX) sur l'antenne d'émission. Le satellite les émet à son tour, vers les stations terriennes réceptrices : ce sont les liaisons descendantes.

Le canal d'un satellite a un double rôle :

- Amplifier les signaux reçus pour les retransmettre sur la liaison descendante. La puissance du signal à l'entrée du récepteur du satellite est de l'ordre de 100pW à 1nW. La puissance du signal à la sortie de l'amplificateur d'émission est de l'ordre de 10W à 100W. Le gain en puissance est de l'ordre de 100 à 130 dB.

- Changer la fréquence de l'onde porteuse pour éviter la réinjection d'une fraction de la puissance émise, dans le récepteur : le pouvoir de réjection des filtres d'entrée à la fréquence de la liaison descendante s'ajoute à la faiblesse des gains d'antenne d'émission et de réception de la sortie vers l'entrée pour assurer une isolation de l'ordre de 150 dB.

I.3.1.4 Structure du satellite

Dans la structure d'un satellite, on peut distinguer deux parties principales : la plateforme et la charge utile.

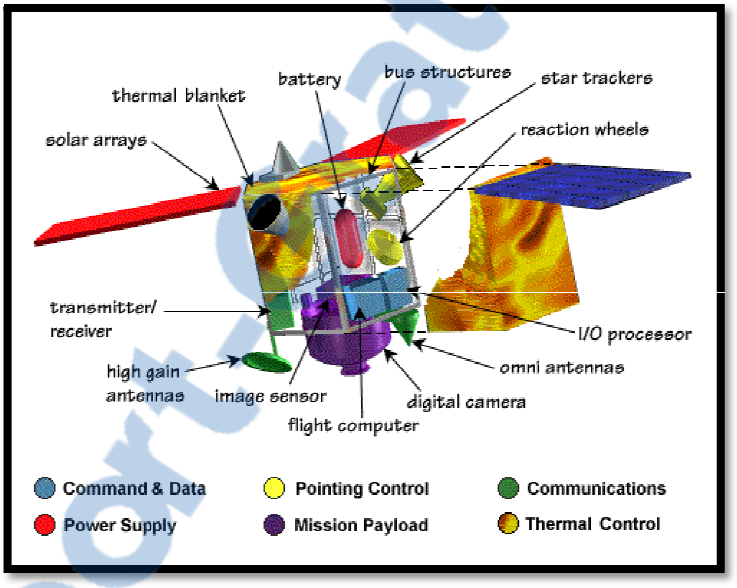


Figure I. 4: Structure d'un satellite

La plate-forme comporte l'ensemble des sous-systèmes permettant à la charge utile de fonctionner. On trouve :

- L'alimentation électrique (power supply) : tous les satellites ont besoin d'énergie pour fonctionner. Le soleil fournit l'énergie nécessaire pour la plupart des satellites en orbite. Ce système d'alimentation en énergie utilise des panneaux solaires pour convertir la lumière en énergie électrique, ainsi que des batteries pour la stocker, et un système de distribution qui transmet l'énergie électrique à chaque instrument.

Rapport-Gratuit.com

- Le système de commande (command &data) : ce système contrôle toutes les fonctions du satellite. C'est le cerveau du satellite. Le cœur de ce système s'appelle le Flight Computer. Il y a aussi un processeur d'entrée/sortie qui redirige toutes les données de contrôle qui entrent et sortent du Flight Computer.

- Le contrôle d'altitude et d'orbite et les équipements de propulsion (pointing control): ce système permet au satellite de rester stable et de toujours être orienté dans la bonne direction. Le satellite possède des capteurs qui lui permettent de connaître son orientation. De plus, le satellite a aussi besoin de pouvoir se déplacer pour corriger sa position, c'est pourquoi il possède un mécanisme de propulsion. La performance du système de contrôle d'altitude dépend de l'utilisation du satellite. Un satellite utilisé pour faire des observations scientifiques a besoin d'un système de contrôle d'une plus grande précision que pour un satellite de télécommunications.

- Les équipements de poursuite, de télémesure et de télécommande TT&C (communications): ces équipements se composent d'un système émetteur, d'un système récepteur, ainsi que de diverses antennes permettant de relayer les informations entre la Terre et le satellite. La base de contrôle au sol utilise ces équipements pour transmettre de nouvelles instructions à l'ordinateur du satellite. Ce système permet aussi de transmettre des images ou autres formes de données enregistrées, aux ingénieurs se trouvant sur Terre.

- Le contrôle thermique (thermal control) : le système protège tous les équipements du satellite des dommages dus à l'environnement spatial. En orbite, un satellite est exposé à de brutaux changements de températures (de –120° lorsque le satellite est dans l'obscurité, jusqu'à 180° lorsque le satellite se trouve exposé au soleil). Le contrôle de la température utilise une unité de distribution de chaleur ainsi qu'un système de couverture thermique pour protéger les équipements électroniques du satellite de ces brusques changements de température.
- La charge utile d'un satellite (mission payload) représente tous les équipements permettant au satellite de réaliser la fonction pour laquelle il est destiné. Pour un satellite de communications, la charge utile peut représenter les antennes réfléchissant le signal

TV ou le signal téléphonique. Pour un satellite d'observation, la charge utile est composée de caméras digitales et de capteurs d'image pour prendre des clichés de la surface de la Terre. Cette charge utile comporte un ensemble de canaux, chaque canal étant équipé d'un amplificateur d'émission opérant dans une sous bande particulière de la bande totale allouée au satellite. Cette disposition permet d'offrir, dans chaque canal, une puissance en rapport avec l'état de développement technologique des amplificateurs micro-ondes embarquables, alors que la mise en œuvre d'un seul amplificateur pour l'ensemble de la bande conduirait à une dissémination de la puissance de cet amplificateur **[6]**.

I.4 caractéristiques du système de transmission

I.4.1 Orbites

La quasi-totalité des satellites, qu'ils soient à usage d'observation ou de télécommunication, ont des orbites, c'est à dire des trajectoires spécifiques à un corps animé d'un mouvement périodique, propres à leur utilisation. On peut ainsi distinguer trois types d'orbites différentes: des orbites elliptiques, des orbites circulaires et l'orbite géostationnaire, chacune ayant des caractéristiques différentes des autres **[7]**.

- **Orbites elliptiques :**

Comme son nom l'indique, un satellite placé dans une orbite de ce type décrit une trajectoire en forme d'ellipse autour de la terre. Afin de placer un satellite en orbite elliptique, la vitesse de lancement dans l'espace doit, d'après Newton et ses théories sur la gravitation, être supérieure à 7900 m/s. La principale caractéristique de ce type d'orbite est la grande variation en vitesse que subissent les satellites. En effet, plus un satellite est loin de la terre, plus sa vitesse est faible car la vitesse " v " est inversement proportionnelle à son altitude " h " selon la relation :

$$v^2 = G * m * (\frac{2}{h} - \frac{1}{a}) \qquad \text{(I-1)}$$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Où G est la constante gravitationnelle, m la masse du satellite et a le demi grand axe de l'orbite.

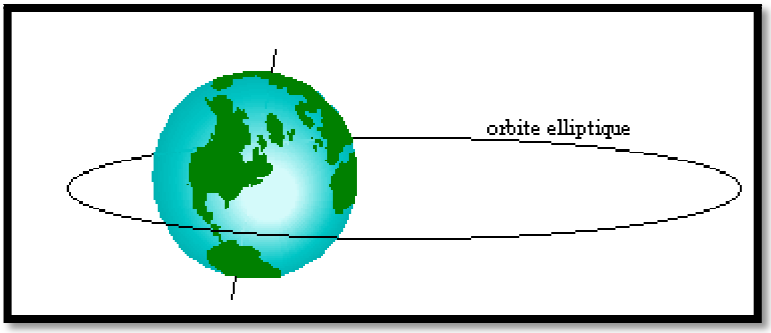


Figure I. 5: Structure d'un satellite

Cependant, comme l'altitude varie énormément pendant sa période et que la trajectoire décrit une ellipse, la position du satellite pour un observateur terrestre n'est pas fixe. Par conséquent, le suivi de chaque satellite nécessite un équipement de stations d'émission et de réception avec des antennes mobiles, ce qui est considéré au point de vue financier et qualitatif comme un inconvénient. Néanmoins, les satellites en orbites elliptiques présentent l'avantage de pouvoir desservir des zones éloignées de l'équateur, ce qui n'est pas forcement le cas pour les orbites circulaires et géostationnaire. En effet, avec une inclinaison élevée, il est possible de survoler des territoires à la périphérie des hémisphères. La couche d'atmosphère étant plus étroite, la qualité des signaux est donc un peu meilleure.

Par exemple, dans le système " Molnya " utilisé par l'URSS, 3 satellites dont les orbites sont inclinées de 63° par rapport au plan équatorial, couvrent totalement la Sibérie car leur partie lente correspond au deux tiers de leur période et ils se situent alors à la verticale du territoire sibérien.

Les orbites elliptiques présentent des avantages, comme la couverture des zones éloignées de l'Equateur, mais également des inconvénients tels que les aspects qualitatif et financier des équipements mobiles sur Terre. Cependant il existe des orbites où ce type d'inconvénients n'apparaît presque pas : ce sont les orbites circulaires.

- **Orbites circulaires :**

Il existe une infinité d'orbites circulaires, chacune correspondant à une inclinaison par rapport au plan orbital, mais on peut en distinguer 3 sortes : l'orbite circulaire polaire et les orbites circulaires inclinées.

L'orbite polaire est une orbite circulaire qui passe par-dessus les deux pôles de la Terre.

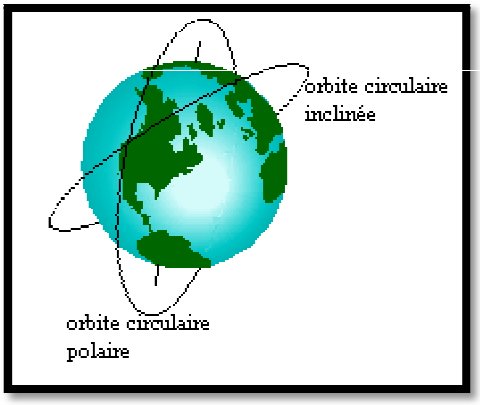


Figure I. 6: Satellite en orbite circulaire

L'inconvénient principal, pour les satellites inscrits dans ce type de trajectoire, est la lenteur de leur couverture mais cette faible vitesse permet tout de même au satellite de couvrir une grande partie de la surface du globe, voire la totalité de la terre, compte tenu de la rotation de la terre sur elle-même. On peut citer l'exemple des satellites d'observation français " Spot ", situés à 800 km d'altitude, qui assurent la couverture de la surface totale du globe en 21 jours, ou encore un système américain constitué de 12 satellites et ayant une utilisation dans la messagerie.

Les orbites circulaires inclinées décrivent également un cercle autour de la Terre, mais chaque trajectoire est inclinée d'un certain angle par rapport au plan équatorial. De plus il est nécessaire d'imposer au satellite une vitesse de lancement d'environ 7900 m/s. Cependant, cette inclinaison présente un inconvénient majeur : étant donné que la plus haute latitude desservie par les satellites, dont les orbites sont inclinées, correspond à la déviation angulaire par rapport au plan de l'Equateur, ces satellites ne peuvent pas couvrir la totalité de la surface du globe. Par contre, cette orbite possède un avantage : selon l'altitude du satellite, il est

possible de cibler les zones du globe, c'est à dire que l'on peut desservir les parties intéressantes d'un point de vue économique, militaire, ou autres applications…

Par exemple, le projet français " Globalstar " prévoit de lancer 48 satellites en orbite circulaire inclinée à 50° par rapport à l'équateur, afin d'assurer des communications mobiles dans la plupart des pays.

Ces deux types de trajectoires ont chacun des caractéristiques différentes, des usages propres suivant les inconvénients et les avantages. Néanmoins ils ne sont que très peu utilisés par rapport à une autre orbite circulaire : l'orbite géostationnaire, qui possède actuellement le plus d'avantages aussi bien économiques que pratiques.

- **Orbite géostationnaire :**

A l'origine, une orbite géostationnaire est une orbite circulaire inclinée d'un angle nul, c'est à dire placée dans le plan équatorial. Mais ses caractéristiques étant assez différentes de celles des orbites circulaires simples, on l'a nommé orbite géostationnaire.

Ce nom vient de la caractéristique la plus importante de cette orbite : pour un observateur terrestre, un satellite placé en orbite géostationnaire a une apparence immobile dans le ciel. Cela vient en grande partie du fait que la période de révolution, c'est à dire le temps que met le satellite pour parcourir le périmètre du cercle représentatif de sa trajectoire, est exactement la même que celle de la Terre, soit exactement 23 heures 56 minutes 4 secondes. Mais le fait qu'il tourne dans le même sens que notre planète en est également une cause.

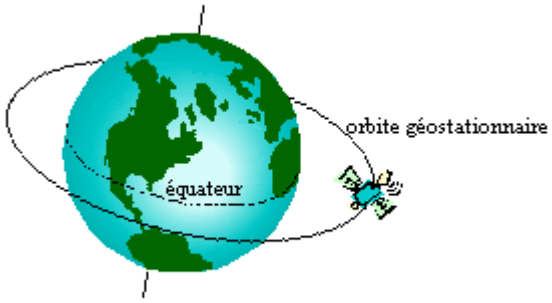


Figure I. 7: Satellite en orbite géostationnaire

Cette orbite est la plus utilisée actuellement car la qualité des signaux est équivalente, voire supérieure à celle des autres orbites, mais il est beaucoup plus rentable d'utiliser ce type de satellite dans la mesure où l'avantage majeur est la possibilité d'employer sur Terre des antennes fixes. De plus, la position de cette trajectoire permet aux satellites d'avoir une grande couverture qui vaut à peu près un hémisphère. Par contre, son altitude élevée entraîne quelques inconvénients. En effet, plus les zones à couvrir sont éloignées de l'Equateur, plus le signal mettra de temps pour arriver, et plus il y aura d'interférences. Il y a également un autre problème qui se dessine déjà pour cette orbite : le nombre de satellites en orbite géostationnaire devenant de plus en plus grand au fil des années, cette trajectoire commence à être très chargée. Les scientifiques prévoient aussi un danger pour les satellites en état de marche car les satellites dits " poubelles " qui n'ont plus d'énergie pour être opérationnels dérivent sans contrôler leur vitesse et peuvent alors détériorer les autres **[7]**.

Tous les satellites en activité dans l'espace sont actuellement dans une de ces trois catégories d'orbites: les orbites elliptiques, les orbites circulaires et l'orbite géostationnaire. Chacune de ces trois trajectoires possède des caractéristiques différentes et propres à des applications particulières. Cependant toutes ces utilisations nécessitent obligatoirement des équipements techniques aussi bien sur Terre que sur le satellite afin d'assurer les communications entre la Terre et les satellites.

Le tableau suivant donne une classification des satellites selon le type des orbites et leurs utilisations **[8]**.

	GEO Orbite géostationnaire.	MEO Medium earth orbiting satellites.	LEO Low earth Orbiting satellites.
Altitude en km.	35786 orbite circulaire équatoriale.	5000 à 15000 orbite circulaire inclinée ou polaire.	Inférieure à 800km idem
Couverture.	Mondiale avec 3 satellites	Mondiale avec un grand nombre.	idem
Utilisation.	Diffusion radio, télévision, VSAT.	Téléphonie mobile. Transmission de données à débit faible.	Téléphonie mobile. Transmission de données.
Débit.	Jusqu'à 155Mbits/s.	Jusqu'à 64kbits/s.	2,4 à 155Mbits/s.
Durée de vie.	10 à15 ans.	8 à 10 ans.	8 à 10 ans.
Temps de transfert	0,5s.	0,1s.	50ms.

Tableau I. 1: Caractéristiques des différentes zones d'altitudes.

I.4.2 Couverture d'un satellite

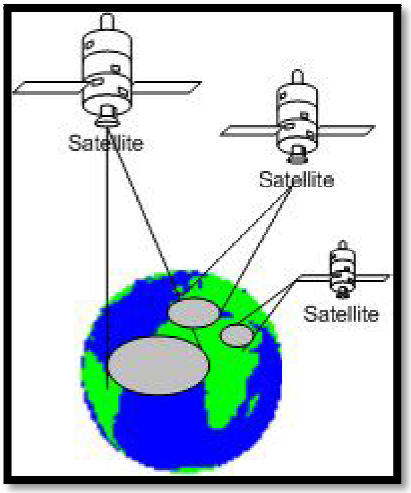


Figure I. 8: couverture d'un satellite

L'orbite d'un satellite de par sa forme et son rayon définit la zone de couverture et la portée du satellite. Plus le satellite est éloigne de la terre et plus sa couverture est étendue. Bien qu'évident ce critère reste un élément majeur dans le choix et l'élaboration d'une solution

satellite. En effet plusieurs systèmes de satellites peuvent couvrir la même superficie mais chacun se distinguera par un ensemble de caractéristiques particulières. Parmi elles, la plus déterminante est le nombre de satellites composant le système et la méthode utilisée pour les gérer.

En effet, la couverture d'un satellite géostationnaire peut être atteinte par une constellation de satellites à plus basse altitude mais il faudra alors s'intéresser aux moyens de rendre ce réseau homogène sur l'ensemble de la zone. Pour cela deux solutions existent soit les satellites communiquent entre eux soit un relais terrestres permet de les synchroniser **[4]**.
On peut apprécier ici la grande étendue couverte par un seul satellite géostationnaire : la figure suivante montre la couverture en bande C de PAS-1R.

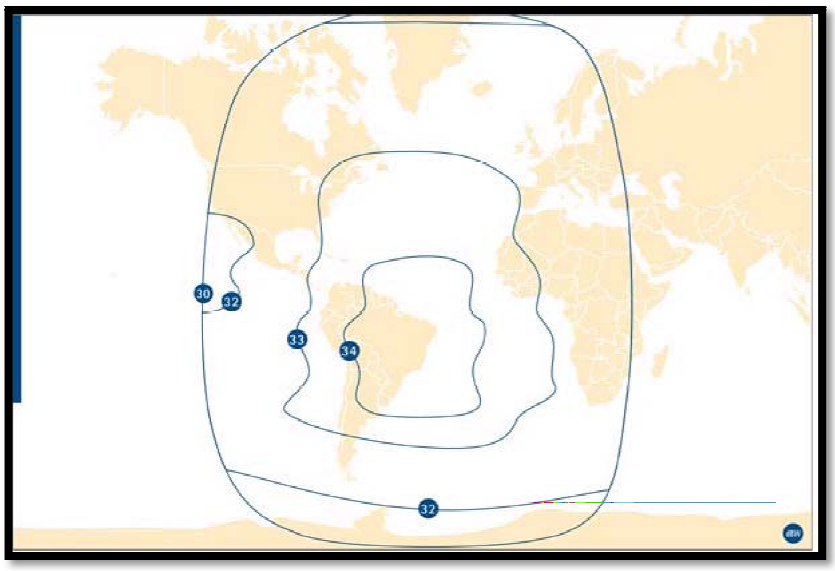


Figure I. 9: Couverture en bande C de PAS-1R.

I.4.3 Gestion de la bande passante (hand over)

Pour diffuser les données, qu'elles soient numériques ou analogiques, les stations terrestres accèdent aux satellites par l'intermédiaire de fréquences spécifiques. En effet l'acquisition d'un support de transmission satellite est en fait la location d'une bande de fréquences qui sera consacrée et partagées par les différentes stations de ce réseau satellite.

Sans politique d'accès pour accéder au support, les signaux transmis par une station se confondraient avec d'autres signaux provenant de stations différentes. Les signaux reçus seraient alors incompréhensibles et impossibles à décoder ; cela entraînerait leur perte et il serait nécessaire de les retransmettre. De plus, il n'est pas envisageable d'allouer un canal pour chaque station ; ce système serait beaucoup trop coûteux. La mise en place d'une politique d'accès aux canaux satellites a donc été réalisée pour dans un premier temps, permettre à plusieurs stations d'accéder à un même canal de transmission, et dans un deuxième temps, pour avoir une exploitation maximale des transpondeurs du satellite tout en garantissant qu'il y ait le moins de collisions possibles. (Il est à garder à l'esprit qu'une solution satellite demande un fort investissement, ce médium doit donc être optimisé au maximum) Ce partage de la bande passante est aussi soumis à certaines prérogatives liées aux applications, aux particularités intrinsèques des types des satellites et à leur nombre.

Le cas le plus simple est celui du satellite géostationnaire seul .En effet le partage de la bande est réalisé ici de façon unique et les calculs pour la répartition des canaux ne tient pas en compte les baisses de puissances dues aux déplacements du satellite par rapport aux stations. En effet une station utilisera toujours le même satellite et son antenne aura une position fixe.

A contrario lorsque l'on utilise plusieurs satellites ou lorsque ceux-ci sont mobiles il faut intégrer les positions des stations par rapports aux différents satellites pour attribuer les canaux de manière optimale.

Ce basculement de canal intra satellite ou inter satellites s'appelle le hand over, sa gestion est déterminante dans l'utilisation d'une solution satellite. Nous allons présenter brièvement ces Concepts.

- **Le hand over intra satellite :**

Il correspond à une réattribution de canal pour une ou plusieurs stations au sein du même satellite. Cela est réalisé pour optimiser les échanges lorsqu'un canal est peu utilisé ou très perturbé par exemple, cette technique peut aussi être utilisée pour la répartition de charge.

- **Le hand over inter satellite :**

Cette situation est directement liée à la mobilité du satellite ou des stations. Le changement de canal pour la ou les stations est effectué dans ce cas lorsqu'une transmission est basculée sur un autre satellite.

Pour réaliser ces attributions de canaux on peut distinguer plusieurs approches :
Le Soft Hand over : « mou » dans ce cas le basculement d'un premier canal vers un second (sur le même satellite ou non) passe par un état de transition où la transmission est maintenue sur les deux canaux avant de se fixer sur le nouveau. Le Hard hand over (« dur ») quant à lui fait basculer instantanément la transmission d'un canal à l'autre. Ces techniques dépendent des contraintes de temps et d'intégrité de nos besoins.

Une autre approche permet d'anticiper les basculements (en définissant des zones ou des seuils critiques) ou de réserver des canaux pour gérer ces hand over **[4]**.

Rapport-Gratuit.com

I.4.4 Services de télécommunication par satellite

L'Union internationale des télécommunications entend par télécommunication « toute transmission, émission ou réception de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de renseignements de toute nature par fil, radioélectricité, optique ou d'autres systèmes électromagnétiques ». Ces transmissions peuvent s'effectuer par des services fixes ou mobiles **[5].**

I.4.4.1 Le Service fixe par satellite (SFS)

Selon le Règlement des radiocommunications, le SFS est un « service de radiocommunication entre stations terriennes situées en des emplacements donnés lorsqu'il est fait usage d'un ou de plusieurs satellites ; l'emplacement donné peut être un point fixe déterminé ou tout point fixe situé dans des zones déterminées ; dans certains cas, ce service comprend des liaisons entre satellites, qui peuvent également être assurées au sein du service inter-satellites ; le service fixe par satellite peut en outre comprendre des liaisons de connexion pour d'autres services de radiocommunication spatiale». Les stations installées à bord des satellites, qui sont essentiellement constituées par les répéteurs et les antennes associées, sont appelées stations spatiales du SFS. A l'heure actuelle, à de rares exceptions près, toute liaison entre une station terrienne émettrice et une station terrienne réceptrice se fait par l'intermédiaire d'un seul satellite. A l'avenir, il est prévu que les liaisons entre deux stations terriennes utilisent deux satellites ou plus, reliés directement sans station terrienne intermédiaire. Une telle liaison entre deux stations terriennes utilisant des liaisons entre satellites sera appelée liaison multi-satellites.
Les liaisons entre satellites font partie du service inter-satellites (SIS).

Les liaisons inter-satellites du service inter-satellites peuvent être utilisées pour relier les stations terriennes de la zone de couverture d'un satellite aux stations terriennes de la zone de couverture d'un autre satellite, lorsqu'aucun des deux ne dessert les deux ensembles de stations.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Un ensemble de stations spatiales et de stations terriennes coopérant pour assurer des radiocommunications est appelé « système à satellites ». Il est commode de distinguer le cas particulier d'un système à satellites ou d'une partie d'un système à satellites composé d'un seul satellite et des stations terriennes associées, qui sont appelé « réseau à satellite ».

Le service fixe par satellite comprend également les liaisons de connexion**,** c'est-à-dire les liaisons radioélectriques entre une station terrienne située en un point fixe déterminé et une station spatiale, et vice versa, qui servent à transmettre des informations pour un service de radiocommunication spatiale autre que le SFS. On range dans cette catégorie, en particulier, les liaisons montantes vers les satellites du service de radiodiffusion par satellite (SRS) et les liaisons montantes et descendantes entre les stations terriennes fixes et les satellites du service mobile par satellite (SMS).

Tous les types de signaux de télécommunication peuvent être transmis par les liaisons SFS: téléphonie, télécopie, données, vidéo (ou une combinaison de ces signaux dans le cadre des réseaux numériques à intégration de services (RNIS)), programmes de télévision et de radiophonie, etc.

Les satellites de télécommunication des dernières générations, qui fonctionnent dans les bandes de fréquences du SFS, sont équipés de répéteurs de forte puissance qui permettent de fournir directement au grand public des services de radiodiffusion, en réception individuelle au moyen de très petites antennes (réception de télévision uniquement), ou en réception communautaire (applications professionnelles et grand public).

I.4.4.2 Le Service mobile par satellite (SMS)

Conformément au Règlement des radiocommunications, il s'agit d'un « Service de radiocommunication : entre des stations terriennes mobiles et une ou plusieurs stations spatiales, ou entre des stations spatiales utilisées par ce service ; ou entre des stations terriennes mobiles, par l'intermédiaire d'une ou plusieurs stations spatiales. Ce service peut en outre comprendre les liaisons de connexions nécessaires à son exploitation.» Cette définition inclut les SMS maritime, aéronautique et terrestre. Il est à noter que dans certains systèmes modernes, les stations terriennes peuvent être constituées de très petits terminaux, voire de terminaux portatifs.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Les services utilisant les satellites placés en orbite géostationnaire sont : le service fixe par satellite, le service de radiodiffusion par satellite, le service mobile par satellite, le service de radiorepérage par satellite, le service de recherche spatiale, l'exploration de la Terre par satellite, le service inter-satellite, le service amateur par satellite, le service de radioastronomie et le service des fréquences étalons et des signaux horaires par satellite **[9]**.

I.4.5 Bandes de fréquences

Pour éviter un chaos total dans le ciel, une réglementation internationale spécifique et stricte a été mise en place par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT-T) concernant la répartition des fréquences; elle fait partie intégrante du règlement international des radiocommunications. Cette réglementation définit notamment la position orbitale des satellites et les bandes de fréquences qu'ils doivent utiliser et respecter. Plusieurs types de services de communications par satellites sont définis dans la réglementation : le service fixe par satellite (SFS), le service mobile par satellite (SMS), qui comporte un service mobile terrestre et un service mobile maritime, le service de radiodiffusion par satellite (SRS) **[4]**.

La première bande qui a été utilisé par les satellites commerciaux pour les services SFS, fut la **bande C**. Elle est aujourd'hui fortement encombrée. Cette bande est divisée en deux sous bandes ; la plus basse, pour les flux descendants (satellite/terre) et la plus haute, pour les flux montants (terre/satellite). Dans le cas d'une communication full duplex, il est nécessaire de disposer de deux canaux par connexion dans chaque plage de fréquences. Cette bande est surtout utilisée par les opérateurs pour leurs liaisons intercontinentales.

La **bande Ku,** plus récemment utilisée, donc pas encore encombrée, est surtout utilisée pour les SFS et exclusivement pour les SRS dans les bandes 12/11 GHz. Le désavantage de cette bande est qu'elle est très sensible aux orages ; l'eau de pluie absorbe les signaux. Par contre cette bande, est peu sensible aux parasites urbains et est donc préconisée pour l'utilisation des VSAT.

La **bande Ka** permet l'utilisation d'antennes encore plus petites, les USAT. Cette bande est surtout utilisée par les terminaux mobiles de type GSM. Cette bande connstitue le contexte de notre étude

La **bande L** est principalement destinée aux satellites en orbite basse. Les bandes de fréquences de la bande L ont été définies par la conférence mondiale (CAMR) de 1992 pour le service mobile par satellite.

La **bande X** est réservée aux applications militaires **[4]**.

I.4.6 Politiques d'accès aux canaux satellite

Supposons que le signal reçu par le satellite avec une fréquence f1 est retransmis vers la Terre avec une fréquence f2 vers l'ensemble des stations terrestres.

Nous allons supposer aussi que toutes les stations terrestres n'ont à leur disposition qu'une seule fréquence f1, qui est transposée en la fréquence f2 de retour. Comme nous venons de le voir, les stations terrestres n'ont de relation entre elles que via le satellite : si une station veut émettre un signal, elle ne peut le faire qu'indépendamment des autres stations s'il n'y a pas de politique commune. Si une autre station émet dans le même temps, il y a collision des signaux qui deviennent incompréhensibles puisque impossibles à décoder. Il y a perte des deux messages qui devront être retransmis ultérieurement.

Les politiques d'accès aux canaux satellites doivent permettre une utilisation maximale du canal, celui-ci étant la ressource cruciale du canal.

Dans les réseaux locaux, le délai de propagation très court permet d'arrêter les transmissions après un temps négligeable. Dans le cas satellite, les stations terrestres découvriront qu'il y a eu chevauchement des signaux mais seulement 0.27 sec après leur émission (cas GEO). Ceci représente une perte importante sur un canal d'une capacité de plusieurs Mb/s.

On classifie les techniques d'accès en deux grandes catégories :

- les politiques d'accès aléatoire
- les politiques de réservation

I.4.6.1 Politiques d'accès aléatoire

L'accès aléatoire consiste pour les stations terrestres à émettre dès qu'elles ont un paquet de données en leur possession. S'il y a collision, les stations terrestres concernées s'en aperçoivent puisqu'elles écoutent les signaux émis sur le canal. Les paquets perdus seront retransmis ultérieurement après un temps tiré de façon aléatoire pour éviter au maximum de nouvelles collisions **[10]**.

Des améliorations ont été apportées à ce principe général. Trois catégories d'accès aléatoire s'en dégagent :

- la technique de base nommée ALOHA,
- la politique ALOHA en tranche,
- les techniques de réservation ALOHA.

I.4.9.2 Politiques de réservation

Il existe deux principales techniques classiques de réservation : le TDMA et le FDMA.

- Accès multiple par répartition de fréquence (FDMA)

L'Accès Multiple par Répartition de Fréquences (AMRF), appelé aussi Frequency Division Multiple Access (FDMA), est une technique de multiplexage largement utilisée dans les systèmes de communications radiofréquences [11]. Le FDMA consiste à transmettre les signaux provenant de *N* utilisateurs différents sur des bandes de fréquences distinctes. La Figure (I.10) donne un exemple de la manière dont ce multiplexage peut s'effectuer.

Comme le montre la Figure (I.10.a), un filtre passe bas est utilisé au niveau de l'émetteur afin de s'assurer que la bande passante du message à transmettre est limitée à une largeur définie au préalable. Chaque signal module une porteuse différente dont la fréquence est fixée par le synthétiseur. Les signaux issus des *N* modulateurs sont superposés et transmis par le canal.

En réception, les porteuses sont séparées par des filtres passe-bande placés en parallèle et centrés sur les fréquences porteuses des messages à détecter. La largeur de ces filtres est déterminée afin de ne pas tronquer le spectre du signal. A la sortie du filtre passe-bande, le signal est démodulé et traverse un filtre passe-bas permettant d'écarter les composantes indésirables et de récupérer le message en bande de base.

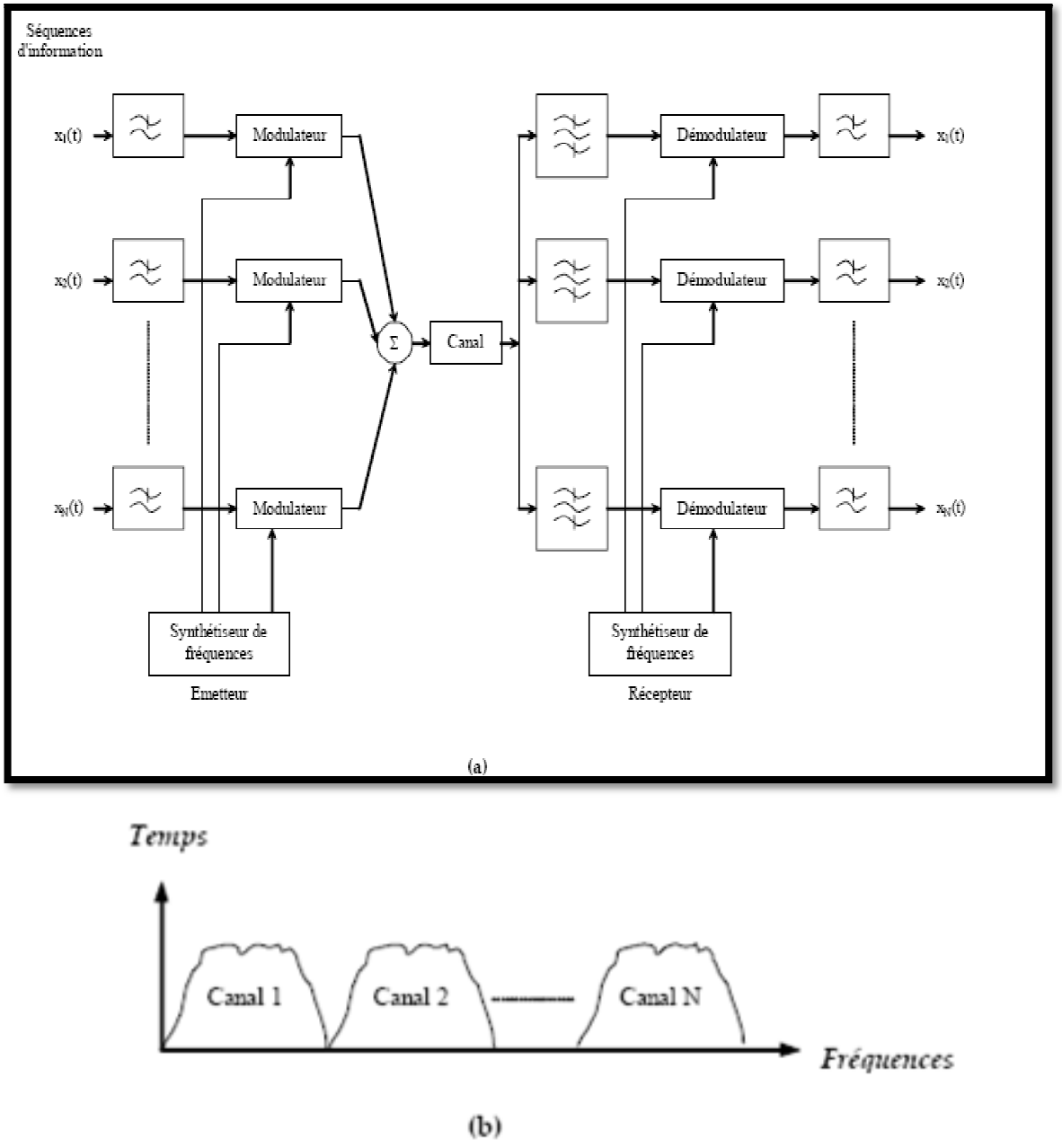


Figure I. 10: Schéma d'un multiplexage en fréquence (FDMA).

Dans ces conditions, les utilisateurs émettent leurs signaux de manière continue, chacun sur une fréquence différente. La suppression des IAM est assurée par l'utilisation de fréquences porteuses différentes et séparées par un intervalle fréquentiel prédéfini représentant la largeur du canal affecté à un utilisateur (Figure I.10.b).

Dans notre cas supposons toujours qu'il y ait n stations terrestres.

On découpe la bande de fréquence f1 en n sous-bandes permettant à chaque station d'émettre indépendamment des autres liaisons.

Chaque station terrestre comporte de ce fait un modulateur, un émetteur, n répéteurs et n démodulateurs. De plus, le satellite doit amplifier simultanément n porteuses. Il se crée donc nécessairement des produits d'intermodulation dont la puissance croît très rapidement avec la puissance utile : il peut y avoir perte de plus de la moitié de la capacité de transmission par rapport à un accès unique.

On évite les collisions en répartissant le canal entre les divers utilisateurs.

- ***Avantages***

- Complexité faible pour le mobile.
- Transmission et synchronisation continues possibles.
- Modulation à faible débit.
- Une meilleure gestion de ressources de transmission en cas de faible trafic.

- ***Inconvénients***

On voit les limites de cette technique puisque, si une ou plusieurs liaisons sont inutilisées, il y a perte sèche des bandes correspondantes. Si l'on veut rendre cette politique dynamique en répartissant la fréquence f1 entre les utilisateurs actifs, ou si l'on veut introduire une nouvelle station dans le réseau, il faut imposer une nouvelle répartition des fréquences, ce qui pose de nombreux problèmes et ne peut se faire que sur des tranches de temps assez longues **[10]**.

- **Accès multiple par répartition de temps (TDMA)**

Le multiplexage en temps consiste à répartir la transmission d'une porteuse sur des intervalles de temps distincts. La porteuse est émise sur des intervalles de temps, appelés time slots, de durée T_S, chacune de ces durées correspondant à un temps pendant lequel un utilisateur peut transmettre ses données.

Un émetteur / récepteur, tel qu'un téléphone cellulaire, peut, par exemple, émettre et recevoir dans un intervalle de temps spécifique et rester inactif jusqu'à ce qu′il soit autorisé à intervenir de nouveau. En d'autres termes, chaque intervalle de temps accueille une partie du signal radio-fréquence associé à un utilisateur donné.

La porteuse du signal est divisée en plusieurs séquences appelées « burst », sachant qu'un burst est envoyé par intervalle de temps. Il en résulte que les données émises peuvent être transmises à la même fréquence sans entraîner d'Interférences d'Accès Multiple (IAM)

L'allocation des intervalles de temps aux différents utilisateurs se fait de manière cyclique comme le montre la Figure (I.11). Il est donc possible de caractériser un système TDMA par la durée d'un intervalle de temps T_S, la durée d'un cycle (T_{TDMA}) et le numéro de l'intervalle de temps associé à chaque utilisateur (N_T) **[11]**.

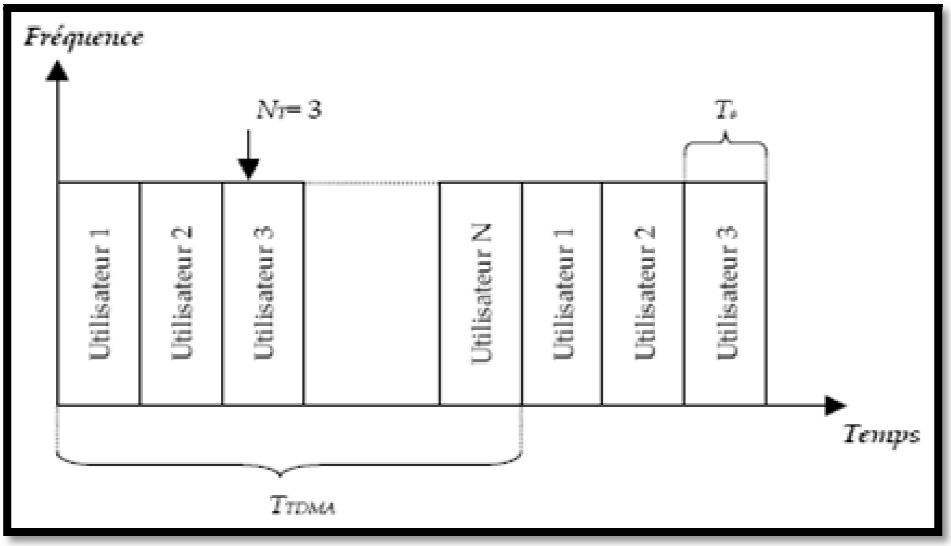


Figure I. 11: Schéma d'un multiplexage temporel (TDMA).

Dans le cadre dans une communication par satellite, on découpe le temps en tranches que l'on affecte successivement aux différentes stations terrestres.

Toutes les stations terrestres émettent avec la même fréquence sur l'ensemble de la bande passante, mais successivement. A l'opposé du fonctionnement en FDMA, chaque station doit être équipée d'un seul récepteur démodulateur.

Chaque tranche de temps est composée d'un en-tête qui a plusieurs fonctions : les premiers éléments binaires sont utilisés pour l'acquisition des circuits de recouvrement de porteuse et de rythme du démodulateur. L'en-tête transmet également les informations nécessaires pour permettre d'identifier la station terrestre émettrice. De plus, il est nécessaire de synchroniser l'émission en début de tranche pour qu'il n'y ait pas de chevauchement possible. Il existe entre chaque tranche un intervalle réservé à cet effet.

Globalement, le rendement de la politique TDMA est bien meilleur que celui du FDMA. De plus, il est facile de découper de nouvelles tranches de temps si de nouvelles stations sont connectées sur le canal.

La valeur de la tranche de temps varie selon l'application devant être supportée.

Dans le cas du transport de la parole en numérique sur un multiplex normalisé à 2MB/s, une tranche de temps est composé de 6 blocs de 125 µs. Les signaux transmis pendant cette tranche forment une trame de 750µs qui est précédée d'un en-tête. L'augmentation de la durée des tranches de temps diminue la fraction du temps perdu en en-tête et augmente l'efficacité de la transmission et le taux d'utilisation réel du canal satellite.

Toute la difficulté de la politique TDMA est de donner la main aux stations terrestres qui en ont réellement besoin, au bon moment et avec une tranche de temps la plus longue possible. Une politique d'allocation dynamique doit donc être utilisée. Les stations demandent, au fur et à mesure de leurs besoins, les tranches nécessaires pour écouler leur trafic. Ces demandes d'allocation ont, en revanche, le désagrément d'alourdir la gestion du système et d'augmenter sensiblement le temps de réponse, puisqu'il faut au minimum deux aller-retour avant d'obtenir de la station maître qui gère le système les tranches de temps correspondant à la demande.

Dans le cas d'une application téléphonique, ce délai est inacceptable puisque déjà un seul temps de propagation aller-retour rend la conversation à la limite du compréhensible.

- ***Avantages***
  - Coût réduit de la station de base.
  - Pas de duplexeur full-duplex.
  - Souplesse de modification sur le débit transmis.

- ***Inconvénients***
  - Gestion complexe.
  - Ajout de bit de signalisation et de synchronisation.
  - Haut débit sur le canal.
  - taux d'utilisation du canal souvent loin de l'optimum.

I.5 Conclusion

Les systèmes de satellites de télécommunications sont entrés dans une période dans transition, allant des communications point par point entre des stations terrestres de grande dimension et très onéreuses, jusqu'aux communications plus denses en informations entre de petits équipements à faible coût. Cette évolution est liée aux divers progrès technologiques réalisés dans le domaine : la transmission numérique, les faisceaux étroits, les méthodes d'accès multiple. Les capacités des canaux ont été ainsi démultipliées, l'emploi des fréquences optimisé, et les puissances des signaux diminuées, ce qui s'est traduit par une réduction des coûts de transmission et l'emploi de terminaux au sol beaucoup plus petits. Le développement de la télévision numérique par satellite constitue à ce jour la conséquence la plus concrète de ces différentes améliorations **[12]**.

Le chapitre suivant sera consacré a l'étude de l'accès multiple par répartition de codes CDMA.

Rapport-Gratuit.com

II.1 Introduction

Le CDMA a longtemps été utilisé dans les applications militaires à cause de sa robustesse face au brouillage. II constitue maintenant une alternative aux autres techniques d'accès multiple dans le domaine des systèmes de communications mobiles terrestres et par satellites [Vas97].

Dans l'accès multiple par répartition de codes, toutes les transmissions se font simultanément et sur la même largeur de bande. Les signaux sont protégés par un code particulier qui les différencie au récepteur Comme on le verra plus loin dans ce chapitre qui sera consacré à l'étude des aspects de cette méthode d'accès dans le contexte d'une transmission à travers un canal gaussien (AWGN).

II.2 Accès multiple par répartition de code

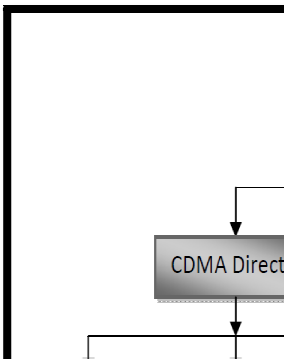
Le CDMA est une méthode d'accès multiple à un médium de communication par répartition de code : Plusieurs usagers ont alors accès à un canal commun et peuvent l'utiliser simultanément jusqu'à une certaine limite d'usagers actifs définie par la tolérance, la capacité, du système. Le CDMA correspond à ***l'Accès Multiple à Répartition de Codes***.

C'est une technologie d'étalement du spectre qui est utilisée depuis longtemps par les militaires pour sa résistance à l'interférence et pour le niveau de sécurité qu'elle offre. C'est une technique qui consiste à redistribuer et étaler le signal sur une très grande largeur de bande, jusqu'à le rendre « invisible » idéalement, pour les autres utilisateurs de la même largeur de bande. Au récepteur, l'opération d'étalement exécutée au transmetteur est répétée pour dé-étaler le signal en bande de base (ou une fréquence intermédiaire) tandis que les autres signaux transmis (interférence) sont perçus par le récepteur comme étant du bruit.

Les systèmes CDMA emploient des signaux Large Bande possédant de bonnes propriétés de corrélation, ce qui signifie que la sortie d'un filtre adapté au signal d'un utilisateur est petite si ce n'est pas le bon utilisateur. Ces systèmes sont souvent appelés « systèmes à spectre étalé » (Spread Spectrum Systems).

II.2.1 Différentes techniqu

Le CDMA était destiné, init
cadre d'applications militai
multiplexage tout en utilisant
l'objectif était de rendre les tr
vulnérable aux interceptions é



Figu

Pour obtenir de meilleures p
techniques de multiplexage
codage CDMA se dégagent. I
à séquences directes, le CDM
temps. La seconde, appelée
techniques de multiplexage de
(II-1) regroupe l'ensemble de

II.2.2 Etalement du spectre

L'étalement de spectre est une technique de modulation utilisant astucieusement la relation de Shannon. Cette technique a dans un premier temps été utilisée pour sa capacité de discrétion. Les premières applications ont eu lieu après la deuxième guerre mondiale et étaient destinées aux télécommunications militaires.

D'un autre coté, le nombre grandissant d'utilisateur potentiels de systèmes de radiocommunication oblige les concepteurs de réseaux de communication hertziens à partager le canal de transmission. La séparation des utilisateurs par des codes aux propriétés particulières (l'Accès multiple a répartition de codes) c'est une solution utilise l'étalement de spectre pour supporter les codes d'accès multiple.

- **Principe**

Les techniques d'étalement de spectre doivent leur apparition aux travaux de N.Wiener et C.E.Shannon qui, dans les années 1940, ont grandement contribué au développement de la théorie de l'information. La technique de l'étalement de spectre peut être expliquée et justifiée par la relation de Shannon –Hartley-Tuller. Cette relation montre que pour transmettre sans erreur une certain quantité d'information C, exprimée en bit par seconde, avec un rapport S/N entre la puissance du signal et celle du bruit, il faut disposer d'une largeur de bande B suffisante. Cette relation s'exprime sous la forme :

$$C = Blog_2(1 + \frac{S}{N}) \qquad \text{(II.1)}$$

Ainsi, pour les systèmes à étalement de spectre, la largeur de la bande de fréquences occupée par le signal émis est beaucoup plus importante que celle occupés par le message à transmettre. Le codage assure ici l'étalement de la puissance du signal sur une bande de fréquences large, ce qui permet de réduire sa densité spectrale de puissance et de rendre la communication relativement discrète.

L'étalement de spectre permet de répartir l'énergie radioélectrique du signal émis sur une bande de fréquences plus importante que celle qui est initialement nécessaire.
Il existe plusieurs techniques d'étalement de spectre :

- L'étalement par saut de fréquence (Frequency Hopping Spread Spectrum ouFH-SS)
- L'étalement de spectre par sequence discrete (Direct Sequence Spread Spectrum ou DSSS)
- L'étalement par saut de temps TH-SS (Time Hopping – Spread Spectrum) et le CDMA multi-porteuses (MC-CDMA) qui sont des techniques moins utilisées que les deux premières.

II.2.2.1 Etalement par saut de fréquence

Pour cette technique, le signal change par sauts successifs de fréquences porteuses en fonction d'un code pseudo-aléatoire. Ce saut de fréquence peut être soit rapide (Fast FHSS) ou lent (Slow FH-SS) selon que le rythme des sauts est bien supérieur ou bien inférieur au rythme des symboles.

Les avantages du FH-SS sont :

- Sa résistance aux interférences bandes étroites présentes dans la bande du canal ;
- Sa résistance aux problèmes au near/far. Les problèmes de near/far sont dus à des utilisateurs (A) d'un système fonctionnant en CDMA placés près d'un récepteur écoutant un utilisateur (B). En effet, si la puissance de (A) est trop importante alors la corrélation entre le code du récepteur et le message de (A) peut être supérieure à la corrélation du code récepteur et du message issu de (B). dans ce cas, le récepteur n'approche plus (B) et perd l'in formation. Là encore, grâce aux sous-canaux, le FH-SS est mieux immunisé car le problème ne se posera que lorsque (A) et (B) seront sur la même fréquence porteuse, alors qu'en DS-SS le problème est permanent.

Les inconvénients se trouvent dans la complexité de la réalisation et au niveau des performances de la synchronisation. En effet, pour que le récepteur se synchronise, il faut avoir une horloge commune pour l'émetteur-récepteur qui sera gérée par un maître. Le gain en traitement dépend de la longueur de la séquence de sauts de fréquence mais aussi des performances des synthétiseurs.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- **Principe**

- Fabriquer un signal numérique modulé autour de fp ;
- Décaler, selon une loi donnée, le spectre du signal numérique autour de fp + Δfi ou Δfi est un écart de fréquence variable avec le temps.

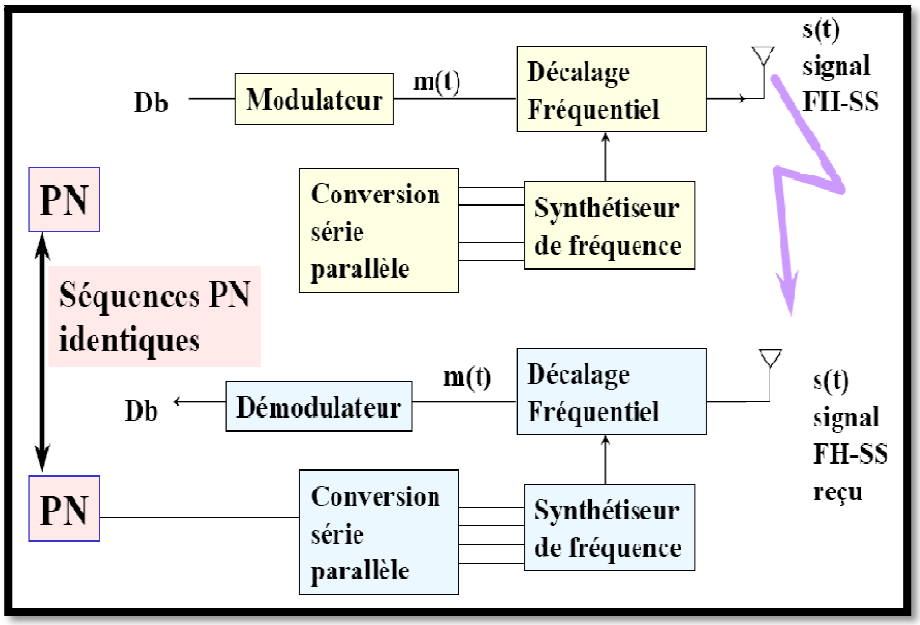


Figure II. 2: Représentation du système FH-SS.

Slow and Fast Frequency Hopping

Slow-FH: Durée d'un saut Δfi > Ts = période des symboles

Fast-FH: Durée d'un saut Δfi < Ts = période des symboles

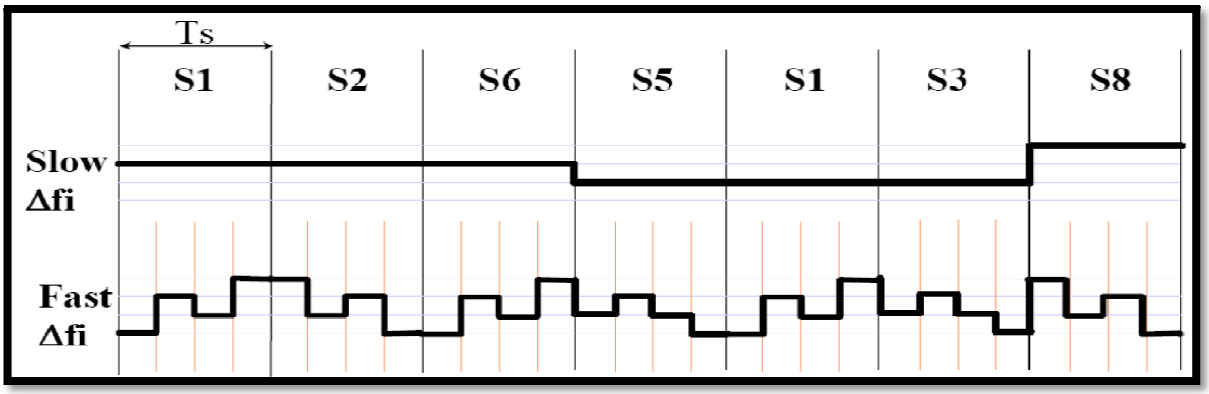


Figure II. 3: Spectre FH-SS.

II.2.2.2 Etalement par séquence directe

Pour notre application, nous retiendrons la technique DS-SS pour diverses raisons.
D'abord, n'étant pas dans le cas de communications mobiles, les problèmes near /far effets peuvent être résolus par la disposition judicieuse des émetteurs/récepteurs.

Cette technique permet de coder le signal émis par un autre signal binaire (appelé code de pseudo-bruit) ayant un débit plus élevé. Ce signal est alors perçu comme un bruit large bande et présente une densité spectrale représentée sur la figure ci-dessous :

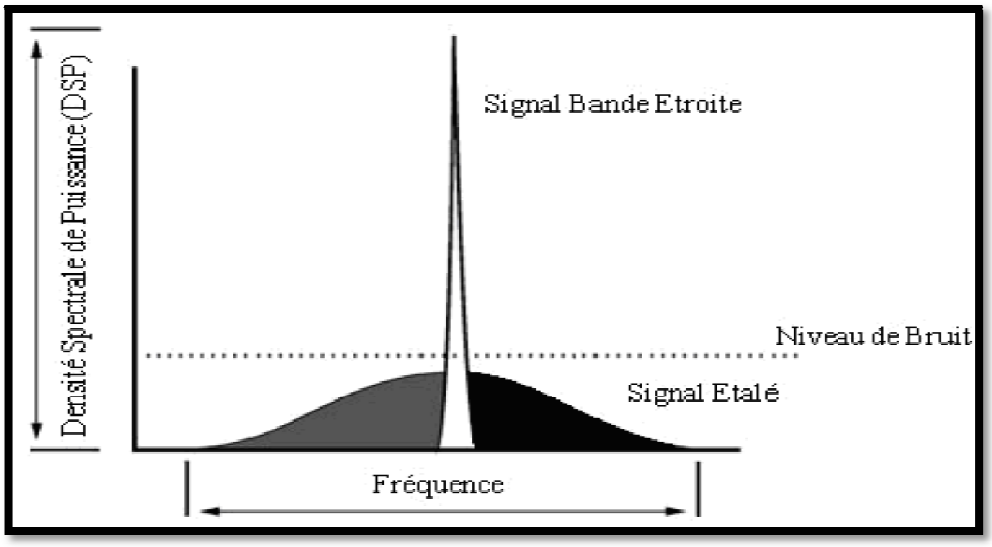


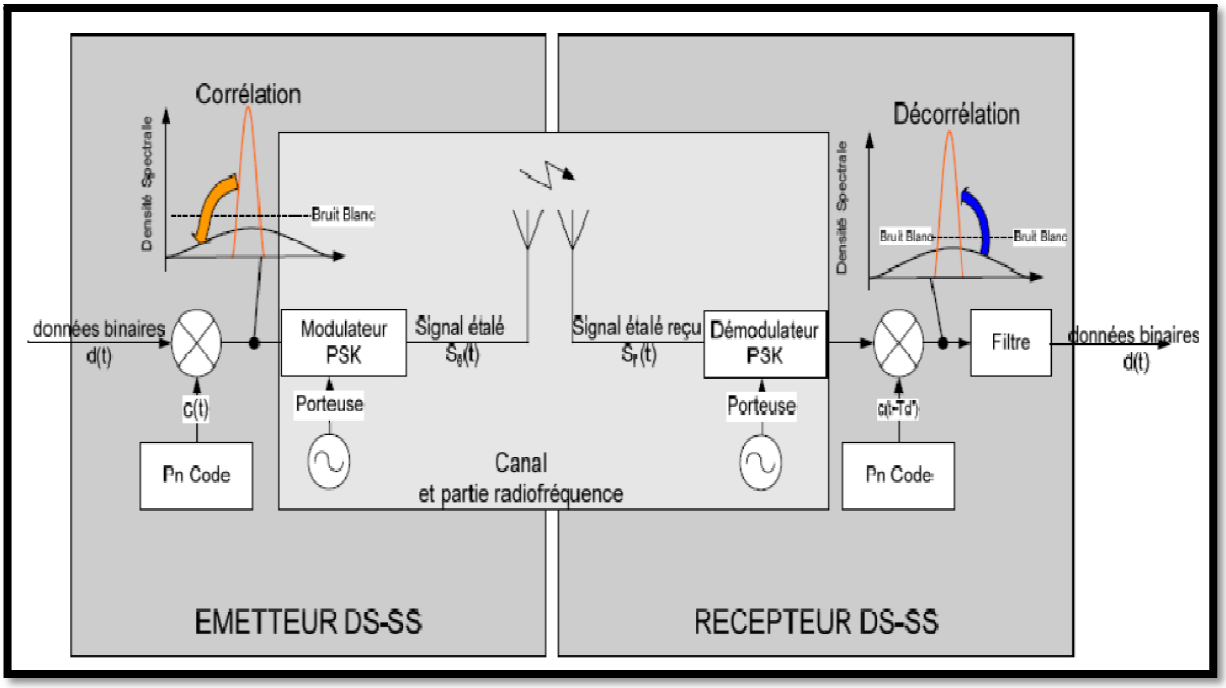
Figure II. 4: Spectre du signal étalé en DS-SS.

Les avantages du DS-SS sont les suivants :

- Un meilleur temps d'accroche comparativement au FH-SS.
- Un gain en traitement plus facile à obtenir car il ne dépend que de la longueur de la fréquence.
- Une synchronisation simple puisque le récepteur se synchronise par rapport à la trame reçu.

- **Principe**

L'étalement de spectre par séquence directe (DS-SS) est une modulation de la trame de symbole à transmettre (d(t)) par une séquence d'étalement pseudo-aléatoire c(t) (Code d'étalement ou *Pseudo-Noise Code*). Le PN-Code va ainsi diviser le code à transmettre en sous intervalles dénommés « Chip » de période bien plus petite que celui du bit à transmettre (la période du bit à transmettre étant le temps symbole). La mise en œuvre de l'étalement de spectre par séquence direct est illustrée avec la figure suivante **[13].**



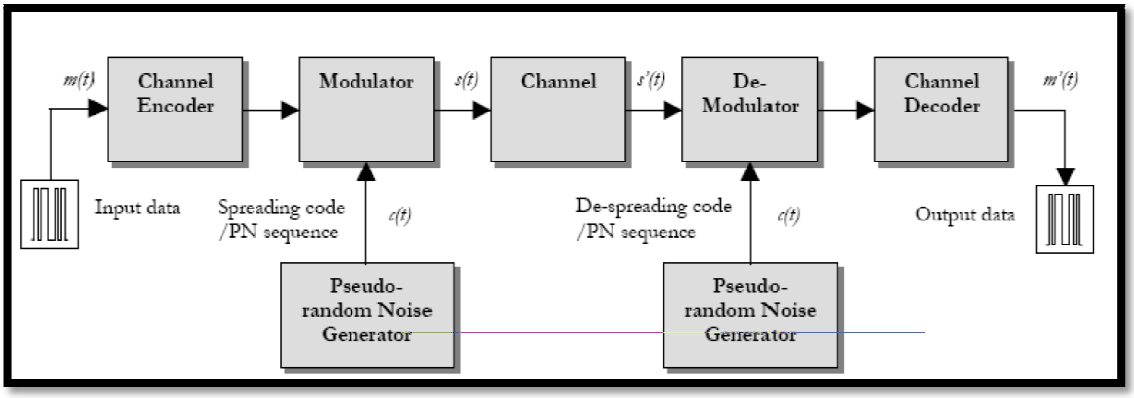


Figure II. 5: Représentation schématique des principales fonctions.

Les trois principales fonctions à mettre en œuvre pour cette technique DS-SS sont la génération des codes d'étalements (PN-Code), la corrélation à l'émission qui permet d'étaler la donnée à transmettre et la décorrélation à la réception qui permet de récupérer la donnée transmise en remontant le signal au dessus du bruit.

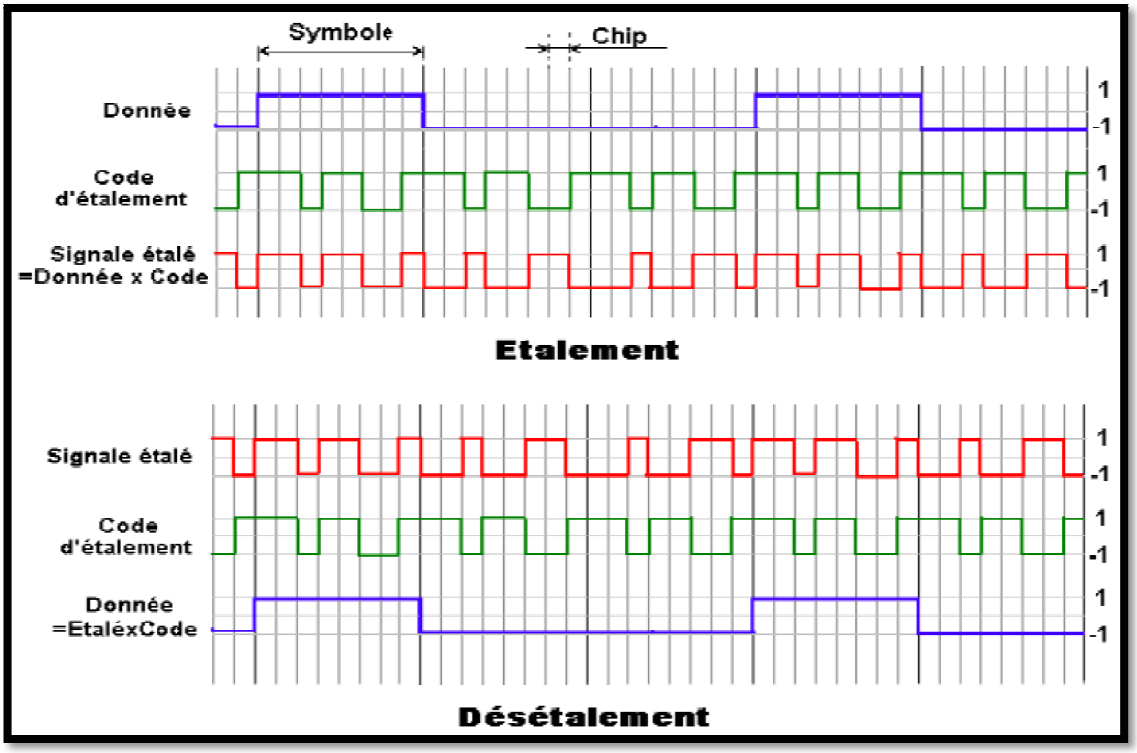


Figure II. 6: Etalement et désétalement du signal.

Dans un système DS-CDMA, à l'émission, on utilise l'étalement qui consiste à multiplier le signal information de fréquence *f* par une séquence de code de longueur N ; à la sortie on obtient un signal CDMA de fréquence $f \times N$; la largeur de bande du signal CDMA est nettement supérieure à celle du signal information, cette redondance confère au signal CDMA des propriétés proches à celles d'un bruit, présentant de nombreux avantages.

A la réception, l'opération inverse est effectuée pour restituer le signal information ; c'est-à dire, on multiplie le signal CDMA reçu par le même code utilisé pour l'étalement du signal, d'où on parle du désétalement.

II.3 Modélisation du système DS-CDMA

II.3.1 Transmission

La figure (II.7) illustre la structure de l'émetteur pour une transmission à spectre étalé par séquence directe.

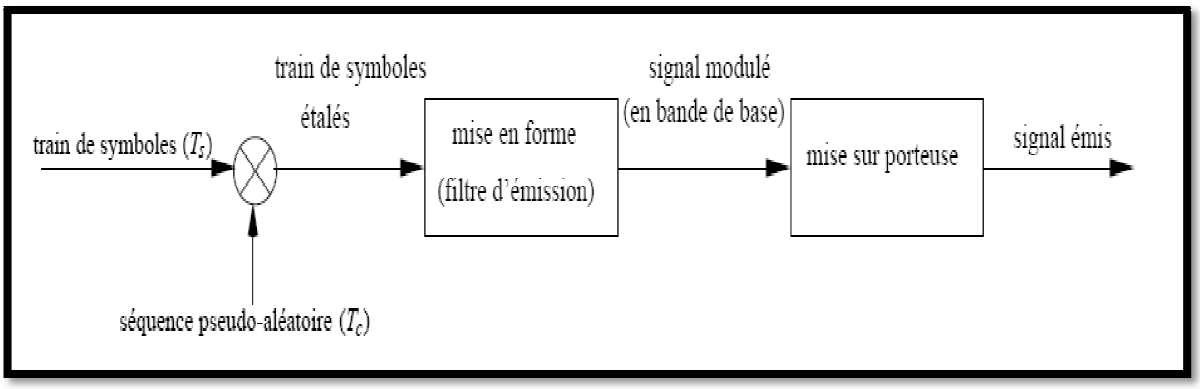


Figure II. 7: Structure de l'émetteur pour une transmission numérique à spectre étalé.

Dans notre système DS/CDMA nous utilisons la modulation en phase (BPSK) avec des séquences de codes pseudo-bruit bipolaires prenant des valeurs de l'ensemble {±1} pour l'étalement spectral. Chaque usager est indépendant l'un de l'autre. Les données binaires envoyées par le k-ième utilisateur, soit :

$$b_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_{k,i} PT(iT), \quad ou \quad b_{k,i} \in \{+1, -1\} \qquad (II.2)$$

$$P_T(t) = 1, \ pour \ \ t \in [0, T] \ et \ P_T(t) = 0, sinon$$

A chaque k-ième utilisateur est attribuée une séquence d'étalement *ak(t)* périodique d'amplitude unité, constituée de créneaux positifs ou négatifs, *Tc* appelée période chip, *PTc*, *PT* sont des impulsions rectangulaires de hauteur 1 et de durées *Tc* et *T*, respectivement.

Soit $\left(a_j^{(k)}\right)$ une telle séquence binaire, à valeurs dans {+1, -1} :

$$a_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j^{(k)} PT_c(t - jT_c) \qquad (II.3)$$

Nous la supposons ici de période $N = \frac{T}{T_c}$, et telle qu'il n'y ait qu'une seule séquence d'étalement émise $(a_0^{(k)}, a_1^{(k)} \dots \dots a_{N-1}^{(k)})$par période symbole T.

L'information $bk\ (t)$ est d'abord modulée en phase par la porteuse :

$$c_k(t) = \sqrt{2P}a_k(t)\cos(\omega_c t + \varphi_k) \qquad (II.4)$$

Le signal transmis par le k-ieme utilisateur devient :

$$S_k(t) = \sqrt{2P}a_k(t)b_k(t)\cos(\omega_c t + \varphi_k) \qquad (II.5)$$

où *P=Eb /T* est la puissance moyenne, *bk (t)* est une impulsion rectangulaire de durée *T* qui prend des valeurs de l'ensemble {±1}, *ak (t)* est aussi une impulsion rectangulaire de durée *Tc* qui représente la séquence de codes qui étale le spectre des données et qui prend des valeurs de l'ensemble {±1}. Le terme *wc* est la porteuse et *Φk* est le déphasage initial du signal. La relation entre la durée de l'impulsion des données et des "chips" pour l'étalement spectral est *T=N.Tc* où *N* est la période (longueur) de la séquence [14].

II.3.1.1 Présentation des différents signaux de l'émission sous MATLAB

Dans cette partie nous allons étudier les performances du système à accès multiples par répartition de code DS-CDMA à l'aide du logiciel de simulation MATLAB.

Nous procéderons à l'étude par la présentation des signaux de l'émission à la réception en passons par un canal gaussien (AWGN).

Nous générons deux signaux d'entrée (utilisateur1 et utilisateur2), dans la partie émetteur les deux signaux subirons une suite d'opérations que nous pouvons voir dans les figures à suivre :
Le train d'impulsions l'utilisateur1est le suivant :
Utilisateur1= {1 0 0 1 1 0}

Rapport-Gratuit.com

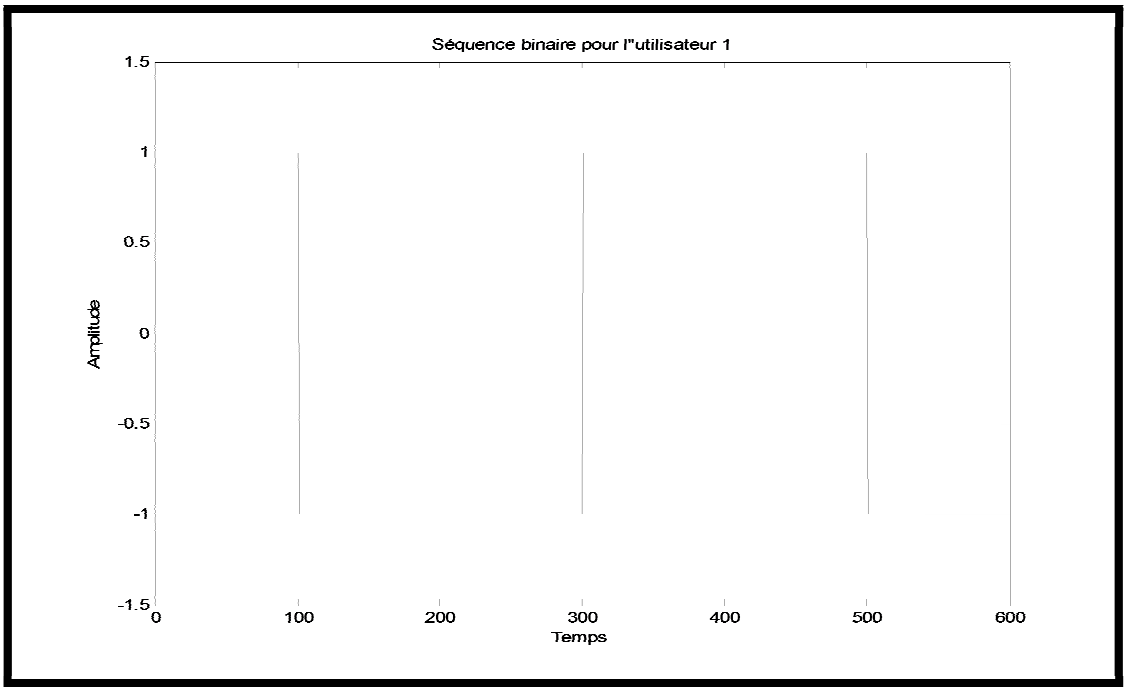


Figure II. 8: Train d'impulsions information de l'utilisateur1.

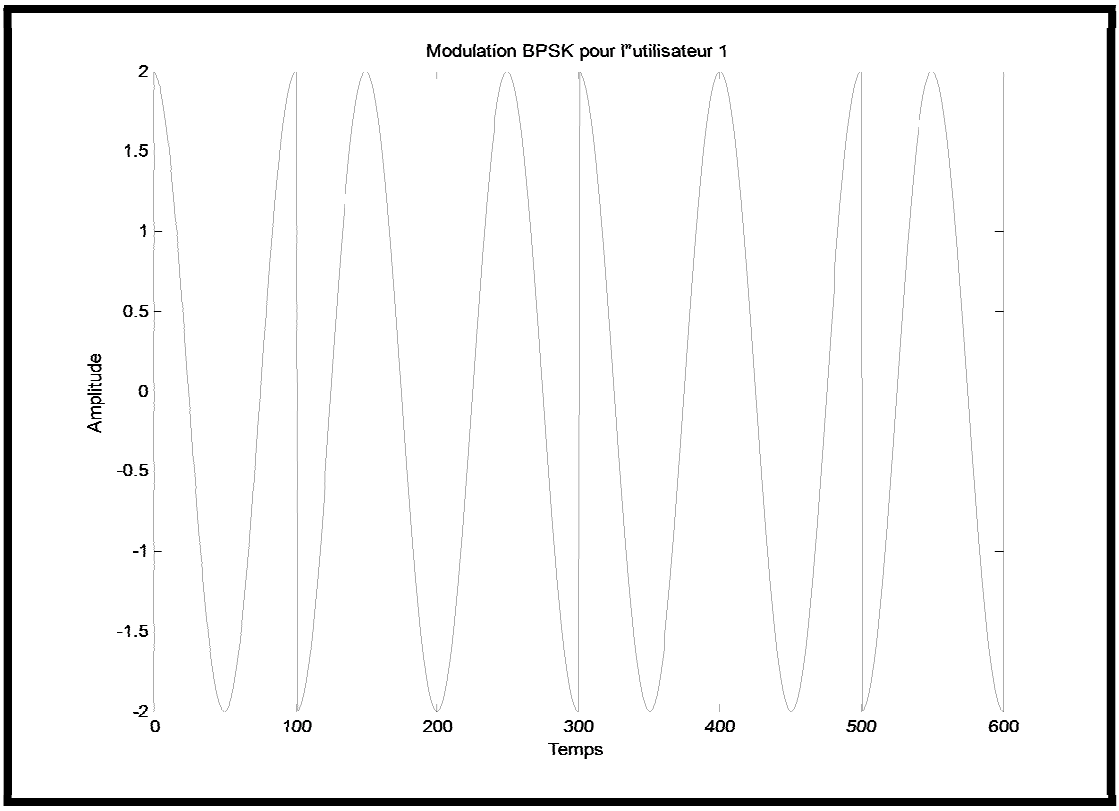


Figure II. 9: Modulation BPSK du signal.

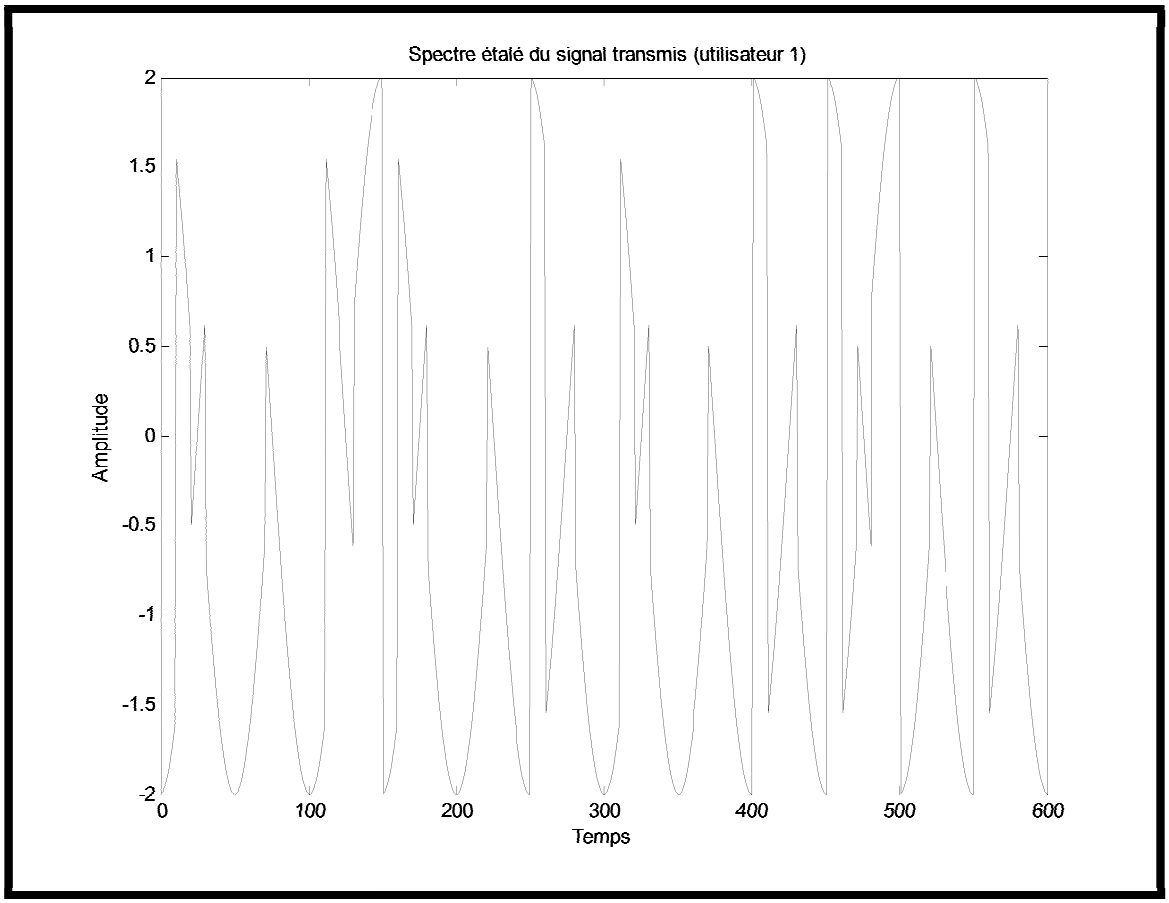


Figure II. 10: Spectre du signal envoyé (utilisateur1).

La séquence de bits à envoyer pour l'utilisateur2 est comme suite :

Utilisateur2= {1 1 0 1 0 1}.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

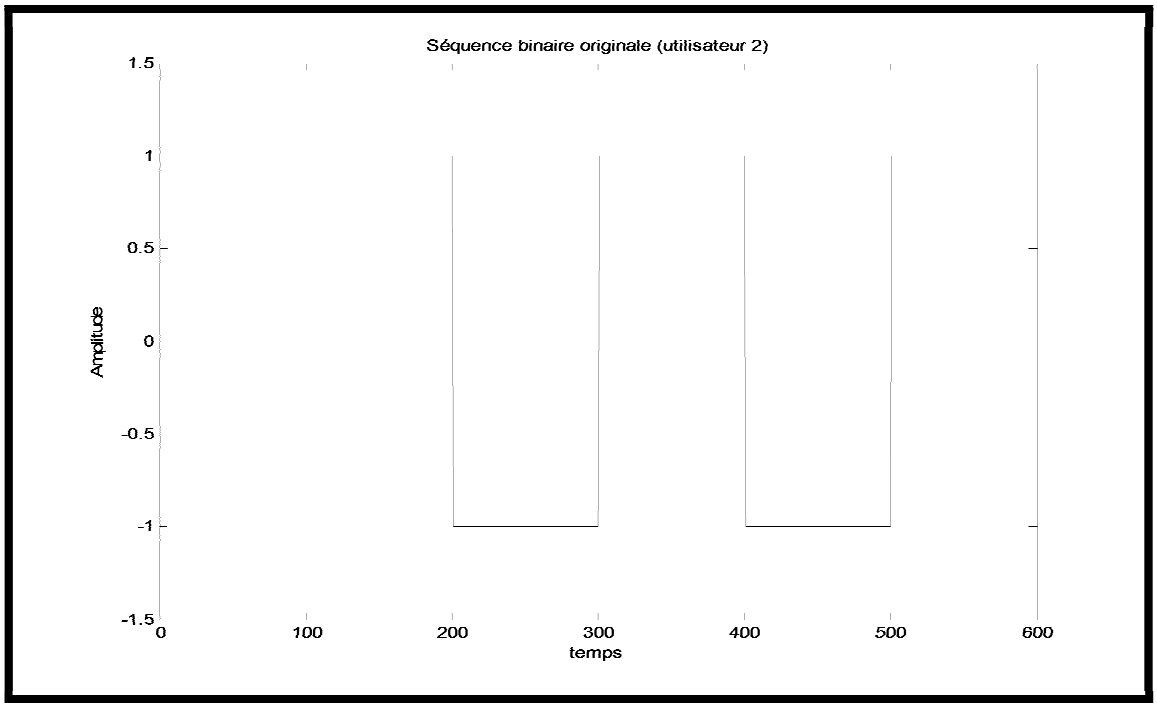


Figure II. 11: Train d'impulsions information de l'utilisateur2.

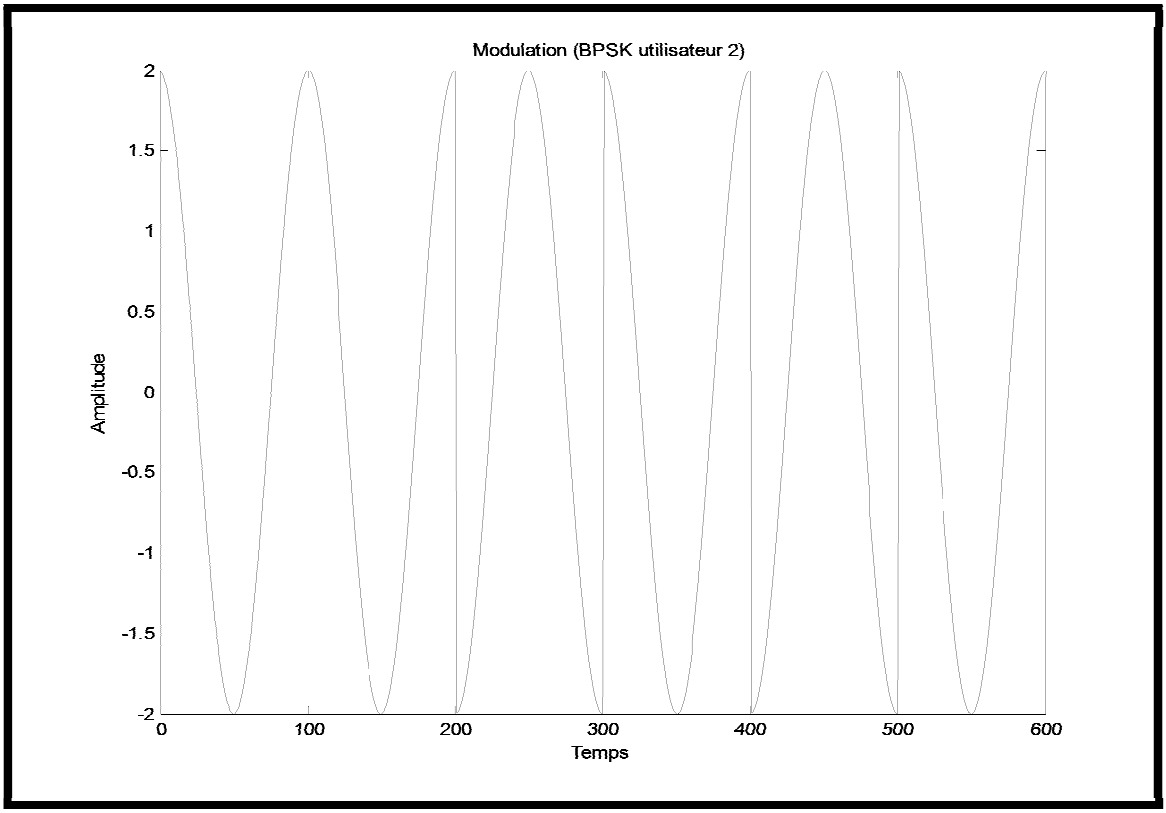


Figure II. 12: Modulation BPSK du signal (utilisateur2).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

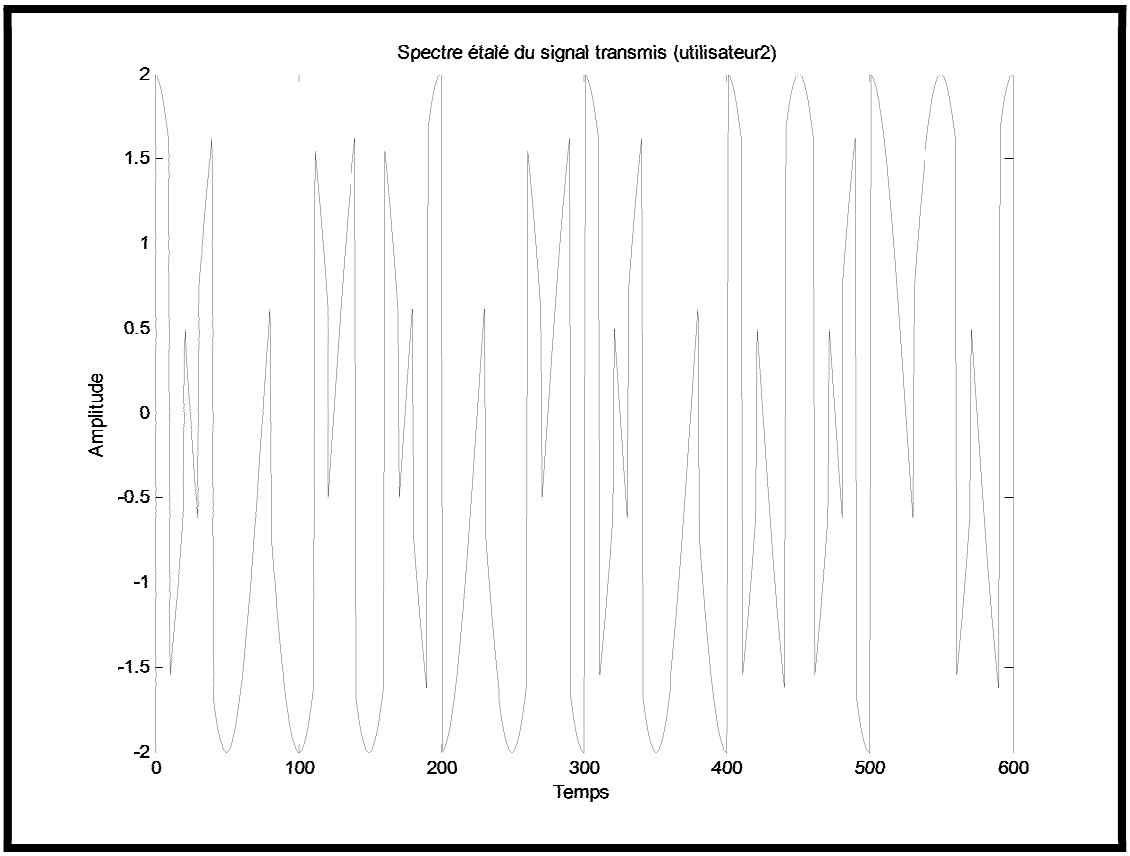


Figure II. 13: Spectre du signal envoyé (utilisateur2).

II.3.2 Réception

La figure (II.14) présente la structure du récepteur :

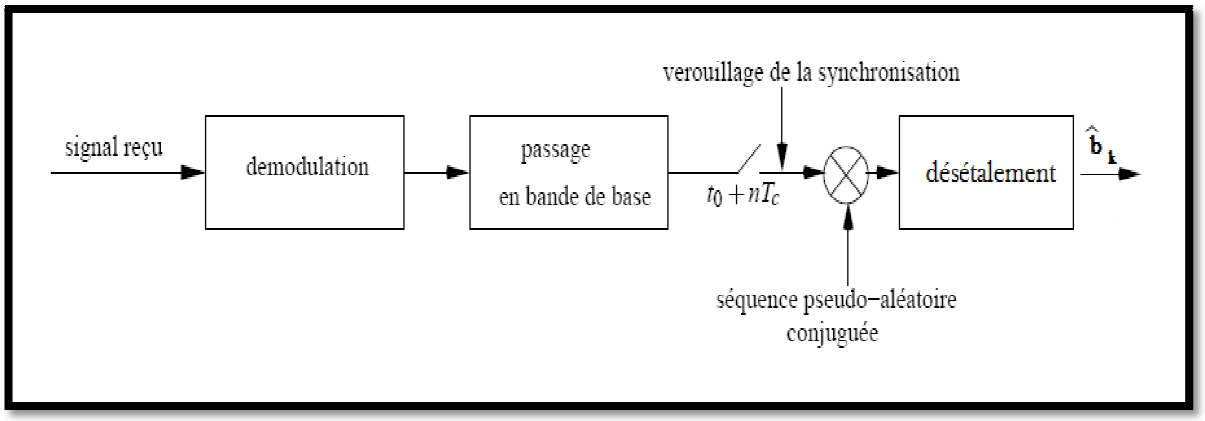


Figure II. 14: Structure du récepteur.

Le signal total reçu s'exprime alors comme la somme de chacun des signaux précédents convolués par le canal et du bruit blanc additif gaussien.

$$r(t) = w(t) + \sum_{k=1}^{k} \sqrt{2P}\, b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) \cos(w_c t + \varphi_k) \qquad (II.6)$$

Où *w(t)* est un AWGN de moyenne nulle avec une densité spectrale de puissance *N0 /2*, *K* est le nombre d'usagers actifs, et *τk* est le délai relatif entre le signal reçu et le début de la séquence de dé-étalement au récepteur. Les *τk* délais et les déphasages initiaux φ_k sont modélisés comme des variables aléatoires indépendantes uniformément distribuées sur [0,T) et [0,2π) respectivement.

Si les transmissions étaient complètement synchrones entre elles, alors les délais τ_k seraient nuls, ce qui impliquerait dans un premier temps une référence temporelle commune pour les K émetteurs et ensuite des compensations pendant la transmission. Ceci n'est guère envisageable en pratique et les communications sont généralement asynchrones à la réception **[14]**.

II.3.3 Récepteur

Dans la détection multiutilisateur le premier récepteur utilisé c'est un filtre adapté. La sortie du récepteur est :

$$Z_l = \int_0^T r(t) a_l(t) \cos(\omega_c t)\, dt \qquad (II.7)$$

Où $a_l(t)$ est la séquence de code d'adresse du récepteur.

$$Z_l = \int_0^T \left| w(t) + \sum_{k=1}^{k} \sqrt{2P}\, b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) \cos(\omega_c t + \theta_k) \right| a_l(t) \cos(\omega_c)\, dt \qquad (II.8)$$

$$Z_l = \int_0^T w(t) a_l(t) \cos(\omega_c t)\, dt + \int_0^t \sum_{k=1}^{k} \sqrt{2P}\, b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) \cos(\omega_c t + \theta kalt \cos \omega c dt \qquad (II.9)$$

Nous pouvons diviser l'expression de la sortie du récepteur en trois parties, soit le bruit, le signal et l'interférence par accès multiple (MAI). Si nous supposons que le signal désiré correspond à l'usager $k = l = 1$ et que le récepteur est parfaitement synchronisé avec le signal désiré (i.e. $\theta_1 = 0 = \tau_1$), alors nous avons pour le bruit, le signal et l'interférence respectivement

$$W_l = \int_0^T w(t) a_l(t) \cos(\omega_c t)\, dt \qquad (II.10)$$

$$S_1 = \int_0^T \sqrt{2P}\, b_1^{(o)}(t) cos' \omega_c t) dt \qquad (II.11)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{P}{2}} \int_0^T b_1^{(0)}(t)(a_l(t))^2 dt = \sqrt{\frac{P}{2} b_1^{(0)} T} \qquad (II.12)$$

Ou $b_1^{(0)}$est le bit reçu, la MAI est :

$$I_1 = \int_0^T \left(\sum_{k=1}^{k} \sqrt{2P}\, b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) \cos(\omega_c t + \theta_k)\, a_l(t) \cos(\omega_c t) \right) dt \qquad (II.13)$$

II.3.3.1 Présentation des différents signaux à la réception

Dans le cas de notre exemple Nous aurons à la réception un signal composite qui est la somme des signaux des deux utilisateurs 1 et 2.

En passant dans le canal, le signal composite est exposé à un bruit AWGN.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

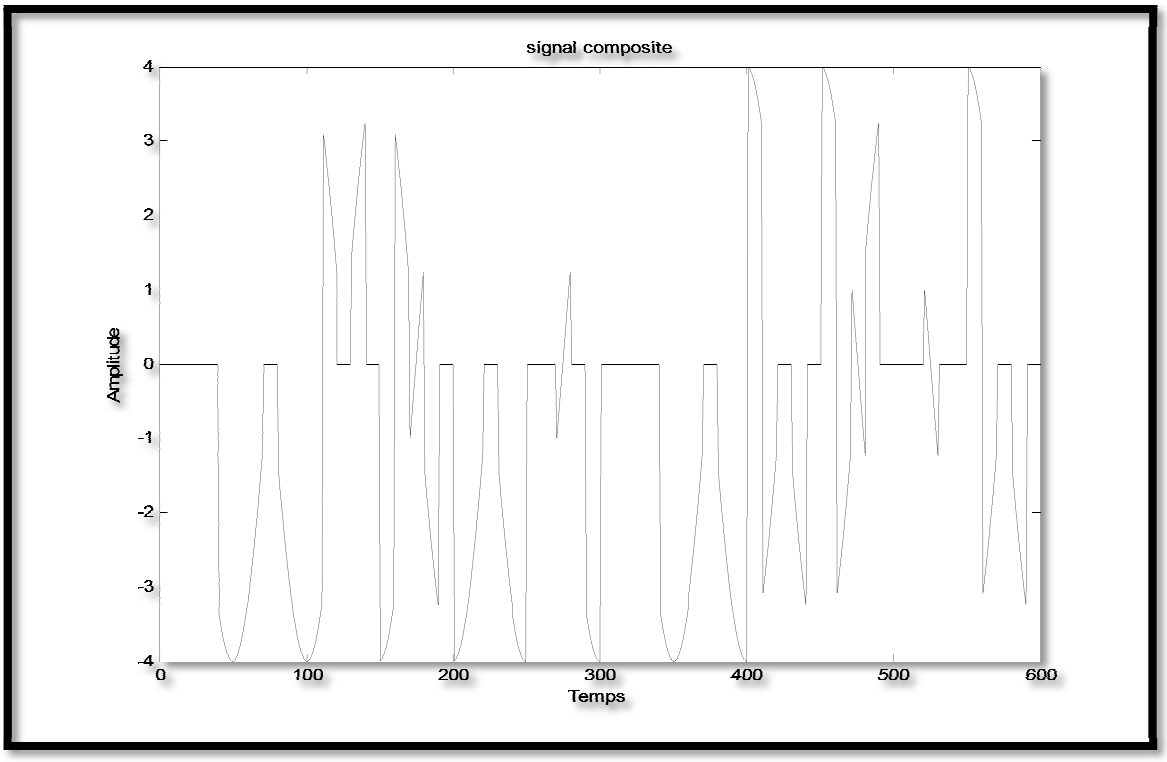


Figure II. 15: signal composite.

Nous obtenons le signal initial de chaque utilisateur en multipliant le signal composite par les séquences d'étalement respectives, et en démodulant les signaux issus de cette opération.

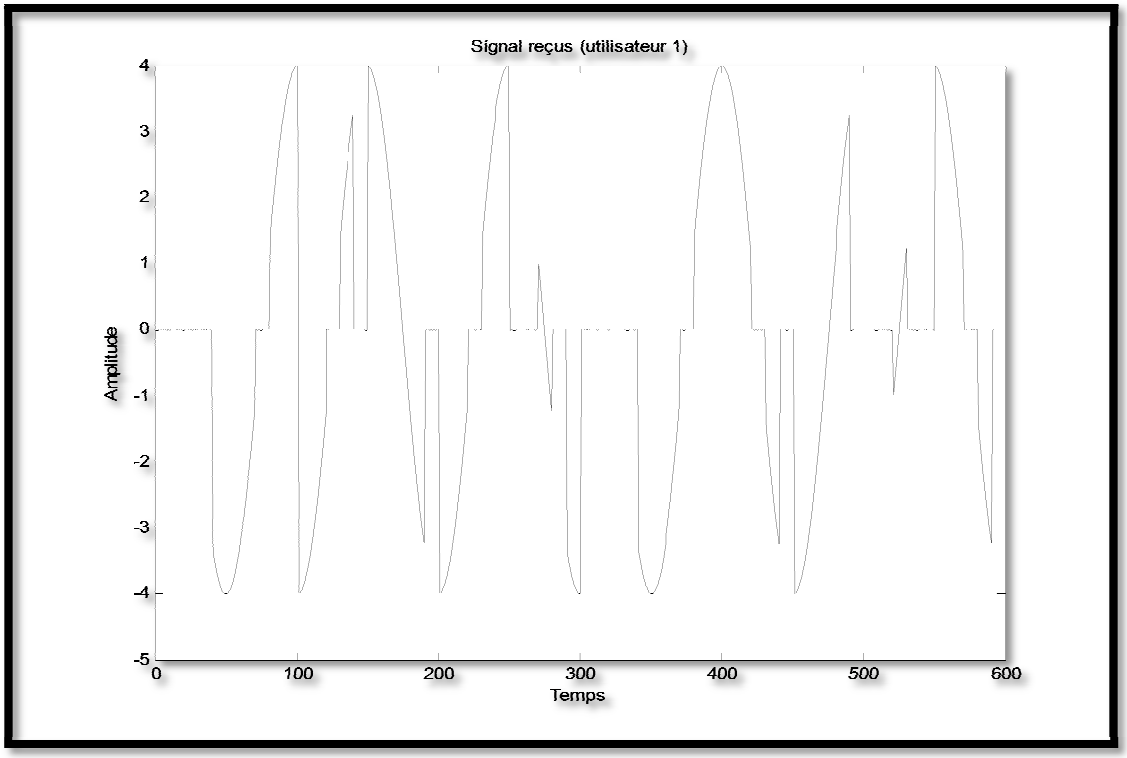


Figure II. 16: Signal d'utilisateur1 à la réception avant démodulation.

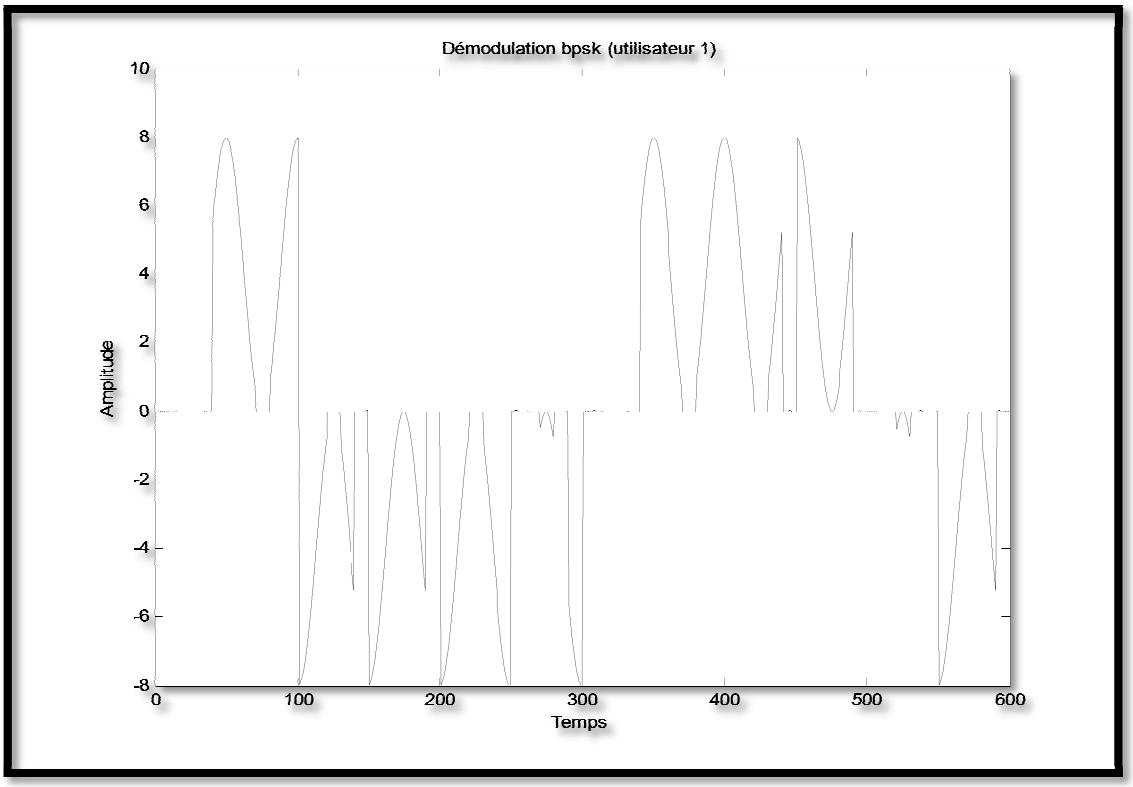


Figure II. 17: Signal démodulé (utilisateur1).

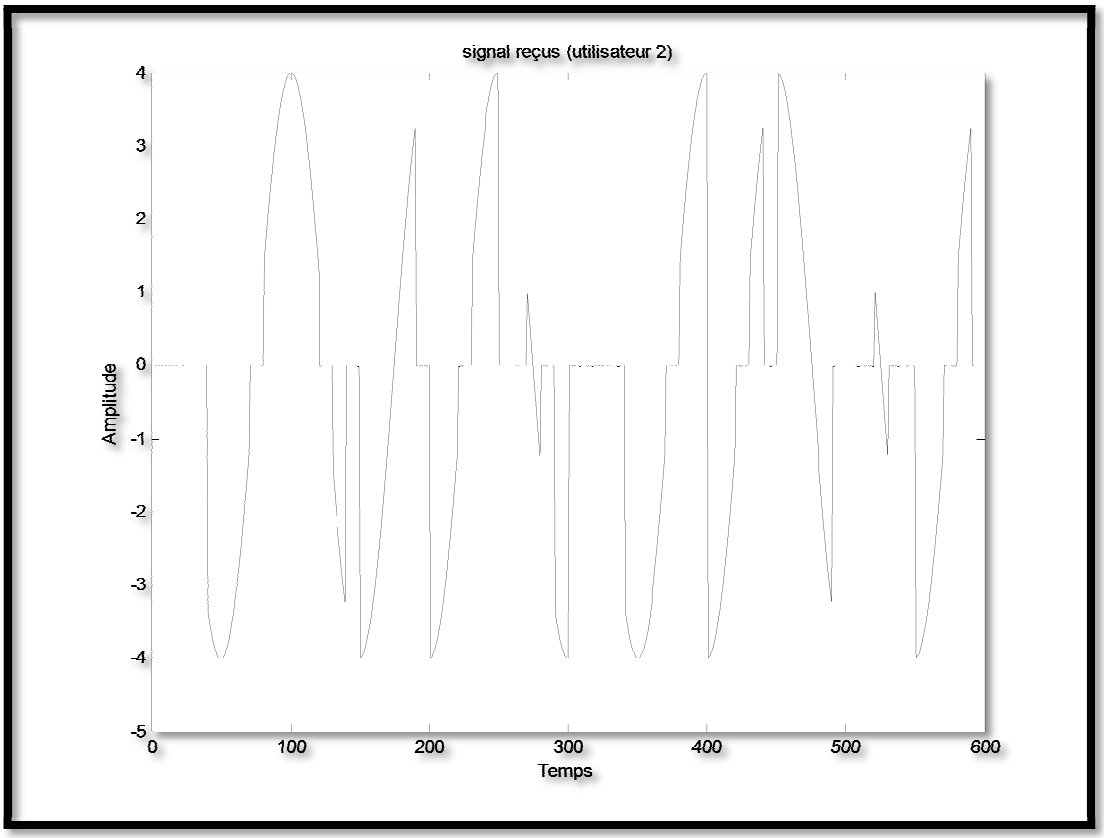


Figure II. 18: Signal d'utilisateur2 à la réception avant démodulation.

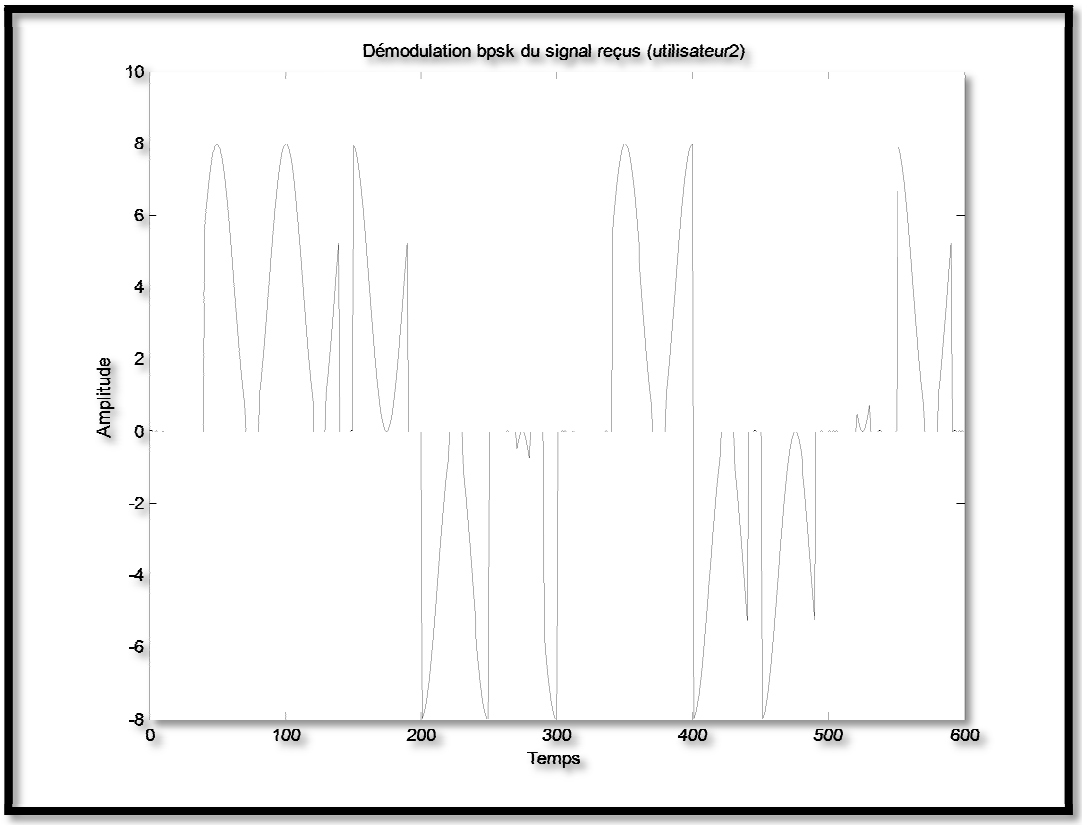


Figure II. 19: Signal démodulé (utilisateur2).

II.3.4 Interférences par accès multiple MAI

L'équation précédente est celle qui représente l'interférence causée par les autres usagers actifs et elle est ce que nous devons analyser avec plus de détail. Pour les délais relatifs des usagers interférents$\varphi_k = \theta_k - \omega_c \tau_k$, nous substituons dans ***I1***.

$$I_1 = \int_0^T \left(\sum_{k=2}^{k} \sqrt{\frac{P}{2}} b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) a_1(t) \cos(\varphi_k) \right) dt \qquad (II.14)$$

$$I_1 = \sum_{k=2}^{k} \sqrt{\frac{P}{2}} \int_0^T b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) a_1(t) \cos(\varphi_k) dt \qquad (II.15)$$

Étant donné l'indépendance de $\cos(\varphi_k)$ par rapport aux données et aux séquences, et que$E[(cos\theta_k)] = 0$,

$$E[(I_l)^2] = \sum_{k=2}^{k} \frac{P}{2} E\left[\left(\int_0^T b_k(t-\tau_k)a_k(t-\tau_k)a_l(t)dt\right)^2\right] E[cos(\varphi_k)^2] \qquad (II.18)$$

$$E[(I_l)^2] = \sum_{k=2}^{k} \frac{P}{4} E\left[\left(\int_0^T b_k(t-\tau_k)a_k(t-\tau_k)a_l(t)dt\right)^2\right] \qquad (II.19)$$

Pour des séquences de même période, soit

$$E[(I_l)^2] = \frac{PT^2}{12N^3} \sum_{k=2}^{k} r_{k,l} \qquad (II.20)$$

où *N* est la période des séquences et *rl,k* est défini comme étant le "paramètre d'interférence moyenne". Les résultats numériques obtenus **[15]** dans ce cas sont $r_{k,l} = 2N^2$. Ce paramètre ($r_{k,l}$) permet une estimation de la contribution de l'interférence (MAI) dans le rapport Signal sur Interférence + Bruit (SNIR) du système CDMA. C'est donc la base de référence que nous allons utiliser pour évaluer la performance (inter-corrélation) des séquences de codes pseudo-bruits de longueurs différentes (taux multiples).

II.4 Codes d'étalement

Les communications qui nous intéressent sont des communications radio mobiles. Le canal affecté de trajets multiples est multiutilisateur. Suivant les caractéristiques de la communication un choix sur les codes doit être fait. Ce choix résulte d'un compromis entre la suppression des interférences d'accès multiple, obtenue avec des codes orthogonaux, et le traitement de la diversité, facilité par l'utilisation de codes ayant de bonnes propriétés d'autocorrélation.

En communication synchrone, les messages des utilisateurs sont émis dans le canal sans retard relatif. Lorsque le récepteur est synchronisé sur le message reçu, la séparation des utilisateurs peut être faite par l'utilisation de codes orthogonaux les codes de Wash-Hadmard sont dans ce cas les codes les plus utilisés.

Rapport-Gratuit.com

Lorsque la communication et asynchrone, cas de communication le plus délicat, les messages sont émis avec des retards relatifs qui ne sont a priori pas connus. Dans se cas, des codes orthogonaux ne peuvent plus être utilisés. Parmi les codes les plus étudiés pour les communications asynchrones, il existe les codes de Gold, les codes de Kasami, spécifiés pour la liaison montante des systèmes W-CDMA *(Wideband Code Division Multiple Access)* de l'UMTS.

- **Caractéristiques**

Pour des séquences périodiques tel que $x(t) = x(t+T)$ et $y(t) = y(t+T)$ un T quelconque et pour tout t de chaque séquences de la famille, nous avons :

$$\varepsilon = \frac{1}{T}\int_0^T [y(t) \pm x(t)]^2 dt \qquad (II.21)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{T}\int_0^T [y^2(t) + x^2(t)]dt \pm \frac{2}{T}\int_0^T y(t)x(t)dt \qquad (II.22)$$

Donc, pour maximiser la "distinguabilité" entre les séquences, il faut que l'erreur quadratique moyenne ε soit maximisée. Cela veut dire qu'il faut minimiser

$$R = \int_0^T x(t)y(t)dt \qquad (II.23)$$

Pour respecter les deux caractéristiques mentionnées précédemment, il est nécessaire que ε soit grand pour $\tau \in [0, \ T]$, donc que

$$R_{x,y}(\tau) = \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \qquad (II.24)$$

Où *Rx ,y (*τ) , qui est appelé la fonction d'inter-corrélation, soit petit.

Les séquences que nous avons choisies pour notre système de communication sont les séquences construites à partir de registre à décalage binaire. Ces familles de séquences ont été choisies pour leurs simplicités de génération et pour leurs excellentes propriétés d'inter-corrélation, d'intracorrélation périodiques, apériodiques et partielles. Ces séquences sont considérées comme des séquences pseudo-bruits, ce qui les rend encore plus intéressantes pour un système de communication CDMA. Les premières séquences que nous allons considérer sont les séquences binaires de longueur maximale générées par des registres à décalage avec boucle de rétro-action linéaire (traduction de l'anglais "binary maximal-length linear feedback shift-register sequences"), que nous appelons "m-séquences".

II.4.1 M-séquences

Les m-séquences possèdent une période de

$$N = 2n\text{-}1$$

Où n est le nombre d'échelons (aussi appelé "degré") dans le registre à décalage binaire avec boucle de rétro-action linéaire. L'avantage principal des m-séquences est leur fonction d'intracorrélation périodique

$$\theta_{x,x} = \sum_{i=0}^{N-1} x_i x_{i+q} \qquad (II.25)$$

Où $0 \leq q < N$ est le décalage entre les deux séquences, qui est la meilleure possible pour une séquence binaire de période N. C'est-à-dire $\theta_{x,x}(0) = N$ et $\theta_{x,x}(q) = -1$ pour $1 \leq q < N$, ce qui correspond aux valeurs minimales. L'autre fonction de corrélation qui est intéressante pour nos applications est la fonction de corrélation apériodique. La seule différence entre la fonction de corrélation périodique et apériodique est que la deuxième est modulée par les bits de données qui doivent être étalées.

Les ensembles de m-séquences qui sont utiles pour un système de communication sont les "Maximal Connected Sets" **[16]** qui ont comme caractéristique d'avoir une fonction d'intercorrélation périodique prenant trois valeurs possibles, soit; {-1, *-t(n)* et *t(n)* - 2} où

$$t(n) = 1 + 2^{\lfloor (n+2)/2 \rfloor} \qquad (II.26)$$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Où $\lfloor\alpha\rfloor$ dénote la partie entière de α. Ces ensembles sont construits à partir de polynômes binaires primitifs et ce que nous appelons un "Maximal Connected Sets" est tout simplement un ensemble de ces séquences de grandeur maximale (en nombre de séquences) possédant les caractéristiques d'inter-corrélation périodique "préférées" ci-haut. Le désavantage principal des m-séquences est le nombre limité de séquences disponibles pour former un "Maximal Connected Sets". Par exemple, pour N=127 (n=7), l'ensemble le plus grand possède un maximum de 6 séquences avec une amplitude maximale de l'inter-corrélation périodique

$$\theta_c = \max\{|\theta_{x,y}(q)|; 0 \le q \le N-1\} = |t(n)| = 17 \quad (/127chips)$$

Cependant, à partir de ces m-séquences, nous pouvons construire d'autres ensembles de séquences qui possèdent des caractéristiques presqu'aussi bonnes que les "Maximal connected Sets", mais où la quantité de séquences disponibles est beaucoup plus élevée. Ces séquences sont les séquences de Gold et de Kasami.

II.4.2 Séquences de GOLD et de KASAMI

II.4.2.1 Séquence de GOLD

Les séquences de Gold sont construites par la combinaison de deux m-séquences de période N= 2n-1 appartenant à un "Maximal Connected Set". L'ensemble de séquences de période N = 2n-1 construites par cette combinaison contient N + 2 séquences avec un

$\theta_c = \theta_a = |t(n)|$, ou $\theta_a = max\{|\theta_{x,x}(l)|; 1 \le l \le N-1\}$ est l'amplitude de l'intra-corrélation périodique maximale.

Supposons deux polynômes binaires primitifs $h(x)$ et $\bar{h}(x)$ de degré n générant les m-séquences u et v, respectivement, de période N = 2n-1. La famille de séquences contenues dans l'ensemble

$$G(u,v) = \{u, v, u \oplus v, u \oplus Tv, u \oplus T^2v, \dots, u \oplus T^{N-1}v\} \qquad (II.27)$$

Où Tq est un opérateur de décalages cycliques de q vers la gauche et $\oplus$ est l'opération logique du "ou exclusif", est une famille de séquences de Gold. En d'autres mots, une séquence de l'ensemble de Gold est formée en exécutant l'opération "ou exclusif" entre la sortie des deux registres à décalage binaire qui construisent les m-séquences. L'ensemble des séquences est formé en répétant cette opération pour les *N* décalages ("phases") possibles d'une des deux m-séquences.

Les séquences de Gold sont avantageuses dans le cas ou le degré *n* des séquences désirées est impair. Pour des séquences avec une période qui nécessite un *n* pair, il existe des familles de séquences qui offrent une meilleure performance d'inter-corrélation que les séquences de Gold, ses les séquences de Kasami.

II.4.2.2 Séquences de KASAMI

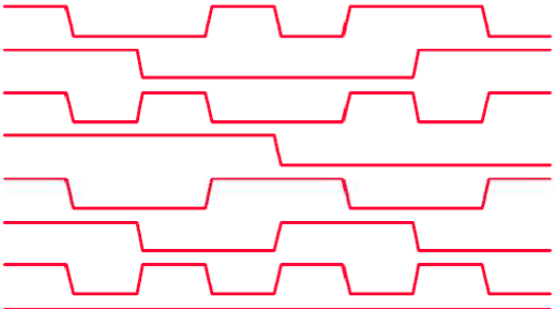
Les séquences de Kasami sont ceux du grand ensemble ("large set") car cet ensemble contient $2^{\frac{n}{2}}(2^n + 1) - 1$ séquences possédant un $\theta_{max} = max\{\theta_c, \theta_a\} = t(n)$.

Les séquences du grand ensemble de Kasami sont construites comme suit. Supposons *h(x)*, un polynôme binaire primitif de degré *n* qui génère la m-séquence *u*; *w*, la m-séquence de période $N = 2^{n/2} - 1$ générée par le polynôme binaire primitif *h'(x) et*, un autre polynôme binaire primitif de degré *n* qui génère la m-séquence *v* de période$N = 2^n - 1$. Alors, l'ensemble des séquences de période *N* générée par *h(x)h'(x)* $\hat{h}(x)$ est appelé "le grand ensemble de Kasami" *KL(u)*. Dans cette famille, il existe $2^{\frac{n}{2}}(2^n + 1) - 1$ séquences prenant des valeurs d'intercorrélation (θ_a, θ_c) de l'ensemble$\{-1, -t(n) - 2, -s(n) - 2\}$. Nous avons formé notre ensemble de séquences *KL(u)* en construisant le registre à décalages binaires correspondant au polynôme binaire *h(x)h'(x)* $\hat{h}(x)$ et en trouvant *N* valeurs initiales du registre qui nous donnent un θ_a avec des valeurs de l'ensemble ci-haut. Seulement l'intra-corrélation a été testée dans la sélection des séquences pour réduire le temps d'ordinateur.

II.4.3 Séquences de WALSH- HADMARD

- **Fonctions de Walsh**: Signaux binaires orthogonaux.

$$H_8 = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{matrix}$$



Avantage: si les temps de propagation sont tous identiques l'orthogonalité est parfaitement respectée: ce type de codes pourra être utilisé dans un contexte radio mobile pour le sens de transmission Station de Base vers Terminaux.

Inconvénient: si les temps de propagation sont différents l'orthogonalité n'est plus respectée. Ces codes ne sont donc pas utilisables pour le sens Terminaux vers Station de Base. De même, les trajets multiples pourront détruire l'orthogonalité des fonctions de Walsh.

II.4.4 Intercorrélation

Dans leur construction, les familles de séquences ont été évaluées selon des critères de performance en fonction de leur intra-corrélation, pour simplifier leurs générations.

Elles ont été testées par la suite pour leurs inter-corrélations “intra-familiale”. Tous les critères d’évaluations classiques sont en fonction d’un système de communication (CDMA) qui n’utilisait que des séquences de même période et d’une même famille. Il en est de même pour les critères d’optimisation.

II.5 Avantages et inconvénients du CDMA

II.5.1 Avantages

Le CDMA permet aux différents utilisateurs de transmettre leurs données sur n'importe quelle fréquence et sans nécessiter de synchronisation entre eux. En effet, contrairement aux techniques TDMA, FDMA, la capacité de multiplexage du CDMA n'est pas limitée par des paramètres physiques (intervalles de temps disponibles, fréquences ou longueurs d'ondes utilisables, etc.) mais par la capacité à générer un maximum de séquences de codes, celles-ci étant choisies de manières a minimiser les interférences d'accès Multiple (IAM).

L'étalement de spectre est un des avantages mis en avant pour l'utilisation du CDMA dans le domaine des communications radiofréquences. En effet, la puissance d'un signal, après codage, est étalée sur toute la largeur de la bande de fréquence disponible. De ce fait des caractéristiques importantes apparaissent :

- **Résistance aux interférences**

Historiquement, le CDMA est issu de programmes de recherche militaires qui avaient pour but de protéger les transmissions d'information contre le brouillage, c'est à dire une forme d'interférence volontaire. Le CDMA, étant une méthode de multiplexage à étalement de spectre, le brouillage efficace doit se faire sur toute la bande de fréquences utilisées, ce qui n'est pas envisageable car cela consommerait une puissance colossale.

Dans les applications civiles, la résistance à un brouillage intentionnel n'est pas un critère déterminant dans le choix de la technologie de multiplexage. On cherche cependant à rendre le système de communication résistant à des interférences non volontaires : les interférences entre utilisateurs, les interférences liées à des phénomènes de réflexion et la présence d'un bruit additif. Le premier type d'interférences est bien toléré par le CDMA, par construction, puisque les codes utilisés sont faiblement corrélés.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- **Confidentialité (faible probabilité d'interception)**

Pour les applications militaires comme civiles, la confidentialité est un atout important pour un système de communication. Dans le cas du CDMA, le signal émis ressemble beaucoup à du bruit parce que l'on utilise des codes longs pseudo-aléatoires.
Le signal est étalé uniformément sur un large spectre : on ne détecte aucun pic en amplitude pour une fréquence donnée. Ceci permet de masquer la présence ou non d'une communication. Quand bien même on détecterait l'existence d'une communication, il est très difficile de l'intercepter si on n'a pas accès aux codes utilisés. C'est une des raisons qui font que l'armée, ainsi que les opérateurs téléphoniques utilisent cette méthode.

- **Un multiplexage adapté au système cellulaire**

Les réseaux de téléphonie mobile actuels sont tous basés sur le concept de cellules. Une cellule correspond à une zone géographique dans laquelle les utilisateurs transitent tous par le même relais. Il se pose deux problèmes : celui de la réutilisation des fréquences et celui du passage d'un utilisateur d'une cellule à une autre.
Du point de vue de la réutilisation des fréquences, le CDMA déplace le problème puisqu'il s'agit de codes et non plus de fréquences.

La qualité de transmission en CDMA n'est que faiblement affecté par les différences d'amplitude des signaux des différents utilisateurs. Ceci permet dans la pratique d'augmenter la taille des cellules. On réduit alors la fréquence de passage d'une cellule à l'autre (pour des utilisateurs en mouvement) et on réduit d'autant les risques de décrochage **[17]**.

- **Une faible consommation**

Le CDMA nécessite moins de puissance que les technologies concurrentes. Ce gain est présent en conversation ou non. Ceci permet l'augmentation de l'autonomie des téléphones portables ou bien la diminution de la taille des batteries donc des combinés.

II.5.2 Inconvénients

Le CDMA et en particulier le DS-CDMA présente quelques inconvénients :

- L'efficacité spectrale est faible : le débit utile par utilisateur est faible par rapport à la largeur de bande occupée.

- Le DS-CDMA est sensible à l'effet proche-lointain. Les signaux venant des utilisateurs les plus proches de la station de base et donc reçus avec un niveau de puissance plus élevé interfèrent avec les signaux plus faibles des utilisateurs lointains. Un mécanisme de contrôle de puissance doit être mis en œuvre pour ajuster les niveaux de puissance des utilisateurs en fonction de la distance qui les séparent de la station de base.

- Enfin la synchronisation temporelle des codes est difficile à assurer du fait de la courte durée d'un chip du code.

II.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la technique d'accès CDMA pour le réseau de troisième génération, candidat sérieux pour une meilleure utilisation des ressources spectrales. Mais nous attendons beaucoup de la modulation à spectre étalé qui propose une alternative digne d'intérêt aux modes traditionnels de répartition en fréquence ou au cours du temps. L'étalement spectral est déjà largement utilisé pour l'établissement de réseaux locaux sans fils. Cet engouement provient de la facilité avec laquelle il peut transmettre des informations dans les conditions difficiles de propagation. Ensuite nous avons donné une représentation mathématique ainsi qu'une simulation sous MATLAB du système DS-CDMA.

Dans le chapitre suivant nous allons faire une étude de la modulation à porteuses multiples et étudier ses performances par une simulation pour un canal de transmission de type Gaussien.

III.1 Introduction

Les techniques qu'on appelle multi-porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le regain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en ortogonalisant les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits performants de transformée de Fourier rapide.

Le multiplexage en fréquence est bénéfique pour les transmissions dans des canaux sélectifs en fréquence qui comportent des trajets multiples. C'est pourquoi on trouve cette technique dans les normes de diffusion du son numérique dans des mobiles (DAB Digital Audio Broadcasting), de télévision numérique terrestre (DVB-T Digital Video Broadcasting terrestrial), de communications numériques hauts débits (ADSL Asynchronous Digital Subscriber Line) sur la boucle locale téléphonique, ainsi que dans l'étude des normes de communications pour réseaux locaux à l'intérieur des bâtiments (Hiperlan 2 BRAN).
Suivant les applications, cette technique se nomme OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ou MTC (Multi-Tone Channel) **[18]**.

Le principe est de transmettre des données numériques en parallèle modulées sur un grand nombre de porteuses à bas débit.
Dans un système conventionnel de transmission de données en série, les symboles sont transmis séquentiellement : le spectre de chaque donnée est autorisé à occuper toute la bande passante disponible.

III.2 Modulation à porteuses multiples OFDM

Les interfaces radio doivent respecter plusieurs critères. Tout d'abord être adaptées au canal de propagation qui est plus ou moins sensible aux trajets multiples et aux interférences, ensuite offrir une efficacité spectrale en bit/s/Hz la meilleure possible.

Dès que le débit et la bande augmentent, il est alors nécessaire de recourir aux techniques classiques de modulation et de codage pour lutter contre les évanouissements sélectifs car cette fois la bande cohérente est trop faible.

Une solution s'appuie sur les techniques OFDM qui sont aptes à corriger les distorsions du canal sélectif en fréquence **[19]**. L'idée est cette fois de répartir l'information non pas sur une mono porteuse de bande large qui serait altérée par des évanouissements sélectifs mais sur plusieurs sous-porteuses de bande beaucoup plus faibles, et surtout plus faibles que la bande de cohérence du canal de propagation, qui sont alors affectées par un évanouissement plat. Chaque sous-porteuses pourra être affectée d'une atténuation et d'une phase différente qui devront être estimées. Les évanouissements non sélectifs subsistants seront corrigés par les techniques habituelles de codage correcteur et d'entrelacement. Le nombre de sous-porteuses peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines. Il s'agit encore d'une diversité de type fréquentiel. L'analyse montre que le modulateur et le démodulateur peuvent être réalisés à partir de transformateurs de Fourier inverse et direct **[20]**. Pour lutter contre les interférences entre symboles un intervalle de garde est introduit entre les symboles venant d'autres trajets.

Si les premières études sur les multiporteuses datent de la fin des années 1950, le multiplex à division de fréquences orthogonales, plus connu sous le nom anglophone OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a fait son apparition une dizaine d'années plus tard grâce notamment aux travaux de Chang.

Délaissée ensuite lors du développement de la théorie de l'égalisation pour les systèmes monoporteuses (de moindre complexité) **[21]**, l'OFDM dut son retour en grâce vers le milieu des années 1980 au projet de radiodiffusion numérique DAB (Digital Audio Broadcasting). En effet les systèmes monoporteuses, contrairement à l'OFDM, ne remplissaient pas les

Rapport-Gratuit.com

conditions de résistance aux trajets multiples et de débit élevé pour un taux d'erreur binaire faible requis par cette nouvelle application.

Depuis lors, l'OFDM est restée une technique prépondérante, puisqu'elle est utilisée pour de nombreuses applications comme la télévision numérique DVB (Digital Video Broadcasting)

ou la norme ADSL (Assymetric Digital Suscriber Line) permettant des liaisons internet à haut débit. Enfin l'OFDM s'adapte parfaitement aux communications mobiles, et semble incontournable pour les standards de troisième et quatrième générations, où il est notamment question de l'associer au CDMA (Code Division Multiple Access) ou aux systèmes multi-antennes **[20] [21]**.

III.2.1 Principe de l'OFDM

L'OFDM consiste à diviser un flux de symboles à la cadence 1/T en N flux de symboles à la cadence 1/NT. N symboles sont ainsi transmis en parallèle sur une durée NT. La bande passante est donc divisée en N sous bandes dont la transmittance est presque constante, ce qui explique la robustesse de cette modulation en présence de canaux sélectifs en fréquence **[22]**.

On considère la voix descendante d'un système de communication sans fil basé sur une transmission OFDM avec une station de base et des terminaux mobiles **[23]**. Le système comporte :

- K usagers, soit $R_k(K: 1 \dots K)$ le débit du $K^{ème}$ utilisateur exprime en bits/seconde.
- N sous porteuses sur lesquelles les données sont modulées. Un utilisateur peut allouer un ensemble de ces sous-porteuses.

Le principe de la modulation OFDM consiste à répartir aléatoirement des symboles de durée T_u (temps symbole utile) sur différentes porteuses modulées en QPSK ou QAM (selon le compromis robustesse/ débit).

L'OFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et de fréquence. Le canal est alors constitué d'une suite de sous bandes de fréquence et d'une suite de segments temporels.

A chaque cellule fréquence/ temps est attribuée une porteuse dédiée. On va donc répartir l'information à transporter sur l'ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par une modulation du type BPSK, QPSK, ou QAM. Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant t. chacune des porteuses est orthogonale à la précédente.

II.2.2 Notion d'orthogonalité dans un espace fonctionnel

Deux fonction $f(t)$ et $g(t)$ sont orthogonales sur $[a; b]$ et forment une base de l'espace fonctionnel considéré si :

$$\int_a^b f(t)g(t)dt = 0 \qquad (III.1)$$

Où l'intégrale définit le produit scalaire dans cet espace fonctionnel et l'intervalle $[a; b]$ représente le domaine sur lequel porte l'étude. Dans ces conditions, ces deux fonctions sont disjointes sur le segment $[a; b]$ et n'interfèrent donc pas l'une avec l'autre ; elles sont linéairement indépendantes. Enfin, une base fonctionnelle à N dimensions est construite à partir de N fonctions $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$, etc. orthogonales entre elles.

III.2.2.1 Bases orthogonales dans un espace paramétré en temps

Nous considérons des fenêtres rectangulaires espacées avec un intervalle de garde Δ sur un intervalle de temps t entre a et b. Ces fonctions (fenêtres rectangulaires) sont linéairement indépendantes. La figure ci-dessous nous illustre un exemple de telles fonctions.

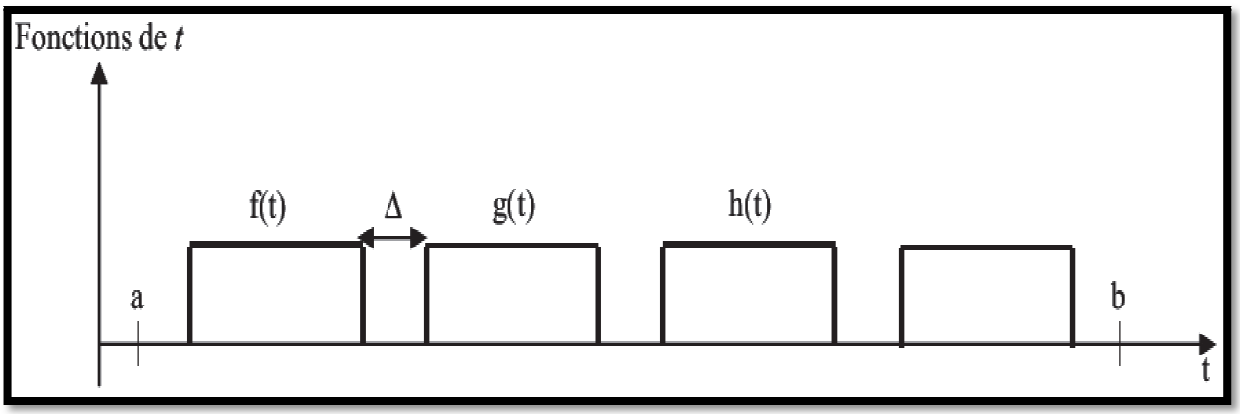


Figure III. 1: Base orthogonale en temps.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Il est évident que

$$\int_a^b f(t)g(t)dt = 0$$

Et que

$$\int_a^b g(t)h(t)dt = 0\,, \quad etc.$$

Donc, ces fonctions forment une base orthogonale à *N* dimension (autant que de fonctions sur le segment temporel {*a*; *b})* dans un espace fonctionnel à *N* dimensions, paramétré en temps sur un support {*a*; *b}*.

II.2.2.2 Bases orthogonales dans un espace paramétré en fréquence

La transformée de Fourier (*TF* {.}) de la fonction porte π_{T_U} (*t*) d'amplitude *A* et de largeur T_U est un sinus cardinal comme en équation (III.2) :

$$TF\{A\Pi_{T_U}(t)\} = A\frac{sin(\pi f T_U)}{\pi f} = AT_U Sinc(fT_U) \quad \text{(III.2)}$$

Il est donc possible d'associer à une base orthogonale temporelle de fonctions porte π_{T_U}(t), une base orthogonale fréquentielle de sinus cardinaux par transformation de Fourier de chaque porte. La figure III.2 représente un exemple de base orthogonale en fréquence dérivée de la base orthogonale en temps.

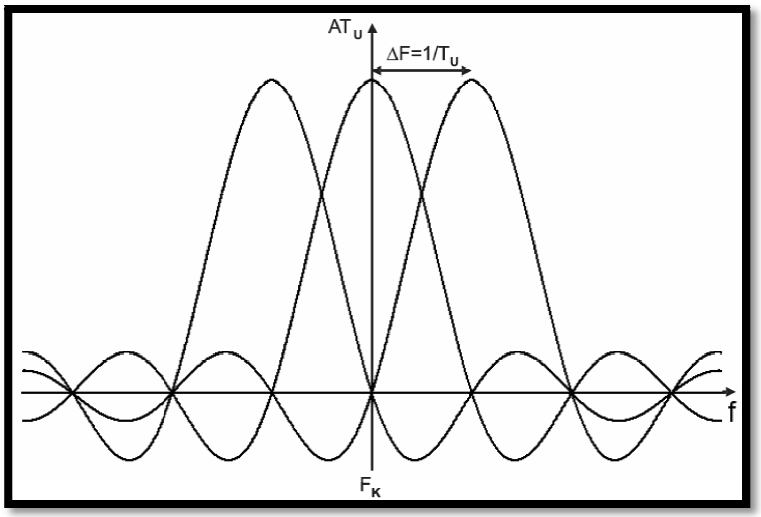


Figure III. 2: Base orthogonale en fréquence.

L'espacement en fréquence entre les *N* sinus cardinaux (sous-porteuses) est défini par $\Delta F = 1/T_U$.

II.2.3 Procédé de modulation

Ce procédé de modulation numérique représente la mise en œuvre d'une modulation numérique qui pourra être la B/Q-PSK ou la M-QAM, en utilisant une procédure particulière de parallélisation du flux d'information permettant d'augmenter la durée totale du symbole OFDM.

Le schéma ci-dessous montre comment on génère le symbole OFDM à partir d'un train binaire **[24]**. Le flux binaire (b_0; b_1 …), dont le temps bit est égal à T_B, est regroupé par paquets de *l* bits : 1, 2, 4 ou 6 en fonction de la modulation numérique employée (B-PSK, Q-PSK, 16-QAM ou 64-QAM respectivement). Ces paquets (c_0; c_1 … c_{k-1}) forment des symboles complexes ($c_k = a_k + jb_k$) de durée $T_C = l \times T_B$. Ces symboles sont envoyés sur une mémoire tampon. Cette étape permet de les paralléliser et de réaliser l'entrelacement fréquentiel à l'aide d'une table de correspondance entre les *K* symboles et les *N* sous-porteuses. Une fois cette relation établie, les *N* symboles c_k modulent simultanément les *N* sous-porteuses (f_k) qui sont additionnées pour générer un symbole OFDM de durée égale à $T_U = l\ N \times T_B$ [figure III-3].

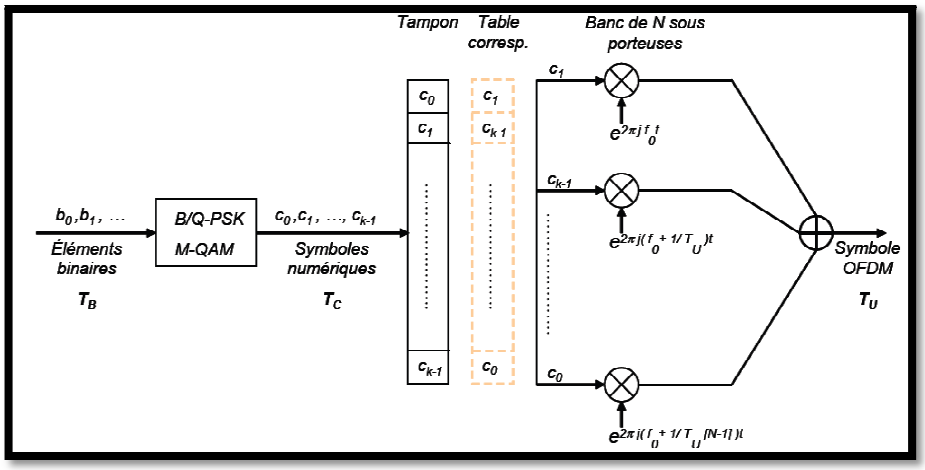


Figure III. 3: Schéma bloc du procédé OFDM.

À l'instant *t*, l'expression du signal OFDM est la suivante :

$$s_E(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} c_{k,n} \cdot c(t - nT_S) e^{j2\pi f_k t} \qquad \text{(III.3)}$$

Où $c(t - kT_S)$ représente le signal de mise en forme du symbole d'information OFDM. L'espacement fréquentiel entre les N sous-porteuses est défini par $\Delta F = 1/T_U$ où T_U représente la durée utile d'un symbole OFDM, c. à d. sans intervalle de garde Δ [figure (III.4)].

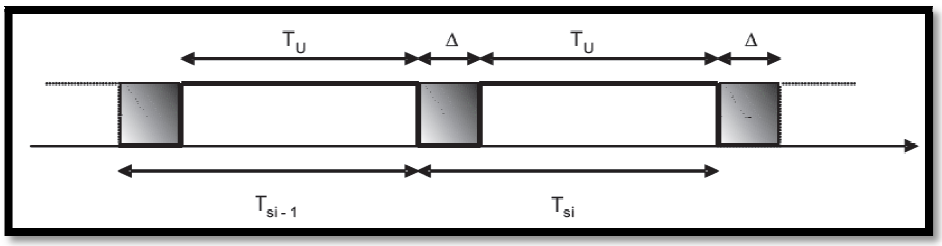


Figure III. 4: Train de symboles OFDM.

Si nous ajoutons l'intervalle de garde Δ, alors la durée réelle d'un symbole devient $T_S = T_U + \Delta$. Dans ces conditions tous les symboles forment une base orthogonale sur l'axe des temps. L'insertion d'un intervalle de garde permet au système d'être robuste face à l'IES (Interférence Entre Symboles).

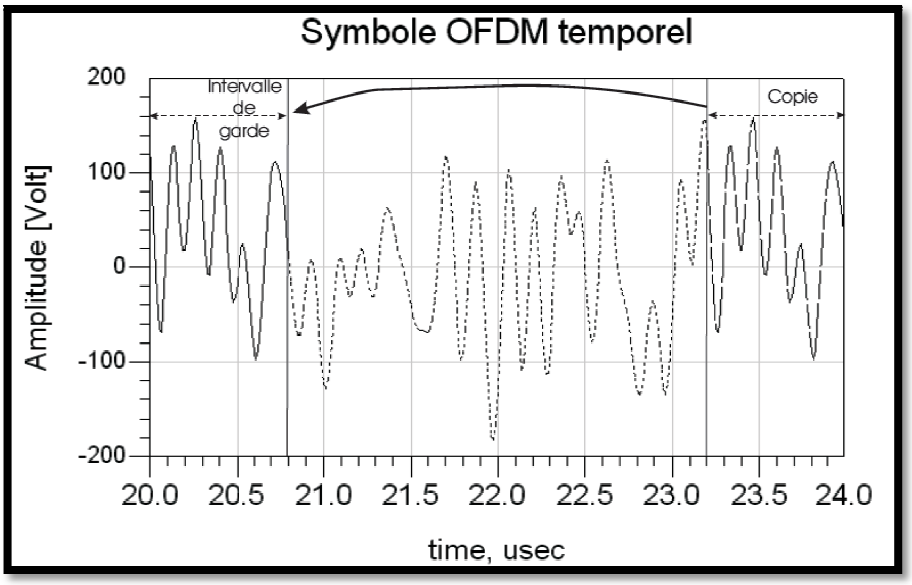


Figure III. 5: Symbole OFDM temporel avec intervalle de garde (partie réelle).

L'intervalle de garde, ajouté au début de chaque symbole, est composé d'un préfixe cyclique qui est la copie des derniers échantillons du symbole OFDM (figure. III.4). Cette copie cyclique permet, à la réception, de représenter le canal par une convolution circulaire et donc d'égaliser dans le domaine fréquentiel [25]. La durée de ce temps de garde est fixée par la norme mais en général il vaut $T_U/4$ qui représente un bon compromis entre réduction de l'IES et la perte en débit. Le terme compromis est utilisé car le débit du système diminue lorsque l'intervalle de garde est ajouté. Par exemple, considérons un débit égal à qN/T_U où q représente le nombre de bits transportés par un symbole numérique c_k et $N/T_U = B$ est la bande utilisée. L'intervalle de garde Δ est ajouté, la durée réelle du symbole OFDM augmente ($T_S = T_U + \Delta$) et, par conséquence le débit diminue et devient $qN = (T_U + \Delta)$.

L'intervalle de garde pourrait également être composé d'échantillons nuls. Cela signifie que le système n'émet rien pendant le temps de garde en générant ainsi des signaux à créneaux. Ces signaux modulent la porteuse radiofréquence (RF) avec un signal d'enveloppe basse fréquence qui peut être facilement capté par des circuits (détection d'enveloppe) présents dans d'autres appareils électroniques (compatibilité électromagnétique), en les parasitant. Un exemple de ce phénomène est représenté par la communication de type « GSM ». Donc, on préfère généralement avoir une continuité dans l'émission du signal.

Ensuite, pour une bonne réception il faut que cet intervalle de garde soit plus grand que le plus grand des retards dus aux trajets multiples dans le canal de transmission [éq. (III.4)]. Cela donne des symboles qui n'interfèrent pas entre eux à la réception.

$$\Delta > R_{max} \quad \text{(III.4)}$$

Revenons maintenant aux N sous-porteuses f_k. Nous pouvons, alors, écrire que :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_U} \quad k = 0,\ 1,\ \ldots N-1 \quad \text{(III.5)}$$

et l'expression du symbole OFDM, en supposant que f_0 est égal à 0 afin de simplifier l'expression et en introduisant dans la (III.3) la partie du signal OFDM concernant l'intervalle de garde, devient :

$$s_E(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} \left(c_{k,n} \cdot c(t - nT_S) + d_{k,n} \cdot d(t - nT_S) \right) e^{j2\pi \frac{kt}{T_U}} \quad \text{(III.6)}$$

Ici les symboles $d_{k,n}$ sont les symboles de redondance dans l'intervalle de garde (« GI ») tandis que $d(t - nT_S)$ est le signal de mise en forme du symbole de redondance. Dans la suite, seulement les symboles des données (c_k) seront considérés sous l'hypothèse que la même démarche est aussi valable pour les symboles de l'intervalle de garde et que la fonction $c(t)$ est égale à la fonction porte de durée T_S ,$\pi_{T_s}(t)$.

Considérons alors sur TU un nombre N d'échantillons espacés d'un intervalle TC, tel que :

$$T_U = N.T_C \quad \text{(III.7)}$$

Ces échantillons sont prélevés aux instants t_q définis par :

$$t_q = qT_C;\ (q = 0, 1, \ldots N - 1) \quad \text{(III.8)}$$

Donc, après échantillonnage, l'expression III.6 devient :

$$s_E(qT_C) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cdot \Pi_{T_S}(qT_C)\, e^{j2\pi \frac{k}{T_U}\, qT_C} \quad \text{(III.9)}$$

En sachant que $\Pi_{T_s}(qT_C)$ vaut 1 pour chaque échantillon et en remplaçant T_U par $N.T_C$, nous obtenons :

$$s_E(qT_C) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi \frac{k}{NT_C} qT_C} \quad \text{(III.10)}$$

et donc par simplification,

$$s_E(q) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j\frac{2\pi k}{N} q} \quad \text{(III.11)}$$

L'équation (III.11) montre l'expression du signal OFDM échantillonné aux instants t_q. Nous rappelons, alors, que la transformée de Fourier inverse et discrète (*IDFT*, « Inverse Discrete Fourier Transform ») est représentée par l'équation suivante :

$$x_q = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j\frac{2\pi k}{N} q} \quad \text{(III.12)}$$

Par comparaison (équations (III.11) et (III.12)), nous pouvons conclure que le signal OFDM correspond, à un coefficient constant près (1/*N*), à une *IDFT* des symboles c_k.

Dans ces conditions, il ne semble plus nécessaire de fabriquer réellement un ensemble OFDM de sous-porteuses accolées, c-à-d. nous ne sommes plus obligés d'utiliser un banc de *N* modulateurs analogiques pour « construire » le signal OFDM. Il suffit, donc, d'appliquer sur les symboles c_k la *IDFT*. En réception, une *DFT* (« Discrete Fourier Transform ») est requise.

Dans la pratique, l'algorithme dit *IFFT*/*FFT* (« Inverse Fast Fourier Transform/Fast Fourier Transform ») est employé pour la réalisation d'une *IDFT*/*DFT* car il convient bien évidemment de travailler en temps réel. L'utilisation de la *FFT* permet une implémentation suffisamment simple du procédé OFDM.

Considérons, maintenant, le flux binaire en émission. Nous allons, alors, expliquer de façon générale, comment ces bits sont traités avant d'être regroupés en paquets (symboles c_k). Un codage est appliqué à ce flux d'information. Cela garantit une robustesse du signal émis vis-à-vis des perturbations du canal et il nous introduit au COFDM, où le « C » signifie justement « Coded ».

La figure III.14 nous montre une chaîne de transmission OFDM complète où les parties concernant le codage canal, l'entrelacement temporel et fréquentiel **[22]** et l'égalisation seront décrites par la suite.

– **Codage canal**

Un codage convolutif est réalisé sur le flux binaire. On parle alors de codage canal.
Un code dit « convolutif » ou « récurrent » a pour but d'introduire une liaison, dite corrélation entre les informations numérisées transmises à des instants éloignés dans le temps. La liaison, établie entre informations écartées dans le temps, crée une redondance, c'est-à-dire un surplus d'information. Puis, cette redondance est mise à profit au niveau du récepteur afin de reconstituer les informations perdues ou faussées lors de la transmission, grâce à leur corrélation avec les informations correctement reçues. Ce traitement permet d'avoir un gain de codage sur le rapport signal à bruit **[26]**.

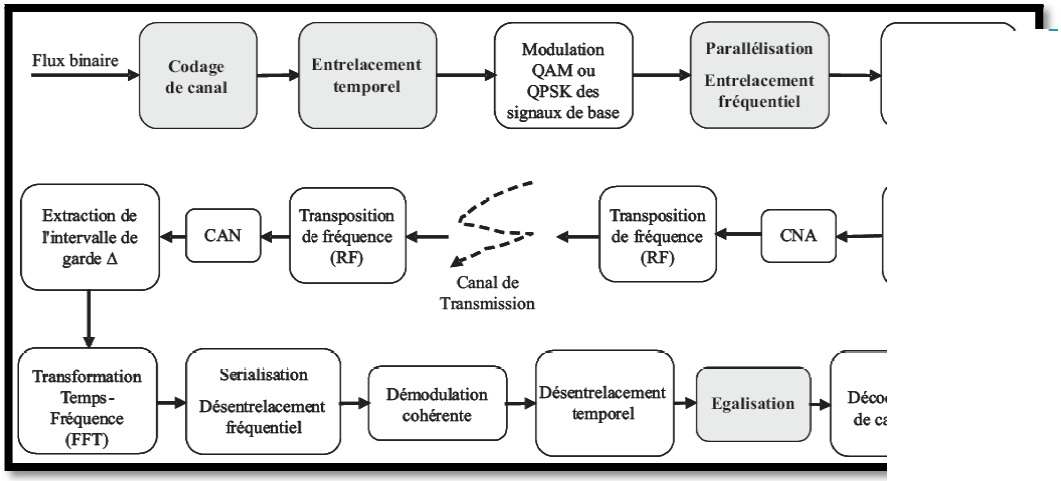


Figure III. 6: Chaîne de transmission OFDM.

- **Entrelacement temporel**

Après codage convolutif, on procède à un entrelacement temporel des bits figurant dans les mots du code. Ici l'entrelacement consiste à intervertir les positions des données sur l'axe temporel sur une durée définie à l'avance, suivant une procédure précisée dans la norme. On réalise ainsi une diversité en temps. D'abord, une répartition des bits uniforme sur l'axe des

temps permet d'avoir un spectre beaucoup plus homogène. Puis, l'entrelacement assure une protection supplémentaire, s'ajoutant à celle assurée par le codage canal, contre les erreurs de transmission introduites par le canal. Cette opération permet d'avoir un gain d'entrelacement (temporel) sur le rapport signal à bruit **[27]**.

- **Entrelacement fréquentiel**

Les N sous-porteuses sinusoïdales, écartées les unes des autres d'un intervalle ΔF égal à $1/T_U$, permettant de réaliser un multiplexage fréquentiel. L'entrelacement fréquentiel est réalisé au niveau du modulateur OFDM et il est obtenu grâce à une table de correspondance entre chaque symbole numérique c_k de rang K avec l'une des sous-porteuses SP_n de rang N. Une fois la correspondance établie, le symbole numérique c_k module la sous-porteuse SP_n. L'entrelacement fréquentiel est réalisé pour des raisons analogues à l'entrelacement temporel. Les données sont dispersées en fréquence afin qu'en réception l'effet de l'évanouissement fréquentiel du canal n'affecte pas plusieurs sous-porteuses consécutives. Cela permet d'avoir un gain d'entrelacement (fréquentiel) sur le rapport signal à bruit **[26]**.

- **Égalisation**

L'égalisation compense les distorsions introduites par le canal de transmission. Son principe se base sur l'amplification ou l'atténuation de certaines fréquences d'un signal donné. Dans le domaine des télécommunications, l'égalisation est employée pour amplifier les fréquences du signal reçu qui ont été atténuées à cause de la sélectivité en fréquence du canal. Pour l'OFDM, l'égaliseur est formé par N multiplieurs dont les coefficients peuvent être obtenus à l'aide d'une séquence d'entraînement contenue dans le préambule de la trame physique.

Le traitement numérique étant achevé, les symboles OFDM sont créés et ces signaux en bande de base sont prêts à moduler la porteuse RF avant d'être envoyés sur le canal de transmission.

Rapport-Gratuit.com

III.2.4 Simulation d'une chaine OFDM

Dans cette section, nous présentons les résultats de simulation d'un système de transmission OFDM en utilisant le logiciel MATLAB.

III.2.4.1 Emission

La figure suivante représente le spectre des différentes sous porteuses :

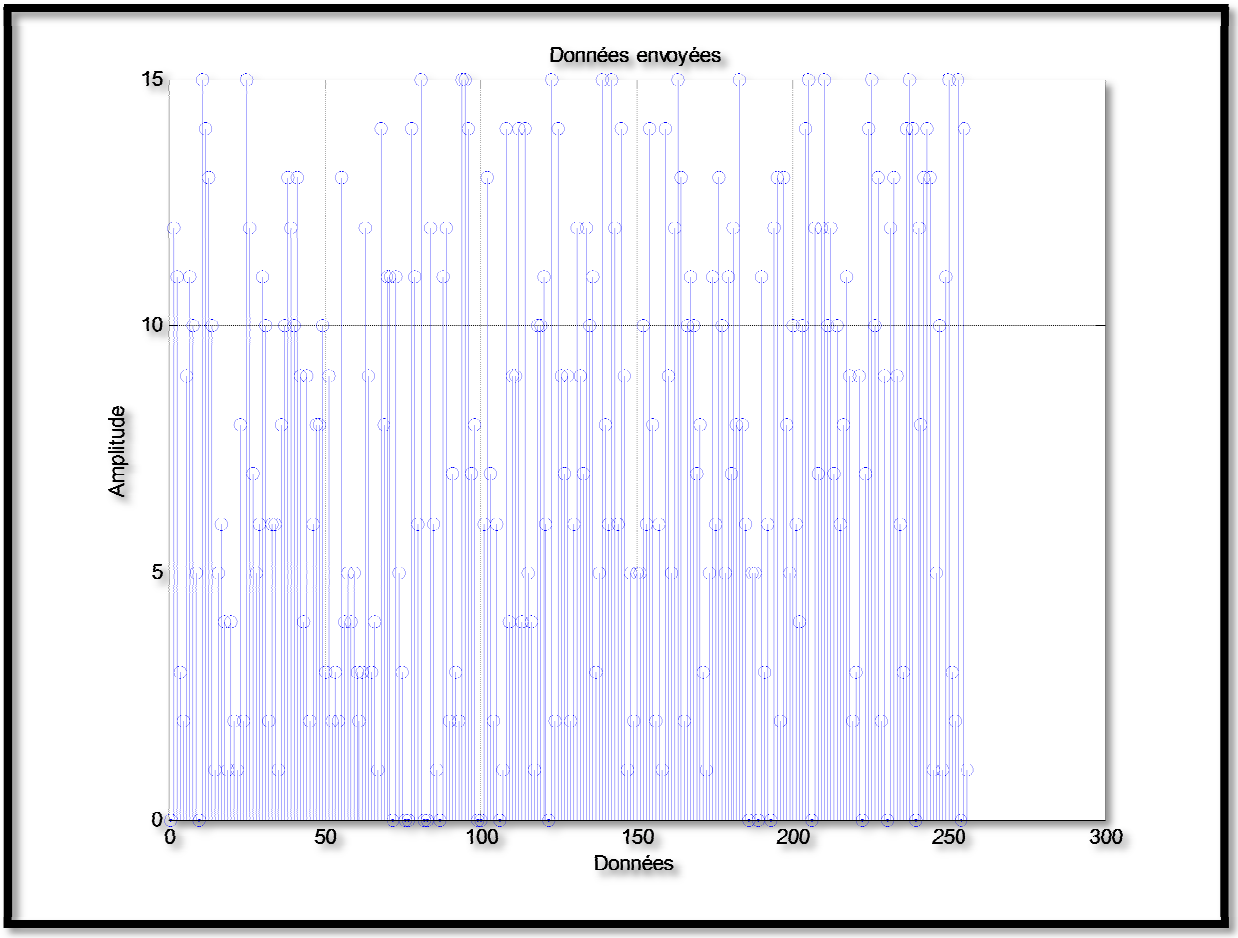


Figure III. 7: Spectre des différentes sous porteuses.

Nous pouvons remarquer sur le spectre que le nombre de sous porteuse utilisées dans cette simulation est de 256.

- **Modulation QAM-16**

Nous réalisons une modulation QAM-16 aux données provenant de la source binaire. Nous obtenons le résultat suivant :

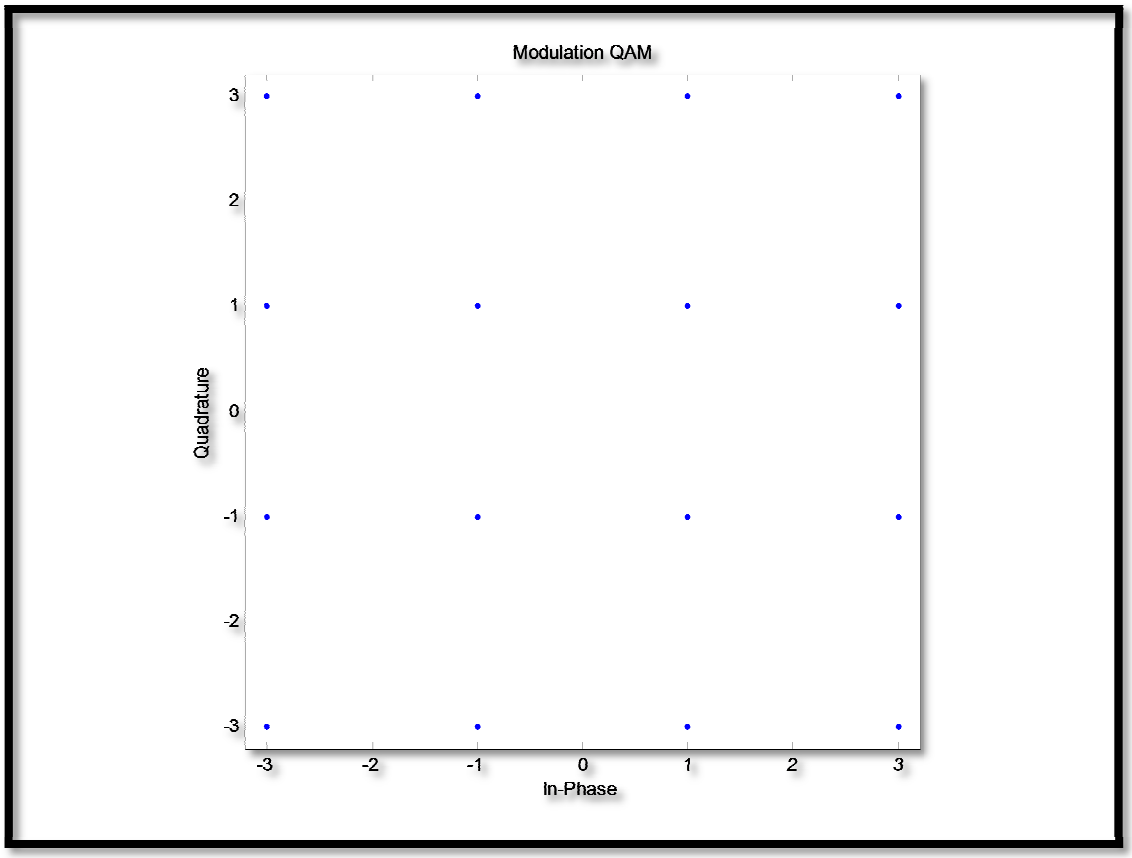


Figure III. 8: Constellation du signal modulé.

- **Insertion des pilotes**

L'estimation du canal consiste à envoyer a chaque fois que cela est nécessaire une séquence d'entrainement ou des symboles pilotes. A ces derniers on donne une puissance double par rapport aux symboles portant l'information.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- **Signal OFDM**

Le signal OFDM peut être facilement généré en utilisant une transformée de Fourier inverse (IFFT).

Le fait de transmettre sur N porteuses orthogonales augmente bien évidemment la résistance de l'OFDM aux parasites, brouilleurs et autres perturbations, et c'est d'autant plus vrai que ce nombre N est en pratique assez élevé (la norme de télévision numérique DVB par exemple permet d'utiliser jusqu'à 8192 porteuses). D'autre part la présence de l'intervalle de garde permet d'éviter les interférences entre symboles qui pourraient provoquer des pertes d'information, dans notre exemple nous avons choisi une transmission à 256 fréquences porteuses.

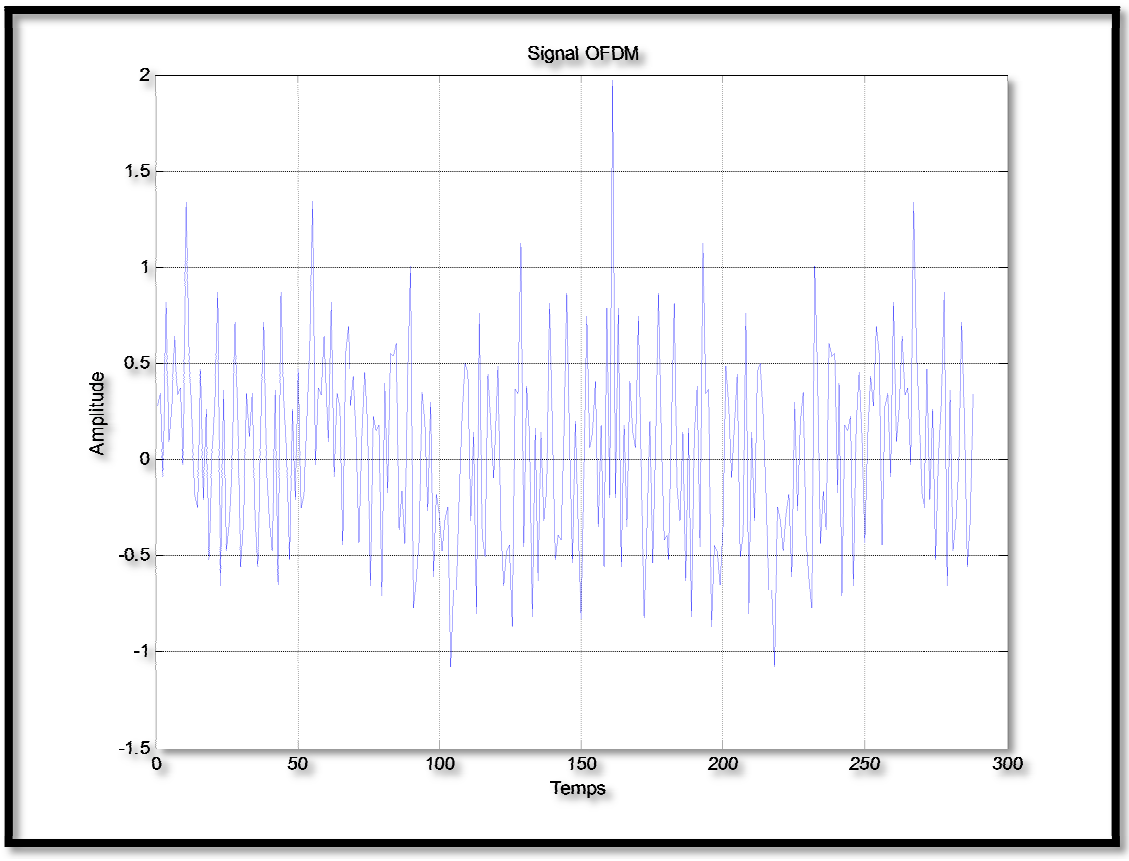


Figure III. 9: Signal OFDM à l'émission.

III.2.4.2 canal de transmission

- **Réponse fréquentielle du canal**

Lors de leur propagation à travers le canal de transmission, les ondes émises sont sujettes à différents phénomènes qui viennent modifier leur forme, c'est-à-dire leur Amplitude et leur phase dans le cas le plus général, il peut s'agir de phénomènes d'atténuation, de déphasage, de réflexion, de diffraction ou encore de diffusion, selon les interactions que les ondes sont susceptibles de connaître avec le support physique.

On fait passer notre signal OFDM à travers un canal dont le filtre **h** s'exprime :

h= [1 0 0.1 0.1]

La figure (III.11) Représente la réponse fréquentielle du canal utilisé dans cette simulation.

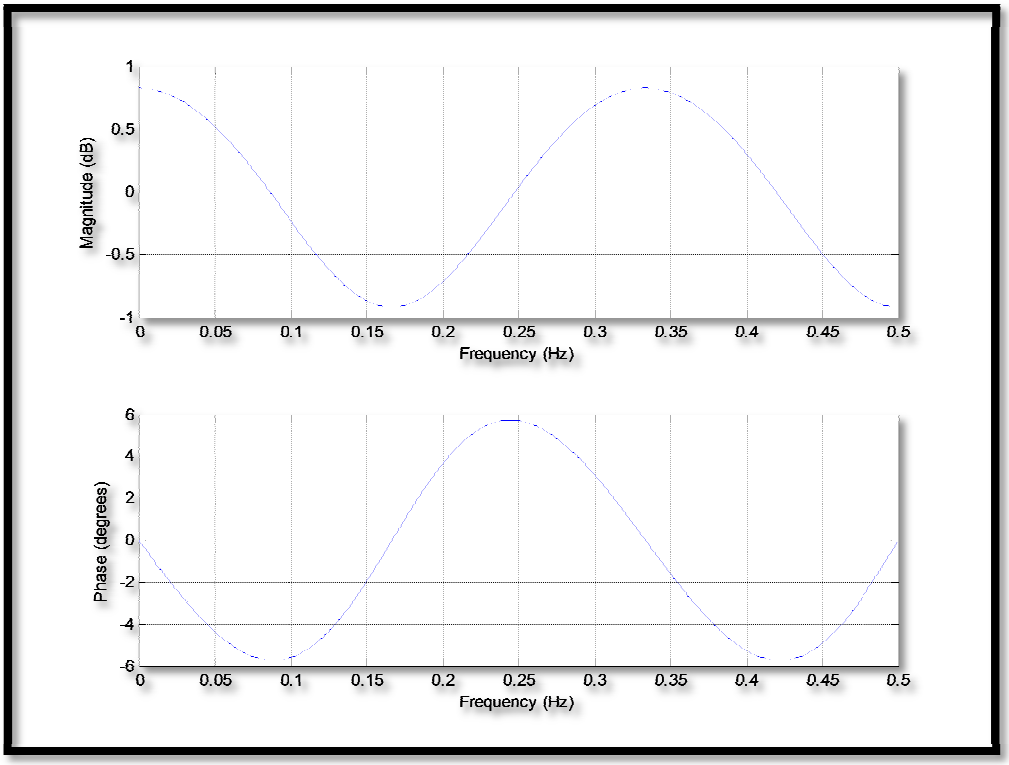


Figure III. 10: Réponse fréquentielle du canal.

III.2.4.3 Réception

La difficulté de récupérer le signal, due aux atténuations et aux bruits qui l'affectent, nous oblige d'estimer le canal. Cette dernière permet de reconstruire le signal émis.
Connaissant la séquence émise, le récepteur estime le canal une fois le signal reçu.
La figure ci-dessous représente la constellation du signal reçu avant l'estimation du canal.

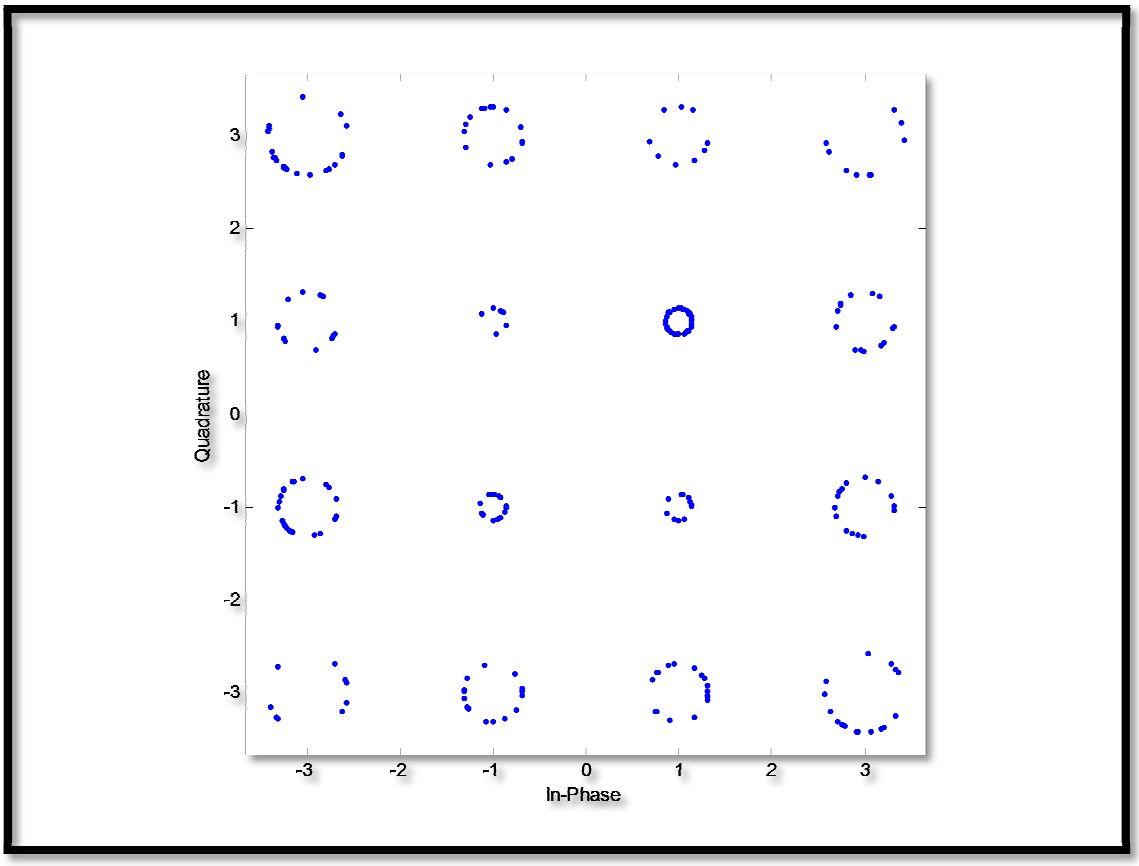


Figure III. 11: Constellation du signal reçu avant l'estimation du canal.

Ci-dessous nous avons la représentation du signal reçu après l'estimation du canal. On remarque que les points dans la constellation ne sont pas plus fixes fixe dans une coordonnée spécifique mais dans un intervalle. Cela arrive car le bruit ajouté déforme le signal.

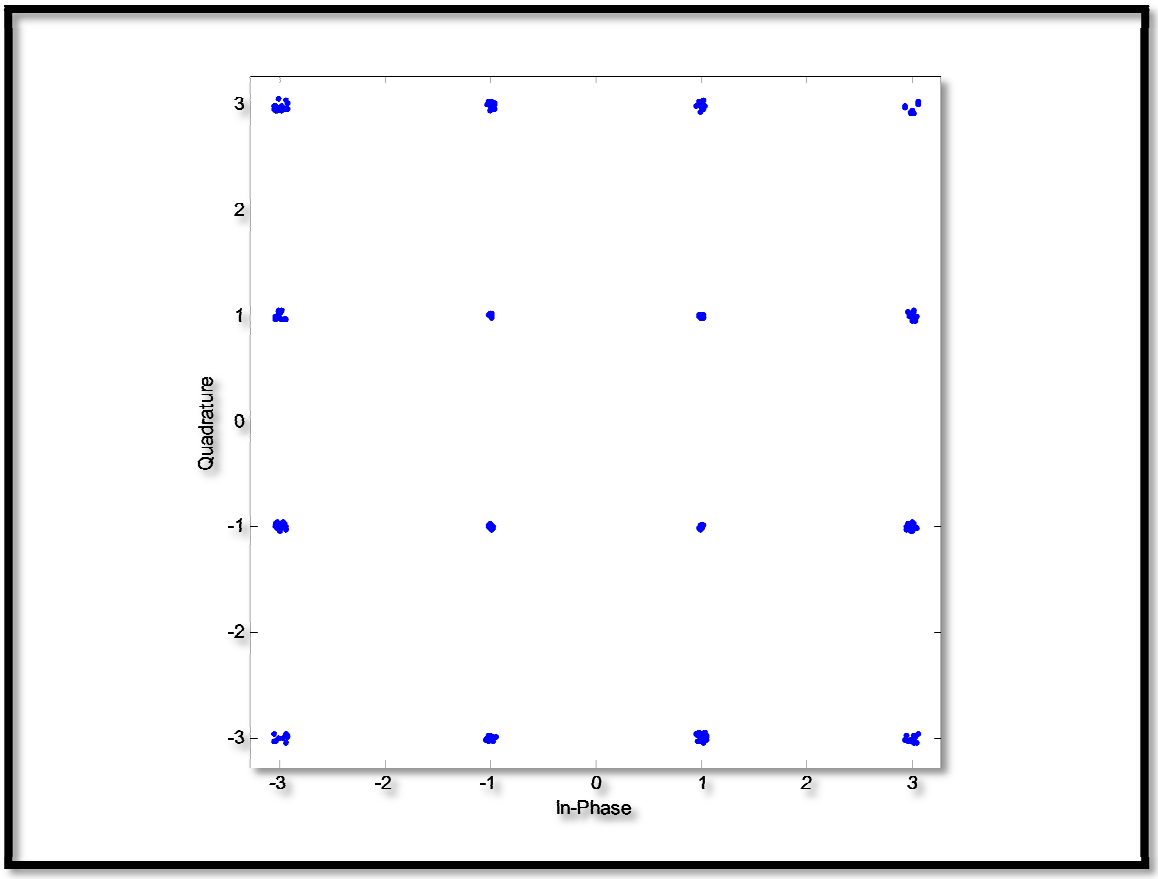


Figure III. 12: Constellation du signal reçu après l'estimation du canal.

III.2.5 Avantages et inconvénients

III.2.5.1 Avantages

Le procédé de modulation OFDM a été principalement introduit pour lutter contre les trajets multiples avec évanouissement, en minimisant l'Interférence Entre Symboles (IES) et il nous garantit des débits binaires suffisamment élevés. L'encombrement spectral a été optimisé, le canal de transmission apparaît invariant localement et l'égalisation fréquentielle est réalisée de façon très simple.

- **Faible IES**

Le fait d'ajouter un intervalle de garde Δ [fig. III.14] augmente la robustesse du signal OFDM aux trajets multiples **[28]**. Cela permet d'avoir en réception une IES acceptable, c.-à-d. les symboles OFDM arrivant au récepteur n'interfèrent pas aux instants d'échantillonnage.

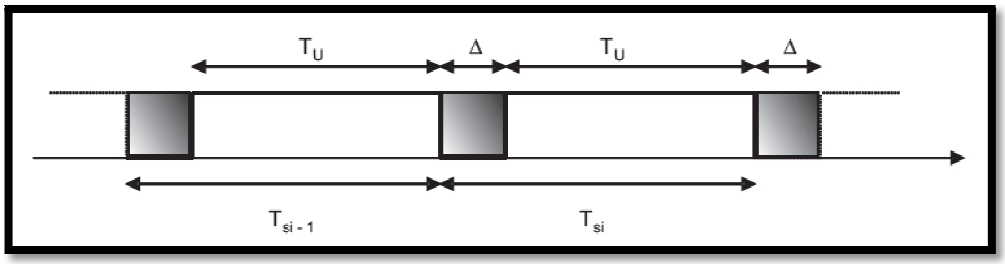


Figure III. 13: Ajout de l'intervalle de garde.

- **Encombrement spectral optimal**

L'orthogonalité entre les *N* sous-porteuses permet de faire chevaucher leurs respectives bandes fréquentielles (Figure (III.15)) et donc d'optimiser l'occupation spectrale du signal modulé [29].

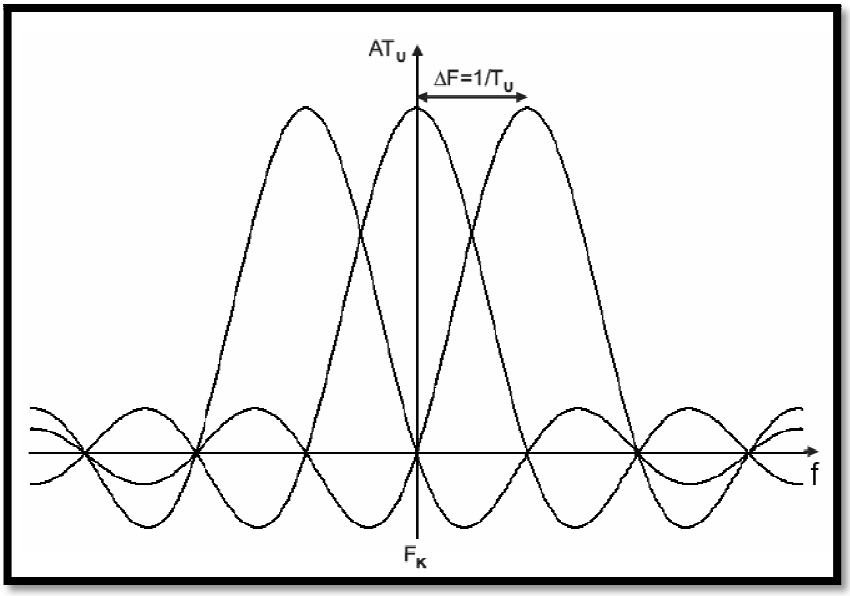


Figure III. 14: Base orthogonale en fréquence.

- **Canal invariant localement**

La bande passante de chaque sous-porteuses est petite devant la totalité de la bande passante du signal OFDM. Nous pouvons, alors, considérer que la réponse fréquentielle du canal de transmission est plate au niveau de chaque sous-porteuse (Figure (III.16)).

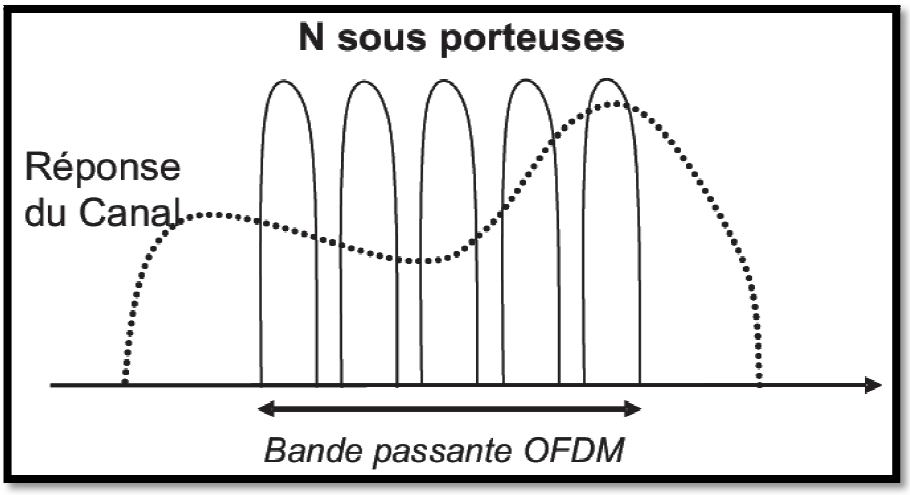


Figure III. 15: Réponse fréquentielle du canal localement plate.

L'évanouissement fréquentiel dû au canal est donc de type « flat fading », c'est-à-dire évanouissement lent.

III.2.4.2 Inconvénients

Les caractéristiques temporelles du signal OFDM représentent les principaux inconvénients.

- **Synchronisation émetteur/récepteur**

Les « offsets » en fréquence entre les oscillateurs locaux RF ainsi que le décalage fréquentiel dû à l'effet Doppler, gênèrent une translation fréquentielle qui perturbe l'orthogonalité des *N* sous-porteuses **[30]**.

L'échantillonnage ne se fait plus sur les maxima de chaque sinus cardinal (sousporteuse) et, donc, il y a interférence entre les symboles *ck*. Pour faire face à ce problème, le récepteur OFDM prévoit un système d'estimation et de correction de ces « offsets ».

D'après **[31]**, l'estimation se fait à l'aide de l'algorithme dit de « Maximum-Likelihood », calculant la fonction d'autocorrélation sur des séquences connues du signal OFDM. Ensuite la fréquence d'échantillonnage sera corrigée.

- **Fluctuations d'enveloppe**

Un signal de type OFDM (Figure (III.17)) présente des fortes fluctuations d'enveloppe **[32]**, cela exige une grande linéarité de la chaîne de transmission, en particulier au niveau de l'amplificateur de puissance qui présentera, alors, un rendement médiocre (linéarité et rendement divergent) et, donc, incompatible avec une consommation optimisée pour une application mobile.

En outre, la caractéristique de transfert non-linéaire de l'amplificateur génère une distorsion dans la bande du signal OFDM. Cette distorsion aura un impact sur les *N* sous-porteuses qui alors interféreront entre elles avec une dégradation des performances en « BER » du système de transmission OFDM **[33]**.

Il est, alors, indispensable d'utiliser des techniques de linéarisation pour l'amplificateur **[34]**.

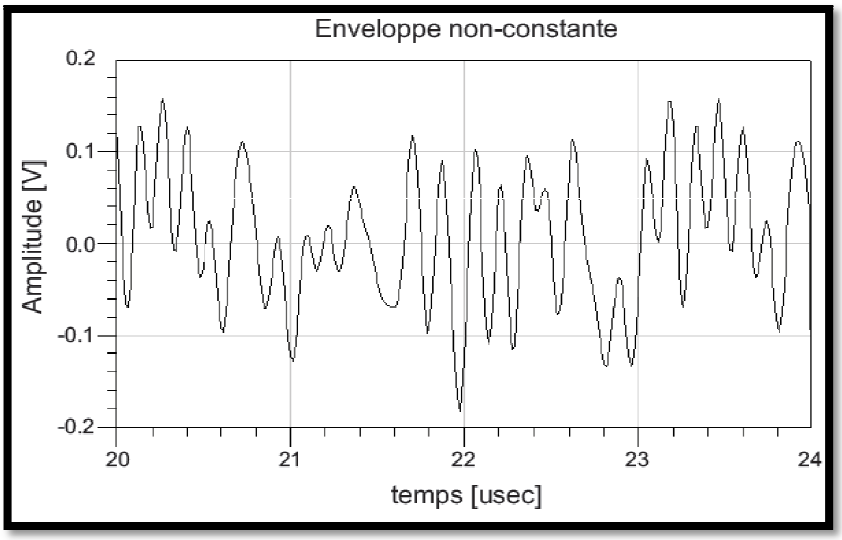


Figure III. 16: Partie réelle de l'enveloppe complexe (OFDM).

III.3 Systèmes mixtes OFDM-CDMA

L'intérêt de combiner les techniques de modulation multiporteuses OFDM et d'étalement de spectre DS-DCMA est de tirer profit des avantages de ces deux techniques. Différentes combinaisons ont été proposées. Elles se différencient par la façon dont sont imbriquées les opérations d'OFDM et de CDMA. Les deux techniques les plus prometteuses d' après la littérature sont **[35]** : le MC-CDMA et le MC-DSCDMA.

Dans la technique MC-CDMA, le flux de données est d' abord étalé suivant le principe du DS-CDMA puis transmis sur des porteuses orthogonales. Chaque symbole émis x^u de durée T_x est étalé par le code $\{c_k^u, k = 0..L-1\}$ attribué à l'utilisateur u comprenant L chips de durée $T_c=T_x/L$. Les éléments de la séquence étalée sont ensuite envoyés en parallèle sur les N sous-porteuses orthogonales par modulation OFDM. Généralement, la longueur du code d'étalement est choisie égale au nombre de sous-porteuses : $N=L$, mais des variantes sont possibles pour mieux adapter le signal au canal. Comme en OFDM, un préfixe cyclique est inséré pour éviter les interférences entre deux symboles successifs. La Figure (III.18) montre les schémas d'un émetteur et d'un récepteur MC-DS-CDMA associés à un utilisateur u.

La séquence de symboles de durée T_x est d' abord divisée en N séquences parallèles, chacune modulant une des porteuses orthogonales. Sur chaque sous-porteuse k, chaque symbole x_k^u de durée étendue NT_x est ensuite étalé par le code $\{c_l^u, l = 0 \ldots L-1\}$ Attribué à l'utilisateur u et contenant L chips de durée $T_c= NT_x/L$. Successivement, les éléments des N séquences étalées sont transmis en parallèle en utilisant le modulateur OFDM. Un préfixe cyclique est utilisé comme en MC-CDMA et en OFDM. Le signal MC-DS-CDMA s'écrit :

$$s^u(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} x^u \; c_k^u \; e^{j2\pi \frac{kn}{N}} \qquad , n = -N_{CP} \ldots N-1 \tag{III.14}$$

Rapport-Gratuit.com

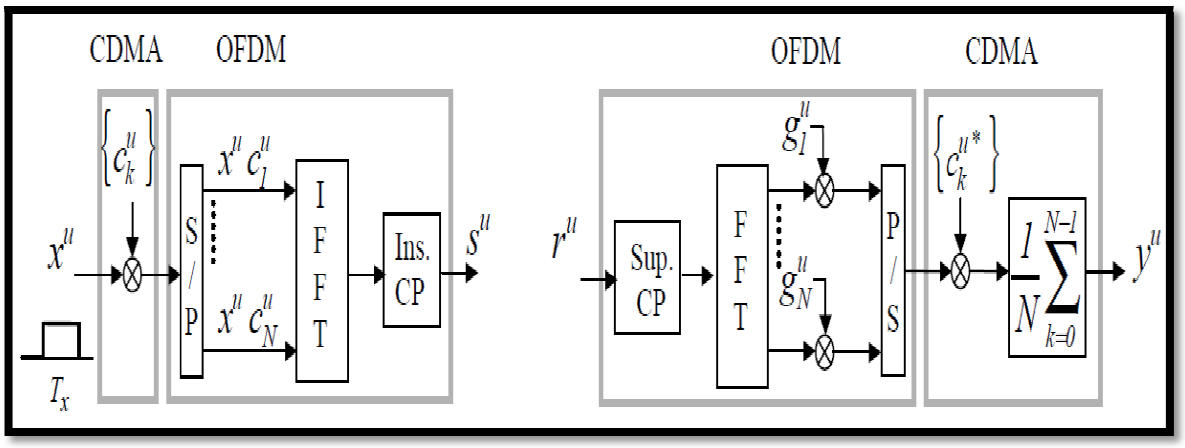


Figure III. 17: Emetteur et récepteur MC-CDMA.

Le récepteur comprend un démodulateur OFDM classique, un convertisseur parallèle-série et un corrélateur.

L'avantage de cette technique d'accès multiple est d'introduire de la diversité fréquentielle puisqu' une fraction de chaque symbole est transmise sur chacune des *N* sous-porteuses.

Dans la technique MC-DS-CDMA, l'étalement de spectre est réalisé sur chaque sous-porteuse.

Le récepteur MC-DS-CDMA comprend un démodulateur OFDM et un corrélateur sur chaque porteuse. Une fraction de chaque symbole est donc transmise sur une seule des sous-porteuses, mais dans *L* symboles OFDM successifs. Du fait de l'allongement du temps symbole sur chaque sous-porteuse, la durée d'un chip est moins courte qu'en DS-CDMA, ce qui facilite la synchronisation des codes.

III.4 Conclusion

Un des majeurs problèmes que rencontre la transmission à débit élevé est le problème de trajets multiples. L'OFDM apparaît comme une bonne solution pour les trajets multiples, et ceci en divisant la bande de transmission en N sous-canaux orthogonaux. Un préfixe cyclique (Intervalle de Garde) est ensuite ajouté au début du symbole et ce préfixe est identique au segment de même longueur à la fin du symbole. La longueur de cet intervalle est choisie de façon à être supérieure à la valeur maximale de délai dû à l'effet de trajets multiples.

L'OFDM présente une grande simplicité dans la modulation et la démodulation ayant besoin d'un seul modulateur et d'un seul démodulateur. Ceci a lieu dans le cas où les différents éléments fondamentaux sont correctement sélectionnés : Nombreuses porteuses orthogonales, intervalle de garde, entrelacement et des bonnes informations sur l'état du canal.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

IV.1 Introduction

Depuis quelques années, la bande Ka suscite de plus en plus d'intérêt auprès des différents acteurs de télécommunications par satellite. Cet intérêt se justifie essentiellement par l'émergence des nouvelles applications multimédia qui nécessitent une communication large bande, mais aussi par la quasi saturation des bandes L, C et Ku. Sans doute, les communications en bande Ka vont constituer un fait marquant dans le monde des télécommunications par satellite pendant le XXI ième siècle.

Aujourd'hui, la bande Ka demeure sous-exploitée et son exploitation reste restreinte à quelques applications professionnelles spécifiques. Le marché potentiel que peut offrir la bande Ka pour les applications multimédia grand public a incité les opérateurs de télécommunications, les fournisseurs d'accès ainsi que les industriels à s'intéresser d'avantage à cette bande de fréquence. Le lancement, en juillet 2004, du satellite géostationnaire ANIK F2 qui contient 38 transpondeurs en bande Ka est une illustration de cet intérêt.

IV.2 Canal satellite en bande Ka

Dans le contexte des futurs systèmes des télécommunications par satellite, le déploiement de la bande Ka constitue une nécessité, notamment à cause de la saturation des bandes L, C et Ku. Cette exploitation offrira l'avantage de disposer de canaux plus larges qui supportent un plus grand nombre d'utilisateurs. Elle permet aussi de réduire les dimensions du terminal utilisateur ainsi que celles de l'antenne. L'utilisation des satellites avec un traitement bord permet d'augmenter davantage la capacité et les performances des systèmes. En effet, ce genre de satellite profite d'un meilleur bilan de liaison et d'une meilleure flexibilité.
Le tableau suivant donne les plus importants systèmes expérimentaux et commerciaux qui sont opérationnels dans la bande Ka **[36]**.

System	Coverage	Uplink/ Downlink (GHZ)	Throughput (Gbps)	Waveform	User Data Rate (Kbps)	Architecture/ Network Structure
DFS-Kopernikus (Germany)	Regional/ GEO	29.58/ 19.78	Not Available	QPSK	64-2048	TDMA/18 m sec Frame Divided into 5 Segments
ITALSAT Multibeam Global Payload (Italy)	Regional/ GEO	27.5-30/ 18.5-20.0	Several	QPSK	32-128	TDMA/32 msec Frame Divided into 3072 Frame Units
DRS (ESA)	Regional/ GEO	29.530/ 17.7-20.2	Several	QPSK	2 x500	Not Available
CS-2/CS-3 (Japan)	Regional/ GEO	27.515-28.995/ 17.775-19.195	Not Available	BPSK / FM	192-6144	TDMA,FDMA,DAMA
Astronik (US)	Global/ GEO	27.5-30/ 17.3-21.2	7.7	QPSK	16-9216	U/L: FDMA/TDMA, D/L:FDM; ATM,DAMA, OBP
Teledesic (US)	Global/ (LEO)1375 Km	28.6-29.1/ 18.8-19.3	13.3	QPSK	16-23000	U/L: FDMA/TDMA D/L:FDM; Satellite-Based Packet-Switched, OBP

Tableau IV. 1: les systèmes satellitaires exploitant la Bande Ka.

Il est évident que l'établissement d'une communication bidirectionnelle est une condition nécessaire pour une meilleure compétitivité avec des systèmes terrestres. Ce fait permet aux offres satellitaires d'être indépendantes de toute infrastructure réseaux terrestre ce qui les rend accessibles sur toute la zone de couverture du satellite. La figure suivante montre une architecture simplifiée d'un système satellitaire avec une couverture multi-faisceaux.

Néanmoins, l'exploitation de la bande Ka est accompagnée de certains handicaps essentiellement liés aux conditions de propagation plus sévères. En comparaison avec la bande Ku, le signal reçu en bande Ka peut subir de fortes atténuations suite aux perturbations météorologiques. Par exemple, en bande Ka, l'atténuation peut dépasser une dizaine de dB, suite à de fortes précipitations.

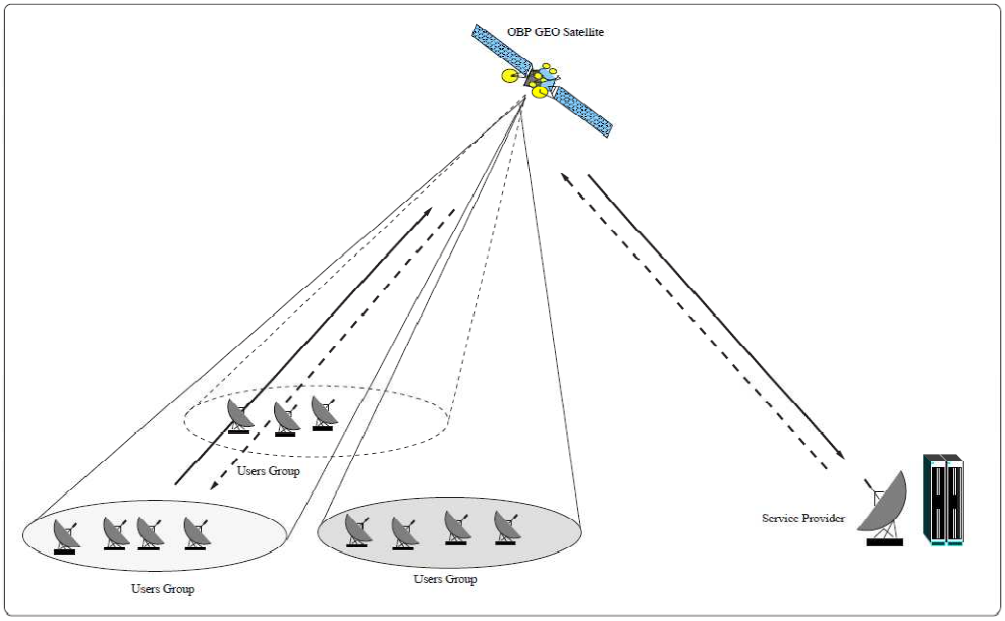


Figure IV. 1: générale d'un système de transmission par satellite avec une liaison bidirectionnelle

IV.2.1 Classification des atténuations en bande Ka

Les atténuations des signaux satellitaires en bande Ka sont essentiellement d'origine atmosphérique et météorologiques. Les causes des dégradations peuvent êtres classées en deux catégories. La première catégorie comprend tous les éléments qui sont présents dans l'atmosphère terrestre d'une façon permanente tels que la vapeur d'eau ainsi que les différents gaz qui constituent cette atmosphère comme l'hydrogène et l'oxygène.

L'atténuation causée par ce type de facteur est ainsi invariante au cours du temps et quasiment indépendante de l'emplacement géographique. La seconde catégorie comprend les facteurs météorologiques et climatiques dont la présence est fonction aléatoire du temps et de l'espace comme les nuages ou les précipitations. C'est cette deuxième classe qui a la plus forte contribution dans l'atténuation des signaux satellitaires en bande Ka.

- **Atténuation due aux gaz**

L'atténuation due aux différents gaz qui constituent l'atmosphère terrestre est quasiment inexistante en bandes L, C et Ku. En bande Ka et surtout en bande V elle commence à être non négligeable et il va falloir ainsi en tenir compte lors de établissement du bilan de liaison. L'oxygène, en particulier est le composant gazeux qui affecte le plus la qualité du signal en bande Ka. Son effet est plus conséquent à basse température. Par exemple, dans un climat européen et `a une fréquence de 30 GHz l'atténuation moyenne de l'oxygène est de l'ordre de 0.2 dB. Il est important de mentionner que le fait que cette atténuation est présente tout le temps, il est inutile d'en tenir compte lors de la conception d'une technique de compensation.

- **Atténuation due à la vapeur d'eau**

Bien que son effet puisse être négligé en bande Ku, la vapeur d'eau peut affecter, d'une façon significative, les signaux transmis en bande Ka. L'ampleur de l'atténuation est fonction de la concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère (exprimée en Kg/m^3) qui est fonction du temps (période de la journée, saison). Dans, on mentionne, que dans une transmission par satellite en bande Ka, la liaison descendante est affectée d'avantage que la liaison montante. D'une manière générale et dans un climat modéré, en Europe centrale par exemple, la dégradation est de l'ordre de quelques dixièmes de dB.
Dans on mentionne une atténuation supérieure à 0.45 dB pendant 1% d'une année moyenne.

- **Atténuation due aux Nuages**

L'effet d'un nuage est fonction de la densité de ce dernier ainsi que de son épaisseur.
Les affaiblissements dus aux nuages ont une plus grande dynamique que celles causées par la vapeur d'eau et doivent être considérés pendant près de 50%d'une année moyenne.
La valeur de l'atténuation est de l'ordre de 0.4 dB pendant 50% du temps d'une année moyenne et pour une fréquence de 20 GHz, elle est de 0.8 dB pour une fréquence de 30 GHz (climat Europe centrale).

- **Atténuation due aux précipitations**

La pluie est le phénomène qui affecte le plus la qualité du signal en bande Ka. L'atténuation spécifique (exprimée en dB/Km) est fonction de la pluviométrie (exprimée en mm/h), mais aussi des caractéristiques des précipitations (taille des gouttelettes d'eau ...). La figure IV.2 illustre une allure typique d'une atténuation du signal en bande Ka suite à des fortes précipitations. Il s'agit d'une liaison montante en bande Ka à la fréquence de 29.75*GHz*. L'atténuation atteint un pic de 27 dB qui est une valeur considérable par rapport aux niveaux rencontrés en bandes C et Ku. On peut aussi remarquer que l'atténuation dépasse 15 dB durant un intervalle de temps de plus de 8 minutes. Les précipitations sont généralement caractérisées par leurs distributions spatiales et temporelles. La distribution spatiale d'une précipitation correspond à son étendue géographique, ainsi on distingue les précipitations dont l'´etendue est de l'ordre de plusieurs dizaines de Km, ces pluies sont très répondues en Europe et sont caractérisées par leur faible intensité et leur longue durée dans le temps. Le second type, correspond à des précipitations de faible étendue (rayon < 10Km). Cette dernière catégorie est caractérisée par une forte intensité et par une durée dans le temps relativement faible. Ces précipitations sont souvent rencontrées en zones tropicales sous forme d'orage et leur forte pluviométrie peut dépasser 50mm/h pendant 0.01% d'une année moyenne.

La figure IV.3 illustre la perte en puissance causée par les précipitations à trois fréquences différentes en bandes Ku et Ka dans un climat du type centre européen. On peut lire, par exemple, qu'`a 20 GHz, on doit compenser 13 dB d'atténuation pour assurer une disponibilité de 99.98% alors que seulement 4 dB sont nécessaires à la fréquence de 12 GHz.

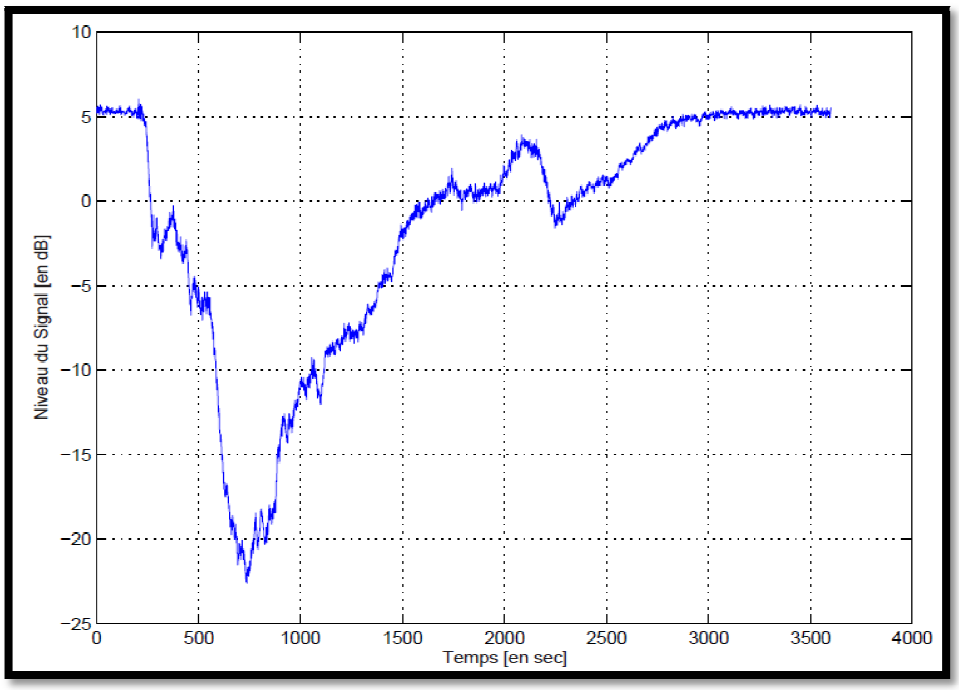


Figure IV. 2: Allure typique d'une atténuation en bande Ka due aux précipitations à la fréquence de 29.75 GHz

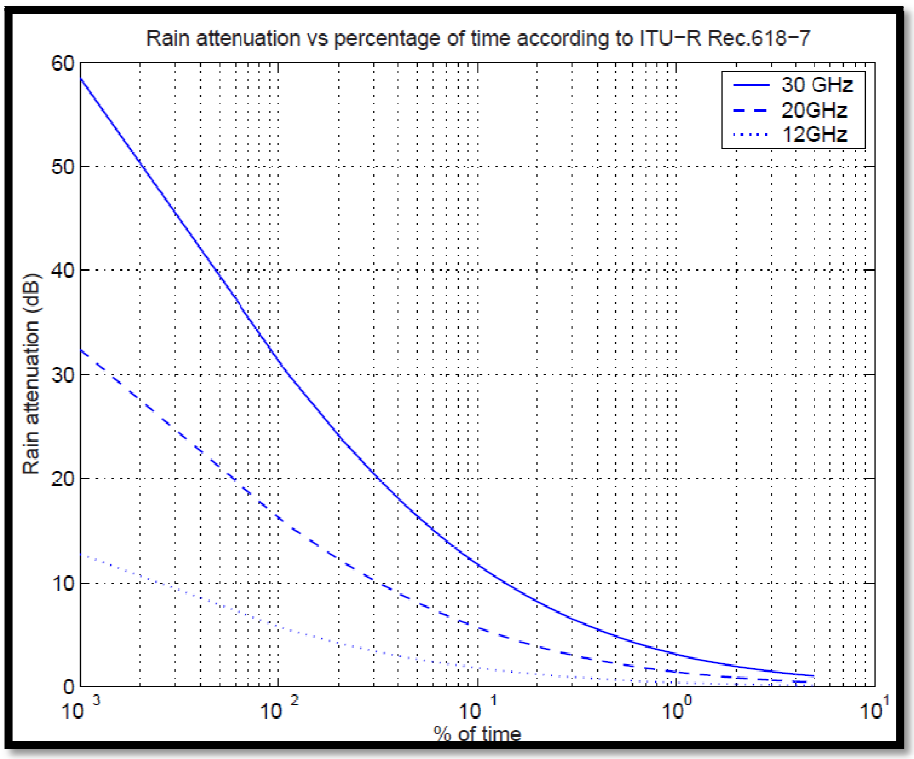


Figure IV. 3: Atténuation due aux précipitations en bandes Ku et Ka

D'une manière générale, en bande Ka, l'atténuation induite par les précipitations est tellement importante qu'il est difficilement envisageable de la compenser par un simple supplément de puissance afin de garantir une disponibilité satisfaisante. D'autres moyens et techniques de compensation plus sophistiqués doivent êtres déployés afin d'assurer la qualité de service requise et d'optimiser la capacité du système.

IV.2.2 Statistiques relatives aux atténuations

L'analyse statistique des atténuations du canal consiste à l'´evaluation de plusieurs données qui permettent une meilleure compréhension de ce phénomène. Ces données nous sont utiles notamment lors de la conception de la forme d'onde envisageable. La durée moyenne d'une atténuation, le temps séparant deux occurrences successives ainsi que la pente de l'établissement de l'atténuation sont des exemples d'informations relatives aux atténuations qui sont d'une forte utilité. Bien entendu, ces paramètres dépendent de la fréquence du signal et de l'emplacement géographique du terminal. Il est aussi important de mentionner que l'analyse effectuée est transparente vis-à-vis de la cause ou de la source de l'atténuation.

- **Pente de l'atténuation**

Ce paramètre indique la vitesse avec laquelle une atténuation peut s'établir dans le temps, il est exprimé en dB/Sec. La mesure de cette pente s'effectue en éliminant les fortes fluctuations (scintillements) du signal car elles ne fournissent aucune information utile sur le niveau de la puissance du signal reçu. Cette opération est généralement effectuée grâce à un filtrage du signal reçu. Les résultats relatifs à la pente d'atténuation sont souvent obtenus à la suite des compagnes de mesure. Un moyen efficace de représenter cette information consiste à considérer l'ensemble des atténuations supérieures à un seuil donné, de calculer les pentes correspondantes. On trace par la suite la distribution des différentes pentes d'atténuation. On montre en particulier que l'allure de cette distribution est proche d'une gaussienne centrée. On montre aussi que la forme de cette allure est indépendante de la fréquence.
Dans le cas d'une forme d'onde adaptative la pente d'atténuation doit être considérée lors de la transition d'un mode à un autre dans la chaîne de communication.

- **Durée moyenne de l'atténuation**

La durée ainsi que le nombre d'occurrences d'une atténuation sur une année sont des données d'une forte utilité. Il existe plusieurs façons de classification des atténuations en tenant compte de leur durée. Un moyen d'analyse et d'exploitation de cette donnée consiste à calculer le nombre d'occurrences d'une atténuation dépassant une certaine amplitude seuil et durant au delà d'une certaine durée. Ces calculs peuvent êtres établis suite à des mesures durant une année par exemple. On peut aussi calculer la durée totale sur une année moyenne pendant laquelle une atténuation dépasse une valeur seuil.

Les données et les informations relatives à la durée des atténuations ont un grand intérêt, notamment pour l'opérateur. Ces données lui permettent une approximation de la capacité et de la disponibilité de son système. Elles offrent aussi la possibilité d'une meilleure gestion des ressources disponibles en spectre et en puissance. En particulier par l'adoption éventuelle d'une technique de compensation. Le tableau I.2 montre la durée d'une occurrence d'une atténuation dépassant 10 dB en fonction du pourcentage considéré d'une année moyenne. Les résultats sont relatifs à trois fréquences différentes.

On peut lire sur le tableau que pendant 10% de la durée totale d'une atténuation dépassant

% de la durée totale	12.5 GHz	20 GHz	30 GHz
50 %	2 *s*	3.5 *s*	9 *s*
10 %	100 *s*	150 *s*	250 *s*
1 %	700 *s*	1000 *s*	1500 *s*

Tableau IV. 2: Durée d'une atténuation dépassant 10 dB à trois fréquences différentes.

10 dB, une occurrence dure plus de 250 secondes soit plus de 4 minutes. Il est évident que si aucune mesure de lutte contre ce type d'atténuation n'a été adoptée, la disponibilité du système sera fortement affectée.

Rapport-Gratuit.com

IV.2.3 Différentes méthodes de compensation

Dans le cas d'une chaîne de communication numérique orientée vers des applications multimédia, une transmission sans erreurs est requise afin d'assurer une bonne reconstitution du signal utile. Les raisons résident, entre autre, dans le fait que les données transmises sont fortement compressées et donc très sensibles aux erreurs de transmission.
D'une manière générale, et à bande occupée constante, le taux d'erreur binaire est directement lié au rapport signal sur bruit par bit utile au niveau de la réception. Une baisse du niveau du signal peut, dans certains cas, causer la rupture de la communication.

Dans des telles circonstances, une compensation de l'atténuation du niveau du signal peut s'avérer indispensable pour assurer une transmission fiable. Les techniques de compensation peuvent se diviser en deux catégories. La première consiste à la modification d'un ou plusieurs éléments de la chaîne de transmission, il s'agit alors d'utiliser d'autres ressources qui vont favoriser de meilleures conditions de propagation. Ces méthodes sont dites techniques de diversités. La seconde solution consiste à modifier les paramètres de chaîne de transmission telle que la puissance émise, le rendement du code mais aussi la constellation de la forme d'onde. Cette technique ne nécessite aucun élément extérieur à la chaîne de départ.

Dans ce paragraphe, on donne un panorama de l'état de l'art des différentes techniques de lutte contre les affaiblissements susceptibles d'être adoptées par des systèmes de communication par satellite en bande Ka.

IV.2.3.1 Contrôle de puissance

Son principe consiste à adapter le niveau de la puissance émise par l''emetteur aux conditions de propagation. Dans le cas d'une transmission en ciel clair le contrôle de puissance permet de transmettre la puissance nécessaire minimale pour assurer la qualité de service requise. Ce fait évite la transmission d'une marge de puissance supplémentaire pour lutter contre les atténuations éventuelles. Dans le cas d'une dégradation du signal suite à des intempéries, le contrôle de puissance permet de compenser les pertes en augmentant le niveau de la puissance transmise. Dans un contexte avec un accès multiple il est fort important d'avoir un même niveau de puissance pour toutes les porteuses.

Cette condition permet non seulement une exploitation optimale des ressources en spectre en réduisant les interférences entres différentes porteuses mais aussi d'éviter l'impossibilité de détecter les porteuses qui ont un niveau relatif très faible. En plus, disposer d'un même niveau de signal pour toutes les porteuses signifie une dynamique moins importante du signal multiplex et donc une meilleure résistance face aux non-linéarités des amplificateurs bord.
Rappelons que dans le cas d'un satellite transparent le contrôle de puissance intervient sur le bilan de liaison total, alors que dans les cas d'un satellite avec régénération bord il n'y a qu'une seule voie qui est concernée.

L'avantage de la technique de contrôle de puissance est de ne pas exiger une très grande complexité supplémentaire au niveau du récepteur. Toutefois, l'activation d'un tel processus pourra nécessiter des éléments externes tels qu'une station centrale qui fournit les informations relatives au canal de propagation et qui donne l'autorisation d'activer éventuellement un processus de contrôle de puissance.
Il est évident que la technique de contrôle de puissance ne suffira pas pour lutter contre les atténuations du canal satellite en bande Ka.

IV.2.3.2 Techniques de diversité

La modification de l'architecture de la chaîne de transmission peut constituer une solution intéressante pour éviter la dégradation du rapport signal sur bruit suites à des perturbations météorologiques. Il s'agit du déploiement des ressources ou d'éléments externes qui profitent de conditions de propagation plus favorables. Il existe quatre techniques de diversité :

- **Diversité du site** : Cette solution consiste globalement à diriger le signal à transmettre vers une autre station distante en cas où une station donnée souffre de mauvaises conditions de propagation. La seconde station transmettra alors le même signal vers le satellite. Les deux stations sont en général distantes de quelques dizaines de Kilomètres l'une de l'autre. La principale motivation de cette technique s'explique par le fait que les fortes précipitations ont une étendue géographique de l'ordre d'un dizaine de kilomètre de diamètre. On montre, en plus, que les fortes précipitations situées dans des zones voisines sont statistiquement indépendantes.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Ces propriétés font que cette technique peut améliorer considérablement la disponibilité du système.

La technique de diversité du site souffre de quelques inconvénients majeurs, elle exige, par exemple, l'existence d'un réseau terrestre pour assurer la connexion entre les différentes stations. Cette dépendance vis-à-vis de la liaison terrestre fait perdre au système satellitaire un atout majeurs celui de s'affranchir de toute infrastructure terrestre existante. Cette solution nécessite aussi des coûts supplémentaires qui la rendent moins attractive d'un point de vue économique. Elle reste réservée aux utilisateurs professionnels tels que les opérateurs de diffusion par satellite.

- **Diversité en fréquence** : Cette technique consiste à changer la fréquence d'émission lorsque le signal transmis à la fréquence active subie une atténuation. Les conditions de propagation sont alors supposées être plus favorables en opérant à la nouvelle fréquence.

Dans notre contexte d'une liaison terminal vers satellite en bande Ka, les fréquences disponibles aux utilisateurs couvrent un intervalle du spectre relativement limité.

Par conséquent, toutes les fréquences sont affectées d'une manière quasi-identique.

Il faut aussi mentionner que cette alternative nécessite un processus dynamique relativement complexe pour la gestion des ressources spectrales. Cette technique nécessite aussi une complexité supplémentaire au niveau des émetteurs et des récepteurs.

- **Diversité satellite** : Dans ce cas il s'agit de transmettre le signal vers un autre satellite lorsque la liaison avec un satellite donné est affectée à cause d'une forte atténuation mais aussi dans le cas où cette liaison n'est plus disponible. Cette technique peut constituer une solution attractive dans le cas d'une communication avec un réseau de plusieurs satellites en orbite basse (Global Star, Iridium). Par contre, dans le cas d'une communication avec des satellites géostationnaires, les perturbations atmosphériques affectent en général la liaison avec l'ensemble de tous les satellites. La diversité satellite nécessite aussi un processus de pointage assez précis de l'antenne utilisateur pour permettre l'orientation du signal vers le nouveau satellite.

- **Diversité dans le temps** : Cette technique ne permet pas vraiment de lutter contre les affaiblissements du canal. Elle consiste simplement à transmettre ou recevoir les données lorsque les conditions de propagation sont favorables. Cette solution est adoptées par des systèmes offrant des services dits ”push” qui consistent à télécharger un certain contenu et de le consulter par la suite sans avoir besoin d’une connexion avec des réseaux externes. Cette technique est incompatible avec des applications où l’utilisateur doit disposer d’une liaison bidirectionnelle permanente avec le réseau telles que les applications Internet, les jeux en lignes et la Voix sur IP (VoIP).

Ce panorama des différentes FMT nous permet de conclure que les solutions proposées par ces techniques ne sont pas parfaitement adaptées à notre contexte de liaison montante pour la transmission des applications multimédia par satellite en bande Ka. Les raisons sont à la fois techniques liées aux exigences du système, mais aussi économiques dues à un coût de déploiement assez élevé.

Pour être compétitif avec les systèmes terrestres en terme de qualité de service et d’un point de vue économique, les systèmes satellitaires en bande Ka doivent adopter des solutions plus efficaces pour lutter contre les atténuations. Les techniques de compensation basées sur la conception d’une forme d’onde adaptative deviennent de plus en plus attractives grâce notamment aux avancées réalisées dans le domaine de codage canal et celui d’intégration des circuits. Dans cette alternative il s’agit, de modifier dynamiquement les paramètres de la forme d’onde afin adapter ses performances en spectre et en puissance aux différentes conditions de propagation. Elle ne nécessite pas de ressources et des infrastructures externes, néanmoins, elle requiert une complexité supplémentaire au niveau de l’´emetteur et du récepteur. Cette technique est détaillée dans le paragraphe qui suit.

IV.2.4 Forme d’onde adaptative

La forme d’onde décrit toutes les caractéristiques du signal depuis la séquence binaire jusqu’au signal analogique susceptible d’être transmis sur le canal. Elle comprend, entre autre, le débit utile d’information, le codage canal, le type de la modulation ainsi que les filtres de mise en forme. Les performances en spectre et en puissance de la chaîne de communication

dépendent directement des différents paramètres de la forme d'onde. Une forme d'onde adaptative consiste à varier un ou plusieurs de ses paramètres afin de s'adapter aux conditions de transmission et notamment au rapport signal sur bruit SNR. L'existence d'un compromis spectre-puissance suppose que l'amélioration des performances en puissance (respectivement efficacité spectrale) induit nécessairement une dégradation de l'efficacité spectrale (respectivement performances en puissance).

Dans cette section, on étudie l'effet de chacun des paramètres sur les performances de la forme d'onde. Le gain obtenu est illustré à travers quelques illustrations par certains systèmes existants.

IV.2.4.1 Variation du débit utile

Les performances en puissance d'une forme d'onde sont fortement liées à l'énergie transmise par bit utile E_b. Un moyen d'augmenter cette énergie consiste à considérer des bits avec une durée plus longue tout en gardant un même niveau de puissance transmise.

La chaîne de transmission est ainsi plus fiable suite à l'augmentation de l'énergie moyenne par bit utile. Le nouveau signal transmis correspond à une nouvelle séquence binaire qui occupe une bande spectrale moins large par rapport au signal de départ car la durée d'un bit est plus longue. Une durée de bit plus longue signifie un débit binaire moins important.

Cependant, l'efficacité spectrale de la forme d'onde reste inchangée. La réduction du débit utile signifie que la transmission d'une même quantité d'information nécessite plus de temps et plus d'énergie, c'est bien le prix à payer pour assurer la transmission avec le taux d'erreur binaire requis.

En pratique, et pour éviter une allocation dynamique des ressources spectrales, on cherche souvent à avoir une bande allouée constante par utilisateur. Il est aussi préférable de grader un débit symbole constant ce qui facilite les tâches de synchronisation et de timing.

Une solution qui permet d'assurer ces deux conditions quelque soit le débit utile d'information consiste multiplier la séquence utile par une séquence pseudo-aléatoire (PR) dont le débit est constant ce qui permet d´etaler le spectre du signal sur toute la bande

allouée. Au niveau de la réception, on multiplie la séquence reçue par la même séquence d'étalement afin de retrouver la séquence de base.

IV.2.4.2 Modification du taux de décodage

Le codage canal, permet d'améliorer les performances en puissance de la forme d'onde. L'efficacité du code dépend de plusieurs paramètres, tels que son rendement, noté Rc et sa longueur de contrainte. La distribution des erreurs dans le canal est aussi une donnée importante qui influe les performances d'un code canal. Le type du code (Code en bloc, code convolutif) doit être choisi en fonction de cette distribution qui est fonction de la nature du canal équivalent.

Les chaînes de communications qui requièrent une transmission sans erreurs, adoptent souvent des codes concaténés. Ces schémas de codage sont assez performantes, en particulier celles qui utilisent des processus de décodage itératifs (Turbo Codes). La modification du taux de codage est une solution efficace qui permet de modifier les performances en spectre et en puissance de la forme d'onde. La technique de poinçonnage permet de modifier le taux de codage d'une façon quasi optimale tout en nécessitant une complexité relativement faible. A la suite d'une dégradation du rapport signal sur bruit, la diminution du taux de codage améliore les performances en puissance notamment en augmentant l'énergie par bit E_b ainsi que la distance minimale du code, le gain est ainsi double. En générale, ce gain est assez faible à fort TEB, il croît ensuite à fur et à mesure que le TEB décroît avant de converger vers une valeur asymptotique.

IV.2.4.3 Modulation adaptative

Il existe plusieurs schémas de modulations numériques avec des performances assez variables. Concernant les modulations linéaires classiques, les schémas d'ordre élevé telles que les modulations M-QAM, et M-PSK, $M > 4$, offrent une haute efficacité spectrale.
Par contre, leurs performances en puissance sont souvent médiocres, ces modulations sont utilisées pour les transmissions haut débit à fort rapport signal sur bruit. Par exemple, les modulations 64-QAM sont utilisées dans la norme DVB-C pour la transmission de la vidéo numérique via le câble. Les progrès réalisés entre autre dans le domaine de codage canal,

rendent envisageable l'adoption des modulations d'ordre élevé dans les communications spatiales.

Souvent, les signaux associés à des modulations d'ordre supérieur ont une forte fluctuation d'enveloppe. Ce fait dégrade l'efficacité de ces formes d'onde lors de la propagation dans un canal non linéaire. Les amplificateurs non linéaires peuvent aussi dégrader la qualité de la chaîne de transmission. Des techniques de pré-distorsion peuvent être appliquées dans le but de limiter les effets des non-linéarités.

Les modulations numériques d'ordre moins élevé comme la QPSK ou la BPSK sont utilisées lorsque de bonnes performances en puissance sont requises, elles offrent aussi une meilleure résistance face aux non-linéarités grâce à des signaux de faible fluctuation d'enveloppe. Ces modulations sont aussi caractérisées par leur faible complexité. Tous ces faits justifient leur adoption par la majorité des systèmes transmissions satellitaires existants.
Un exemple de standard qui a opté pour une forme avec une constellation adaptative avec des modulations d'ordre élevé est le DVB-S2. Cette norme est détaillée dans le paragraphe qui suit.

Exemple3 : Le standard DVB-S2

Le DVB-S2 est le standard le plus récent en matière de transmission du contenu multimédia par satellite. Il a été conçu, entre autre, pour remplacer la norme existante de diffusion de la vidéo numérique par satellite, le DVB-S. Le nouveau standard couvrira aussi une gamme de services bien plus étendue autre que la diffusion telle que les services interactifs avec une voie retour via satellite. Dans ce cas et pour les utilisateurs grand public, la voie retour (Terminal vers Satellite) est assurée grâce à un autre standard tel que le DVB-RCS. La norme DVB-S2 permet aussi de réaliser des communications point-à-point ou point-à-multi-point lors des transmissions occasionnelles de certains événements.

La diversité des schémas de codage canal et de modulation permet au standard DVBS2 de s'adapter à un large champ d'applications dont les exigences sont différentes. Dans le cas des services de diffusion de la vidéo et de la vidéo haute définition, la nouvelle norme permet un gain de 25% et 30% en efficacité spectrale par rapport aux standards existants équivalents.

L'adoption d'une forme d'onde adaptative dans le cas d'une transmission point-à-point interactive est bien plus intéressante. Les échanges des informations relatives au canal de propagation permettent de sélectionner la constellation et le taux de codage les plus appropriés aux conditions de propagation. Cette solution améliore la capacité d'un transpondeur bord d'un facteur qui varie entre 100% et 200%. En plus du gain obtenu en capacité, la liaison adaptative permet de garantir une meilleure disponibilité du système. L'´echange des informations relatives aux conditions de propagation peut s'effectuer soit via le satellite même ou bien à travers une infrastructure terrestre [9].

IV.3 Etude des performances du CDMA et de l'OFDM pour un canal en bande Ka

Pour voir l'influence des atténuations météorologiques de la Bande Ka, travaillant entre 20GHz et 30GHz, sur le signal transmis, nous allons envoyer une quantité d'informations à travers le canal,

Nous allons modéliser le canal de transmission par un canal AWGN, mais en ajoutant des facteurs multiplicatifs des différents affaiblissements causés par les gaz de l'atmosphère et la pluie :

- **Affaiblissements causés par les gaz de l'atmosphère**

L'affaiblissement causé par les gaz est dû essentiellement à l'absorption moléculaire par l'oxygène et la vapeur d'eau; l'oxygène a une raie d'absorption à 118,74GHz et une série de raies entre 50GHz et 70GHz tandis que la vapeur d'eau présente trois raies d'absorption aux fréquences de 22,2 GHZ, 183,3GHz et 325,4GHz [GERA2003].

Pour les trajets terre-espace on suppose une décroissance exponentielle de la densité avec l'altitude et l'on fait intervenir une hauteur équivalente h0 pour l'air sec et hw pour la vapeur d'eau, exprimés en Km, tels que :

Ho=6Km pour f<57GHz

Avec Hw0=1,6Km par temps dégagé ou 2,1Km par temps de pluie.

Pour déterminer l'atténuation sur un trajet oblique, dont l'angle de site est θ, à partir d'une station située à une altitude hs, cette dernière expression devient :

$$A_a = \frac{\gamma_0 . h_0 . \exp\left(-\frac{h_s}{h_0}\right) + \gamma_w . h_w}{\sin\theta} \qquad \text{(IV.1)}$$

- **Atténuation par la pluie**

La pluie cause une absorption et une diffusion qui donnent lieu à un affaiblissement qui dépend de l'intensité de la précipitation et de la fréquence.

La relation entre l'affaiblissement linéique γ_R(dB/Km) et l'intensité de pluie R(mm/h) donnée par l'UIT-R P.838, est de la forme [GERA2003] :

$$\gamma_R = a.R^b \qquad (IV.2)$$

F(GHz)	a	b
1	0.0000387	0.912
10	0.0101	1.276
20	0.0751	1.099
30	0.187	1.021
40	0.350	0.939

Tableau IV. 3: Paramètres a et b pour différentes fréquences.

Le tableau ci-dessus nous donne les valeurs de a et b pour certaines fréquences :

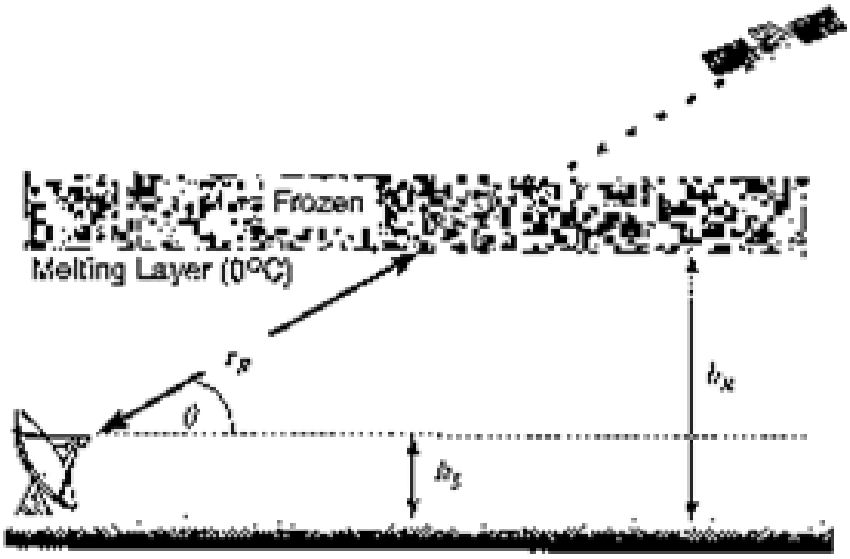


Figure IV. 4: Géométrie d'n trajet Terre-Espace

h_R est la hauteur effective de la pluie

$$h_R = \begin{cases} 5 - 0.075(\phi - 23) & pour \quad \phi > 23° & Nord \\ 5 & pour \quad 0° < \phi < 23° & Nord \\ 5 & pour \quad 0° > \phi > -21° & Sud \\ 5 + 0.1(\phi + 21) & pour \quad -71° \le \phi < -21° & Sud \\ 0 & pour \quad \phi < 71° & Sud \end{cases}$$

ϕ est la latitude de la station au sol (°),

h_s est l'altitude de la station au sol (Km),

La longueur du trajet oblique en dessous de la hauteur effective de pluie est donnée par (ITU 618) :

$$r_R = \frac{h_R - h_s}{\sin\theta} \qquad (IV.3)$$

Le paramètre préconisé par l'ITU est l'atténuation $L_{0.01}$ (dB) non dépassée pendant 0.01% du temps. Elle s'exprime en terme de $R_{0.01}$ qui est le taux de chute de pluie dépassé pendant 0.01% du temps (d'une année) **[37]**.

$$L_{0.01} = aR_{0.01}^{b} s_{0.01} r_R \qquad (IV.4)$$

Et la relation suivante donne $s_{0.01}$:

$$s_{0.01} = \frac{1}{1 + \frac{r_R \sin\vartheta}{35\exp(-0.015R_{0.01})}} \qquad (IV.5)$$

Rapport-Gratuit.com

IV.3.1 Influence sur les performances du CDMA

Les performances d'un système de transmission dépendent des caractéristiques du canal.

Les principales caractéristiques d'un canal satellite en bande Ka sont les atténuations atmosphériques, que nous devons introduire dans notre programme de simulation.

Pour cela nous choisissons une fréquence de 29,7GHz qui est incluse dans l'intervalle [20 ,30]GHz, une élévation égale a 10°, une latitude de 70°, une concentration de vapeur d'eau de 20g/m^3.

L'évaluation s'un système de communication par la qualité de transmission, dans cadre de notre travail nous nous sommes intéressés a deux grandeurs permettant d'évaluer notre système qui sont :

- **Le taux d'erreur binaire (TEB)** permettant de mesurer la fréquence à laquelle les erreurs se produisent il correspond au rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre total des bits émis.
- **Le rapport signal sur bruit (RSB)** est généralement adopté en transmission numérique comme paramètre d'entrée du récepteur pour lequel on va évaluer la qualité du message numérique restitué il permet ainsi de qualifier la sensibilité du récepteur aux perturbations subies par le signal lors du passage dans le canal. Le RSB est déterminé par le rapport E_b/N_0 (SNR) avec N_0 densité spectrale de puissance du bruit blanc en entrée du récepteur et E_b énergie moyenne par bit du signal modulé.

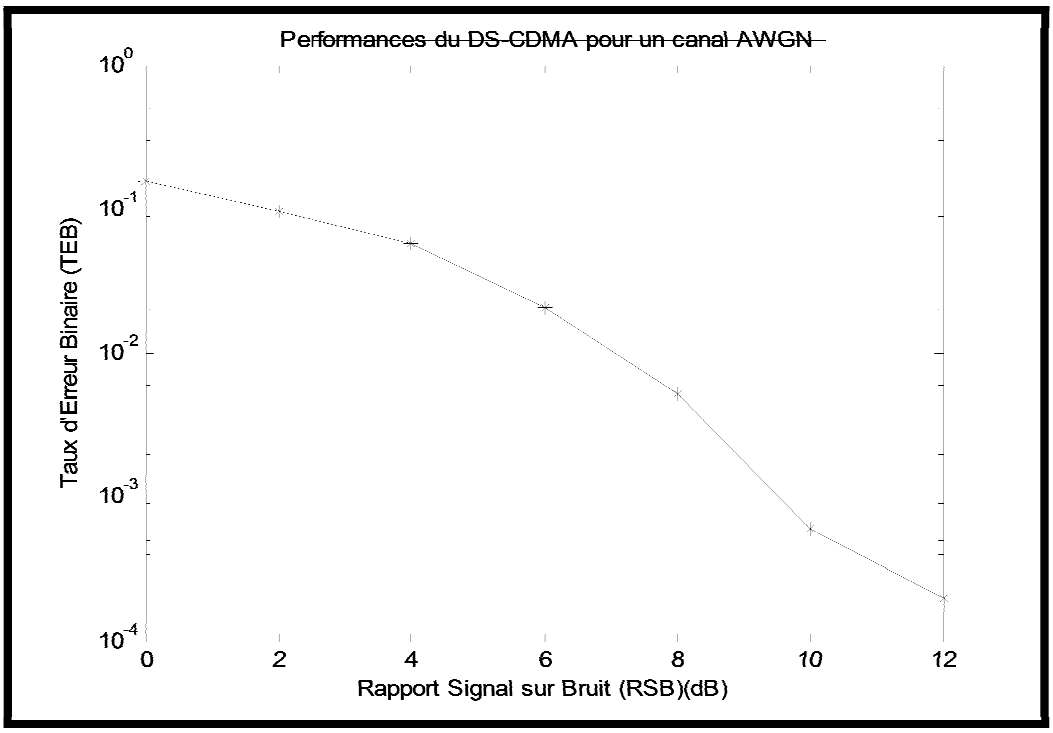


Figure IV. 5: Probabilité d'erreur pour un canal AWGN

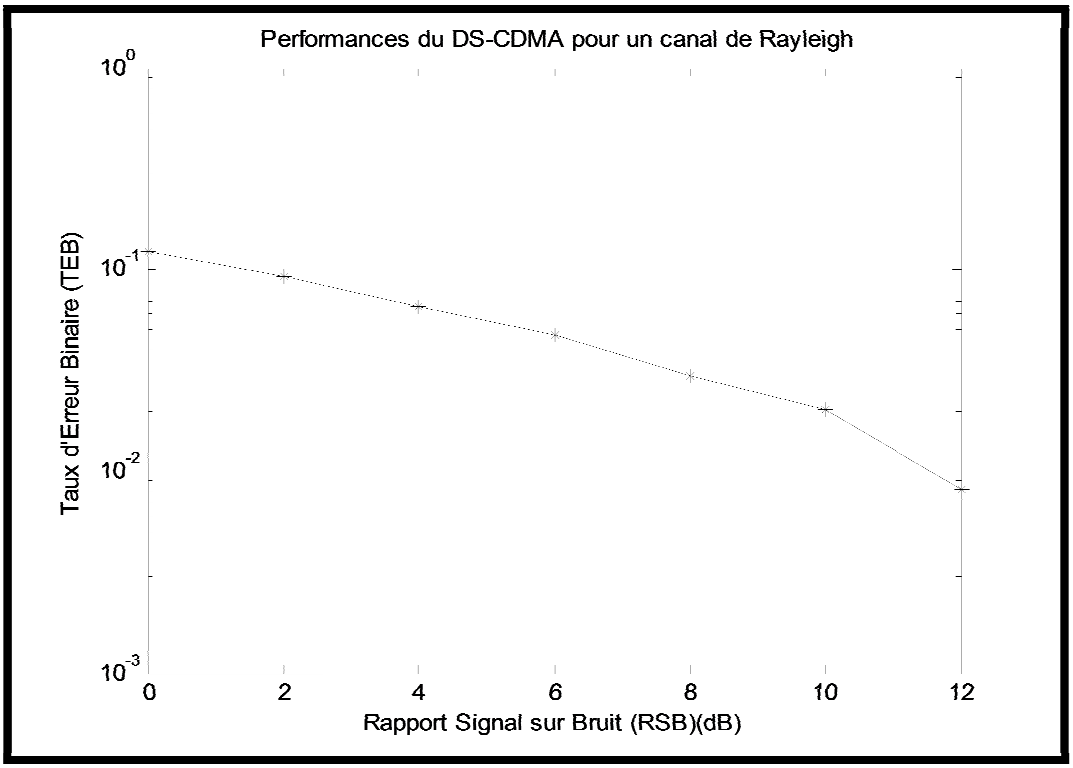


Figure IV. 6: Probabilité d'erreur pour un canal de Rayleigh

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

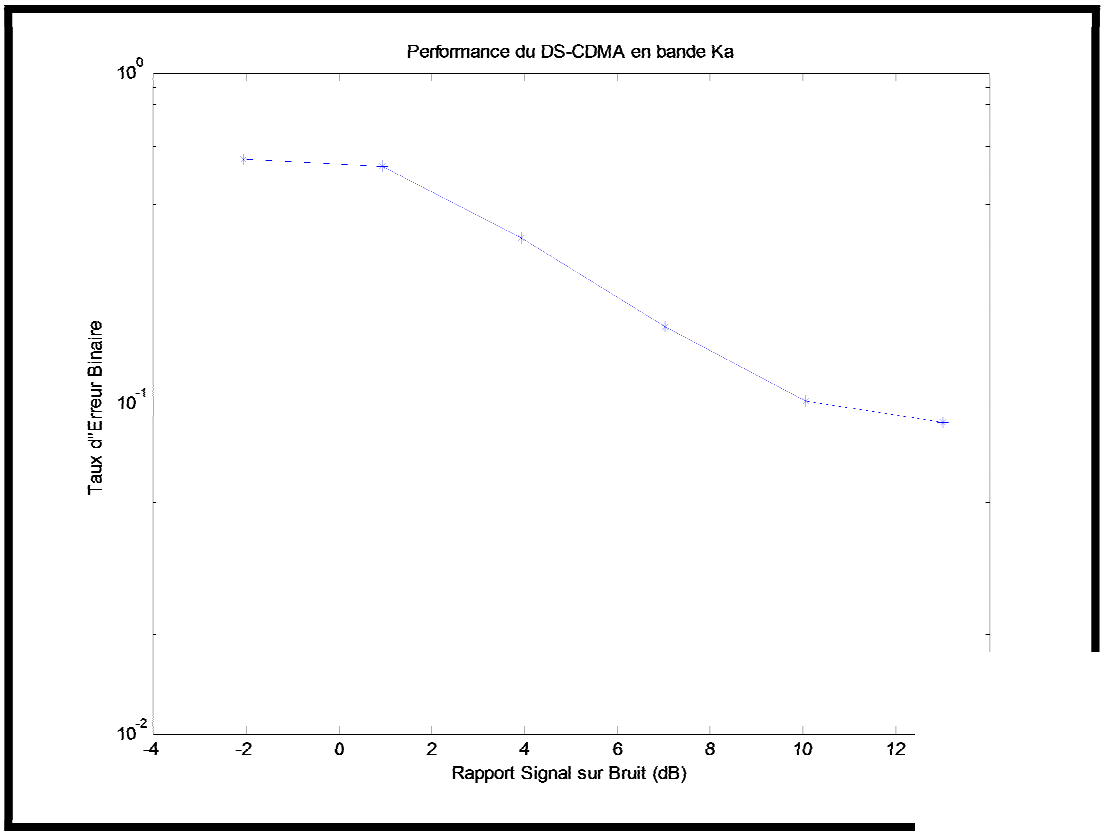


Figure IV. 7: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka

Nous avons pour un SNR= 8dB :

BER=10^{-23} pour un canal AWGN

BER=10^{-18} pour un canal de Rayleigh

BER=10^{-09} pour un canal en bande Ka

Pour un canal de Rayleigh ou un canal en bande Ka les performances du système se trouve dégradées comparées celles d'un canal AWGN à cause de la forte influence du canal.

Le signal dans un canal de Rayleigh est affecté par les évanouissements en plus du bruit blanc gaussien pour les faibles SNR ce qui nous donne un BER élevé. Ceci diminue avec l'augmentation du SNR suivant le paramètre de Rayleigh.

Dans un canal en bande Ka le signal est fortement perturbé par les atténuations atmosphériques en plus de l'effet du trajets-multiples.

IV.3.2 Performances de l'OFDM

- **Paramètres du système**

Comme déjà fait avec le CDMA, nous introduisons les paramètres d'atténuations dans notre programme de simulation nous obtenons un canal en bande Ka.

A la réception nous aurons :

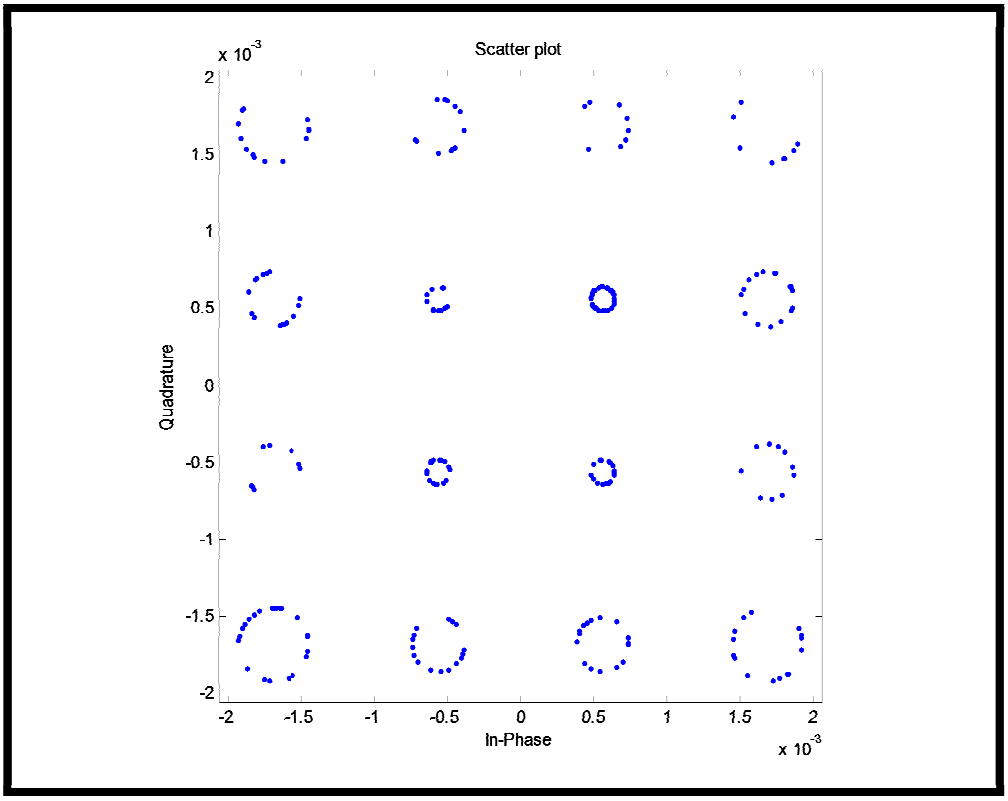


Figure IV. 8: Constellation du signal reçu avant l'estimation du canal

Nous pouvons voir sur la figure ci-dessus l'influence des affaiblissements atmosphériques d'un coté et les évanouissements dus aux multi-trajets. Une estimation du canal est nécessaire pour pouvoir reconstruire le signal envoyé.

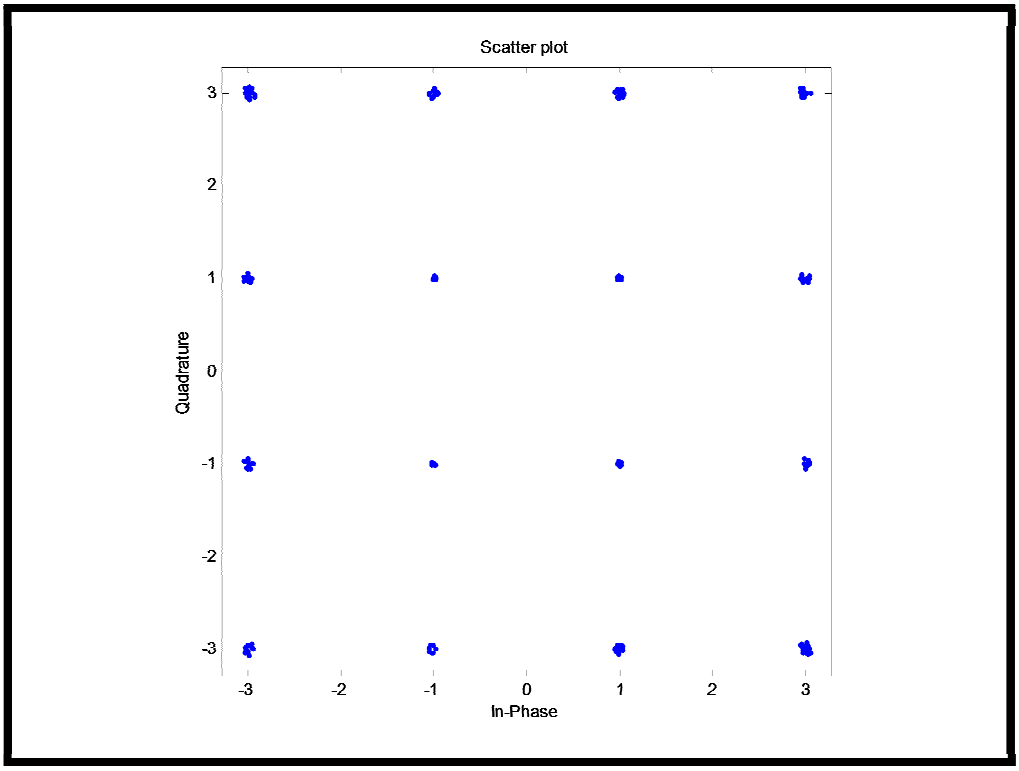


Figure IV. 9: Constellation du signal en réception après estimation du canal

Dans cette partie, nous étudions les performances de l'OFDM pour différents canaux de transmission, dans le premier cas nous avons la présence d'un bruit gaussien et l'effet multi-trajets, dans le deuxième cas nous avons un canal en bande Ka (présence des affaiblissements atmosphériques) et pour différents nombres de sous porteuses. Nous obtenons les résultats suivants :

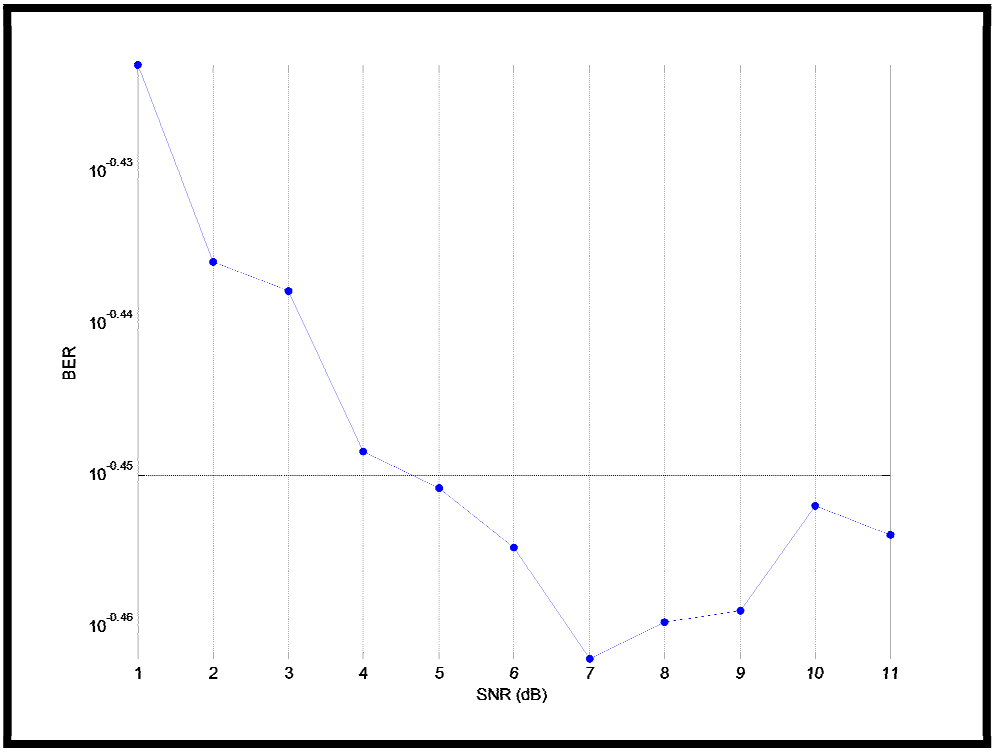


Figure IV. 10: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka, N=128 sous porteuses

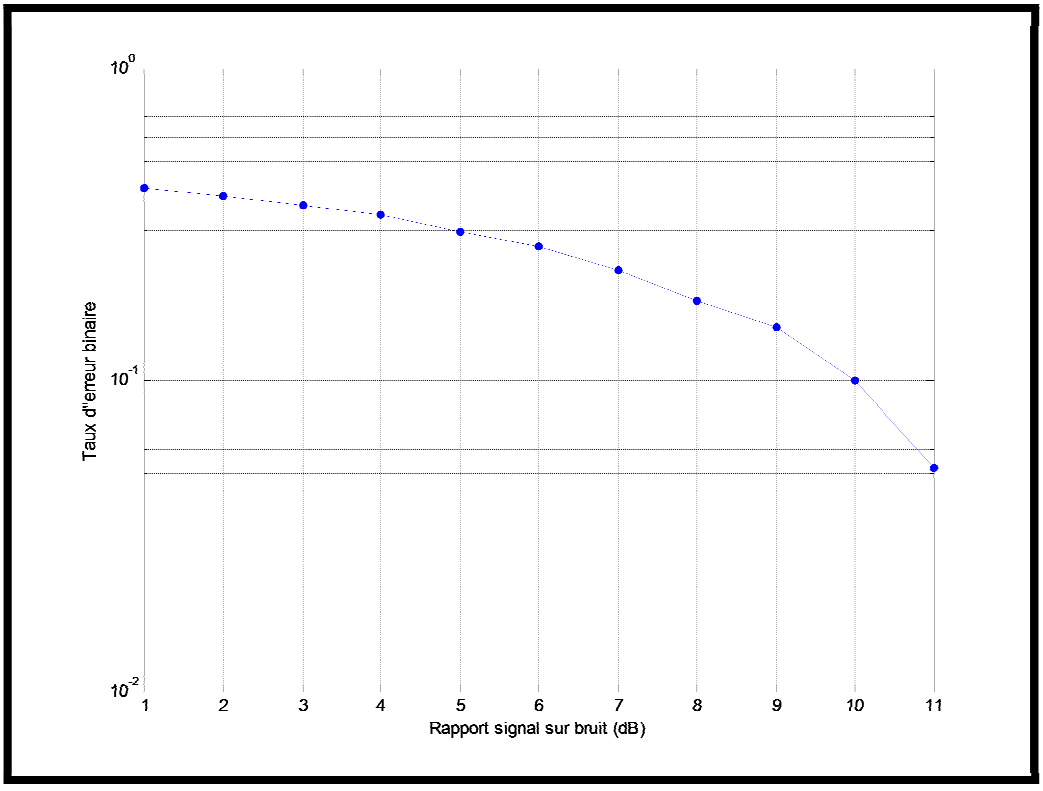


Figure IV. 11: Probabilité d'erreur pour un canal multi-trajets, N=128

Dans ce cas de figure nous av

D'après les deux figures
l'augmentation dus SNR, mai
Nous avons par exemple pour
BER=$10^{-0.45}$ pour un canal en
BER= $10^{-0.7}$ pour un canal de

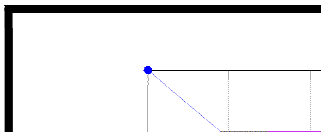


Figure IV. 12: Pr

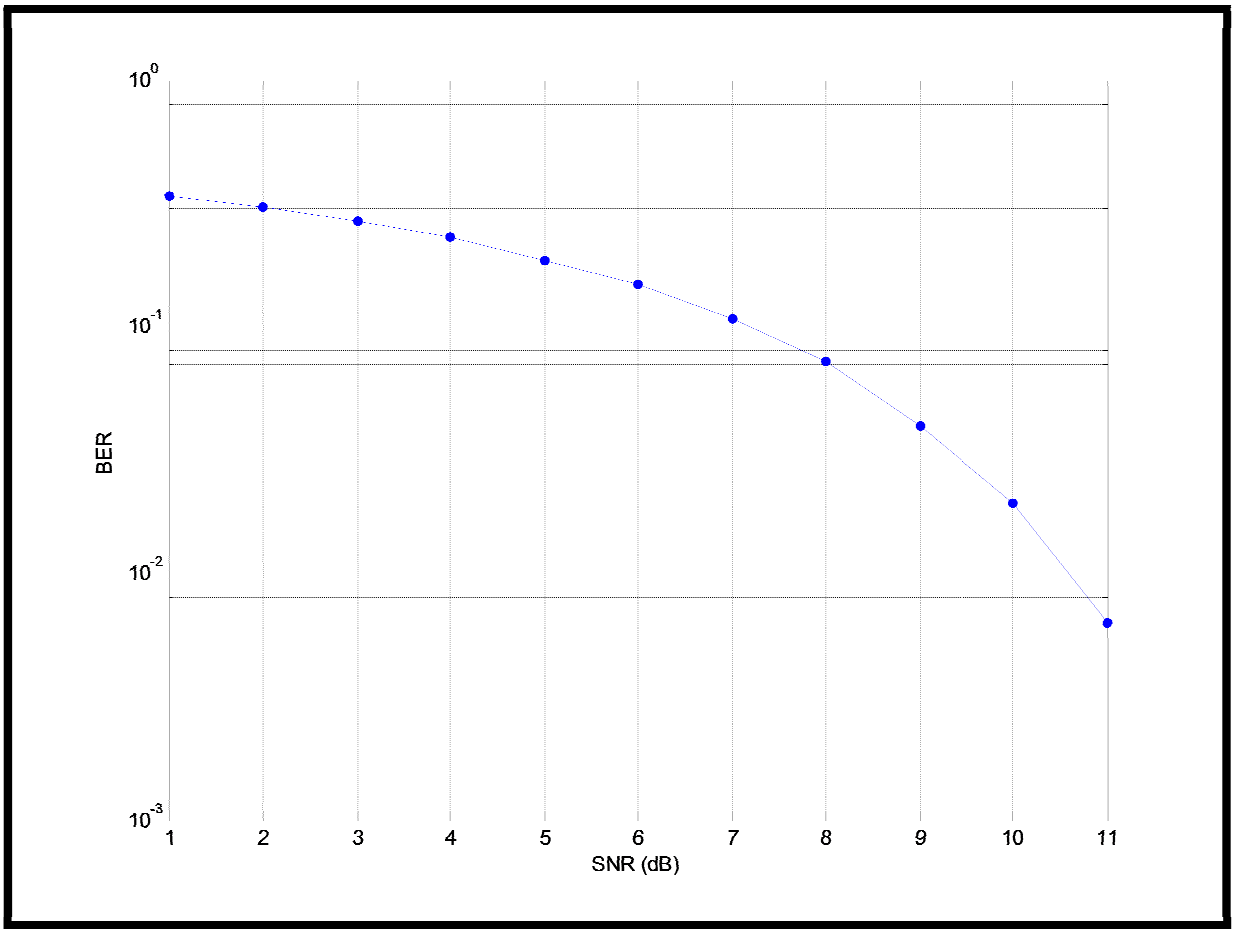


Figure IV. 13: Probabilité d'erreur pour un canal multi-trajets, N=256

Pour 256 sous porteuses nous remarquons toujours cette diminution du BER avec l'augmentation du SNR.

Pour SNR=5 dB, nous avons :

BER=$10^{-0.9}$ (dans canal multi-trajets)

BER=10-$^{0.5}$ (dans un canal en bande Ka)

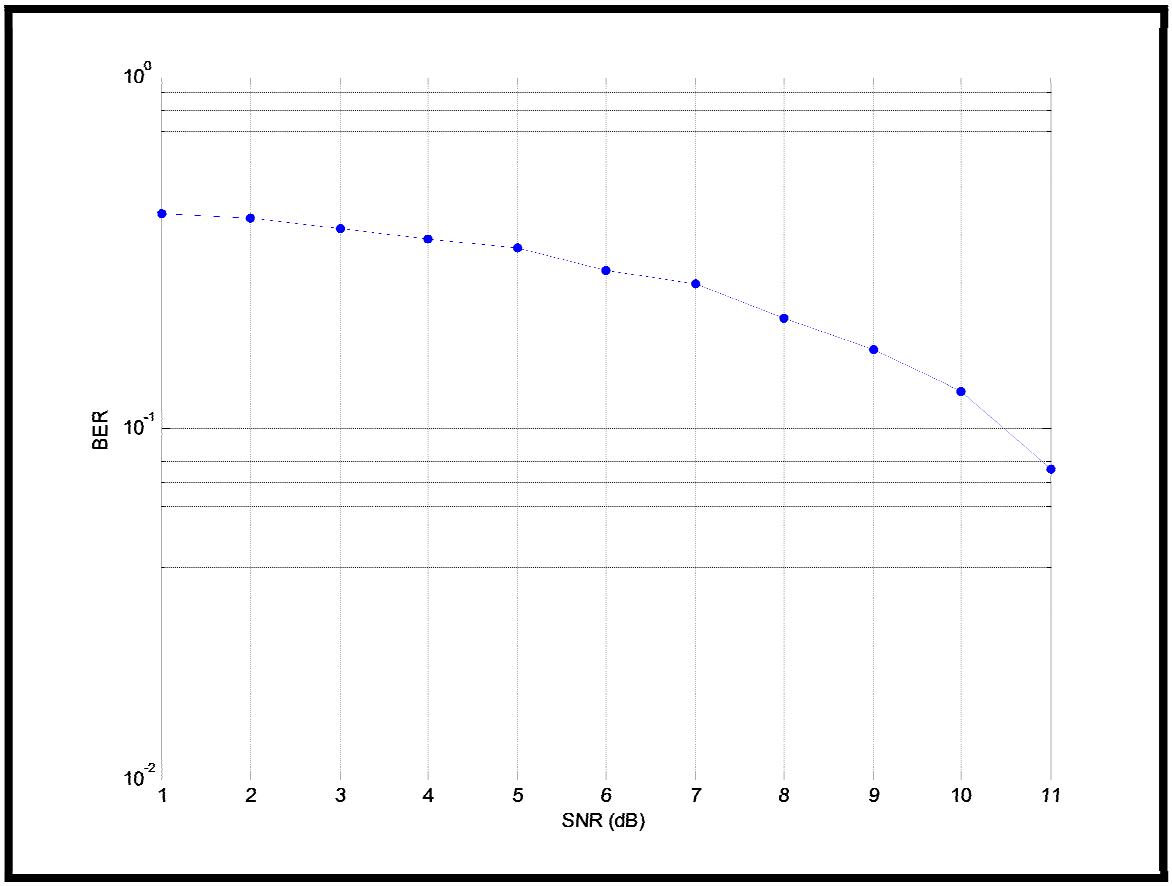


Figure IV. 14: Probabilité d'erreur pour un canal en bande Ka, N=512

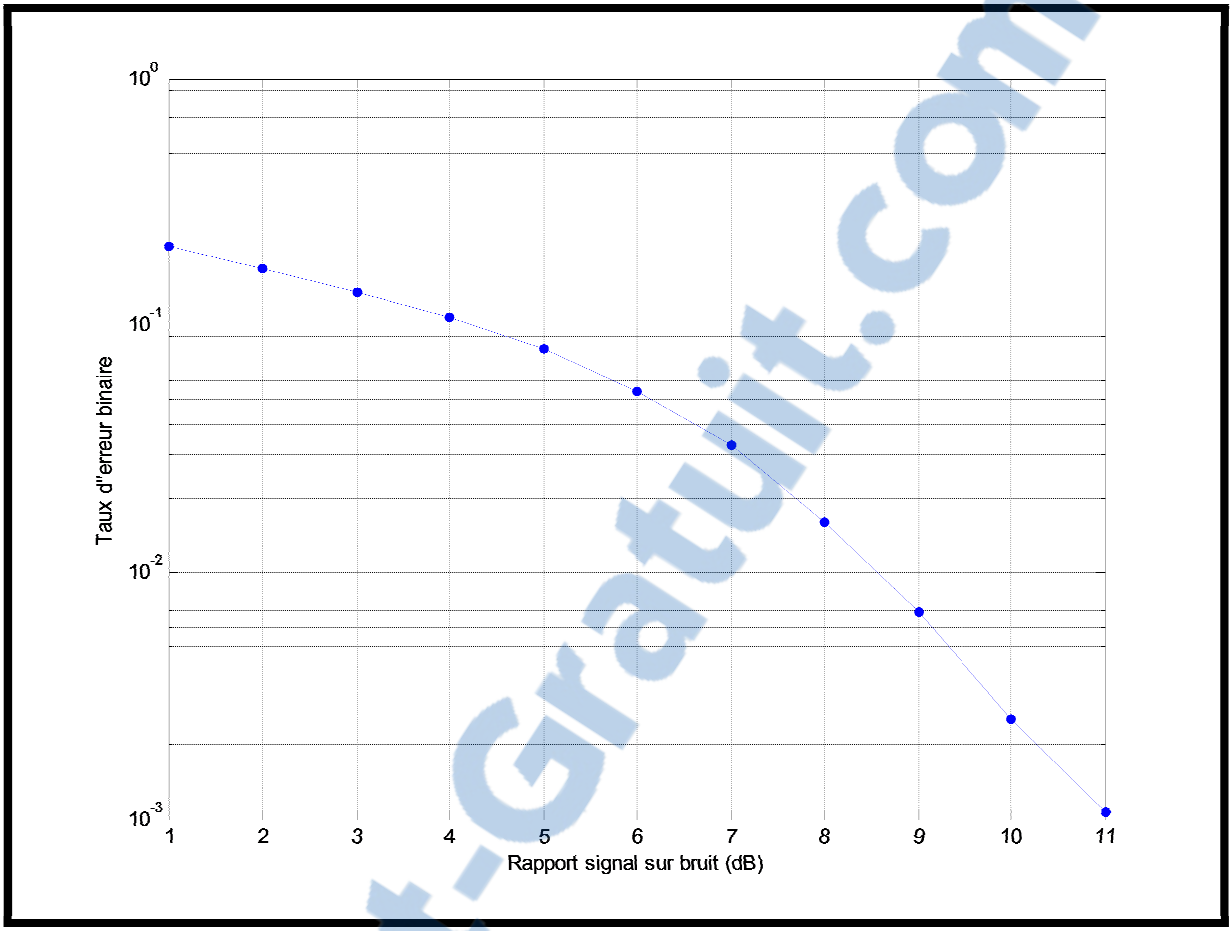


Figure IV. 15: Probabilité d'erreur pour un canal multi-trajets, N=512

Pour ce dernier cas de figure (N=256 sous porteuses) nous avons :

Pour SNR=5dB ;

TEB=$10^{-0.7}$ pour un canal en bande Ka

TEB= $10^{-1.3}$ pour un canal de Rayleigh

Nous remarquons que le BER diminue avec l'augmentation du SNR pour les deux types de canaux. Mais ce dernier est beaucoup plus élevé pour le canal en bande Ka.

D'un autre coté nous avons le taux d'erreur binaire qui diminue avec l'augmentation du nombre de sous porteuses, nous obtenons de meilleurs résultats avec 512 sous porteuses qu'avec 128 sous porteuses.

Rapport-Gratuit.com

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les performances des deux méthodes CDMA et OFDM pour une transmission par satellite.

Dans un premier temps nous avons donné les principales notions relatives aux systèmes de transmission par satellite en bande Ka. Nous avons ensuite introduit la technique d'accès multiple CDMA permettant à plusieurs utilisateurs de communiquer dans le même environnement, et la modulation multi-porteuses OFDM offrant une grande efficacité spectrale dans le contexte d'une transmission en bande Ka. A la fin une étude des performances des deux méthodes CDMA et OFDM a été faite.

Nous avons constaté d'après les simulations que le signal est dégradé par rapport aux autres types de canaux de propagation pour les deux systèmes OFDM et CDMA de manière presque identique. Ce qui nécessite le recours à des procédés de compensations et d'adaptation de la forme d'onde à l'environnement de propagation.

Conclusion générale

Les progrès technologiques ont permis l'exploitation de la bande Ka pour une transmission en voie montante à 30 GHz et en voie descendante à 20 GHz. L'utilisation de la bande Ka présente des avantages par rapport aux bandes de fréquences inférieures. Elle permet une bande passante plus large et donc un débit à transmettre plus important. Elle permet aussi de réduire les dimensions du terminal utilisateur ainsi que celles de l'antenne. L'exploitation de cette dernière est accompagnée de certains handicaps essentiellement liés aux conditions de propagation plus sévères. En comparaison avec la bande Ku, le signal reçu en bande Ka peut subir de fortes atténuations suite aux perturbations météorologiques. Par exemple, en bande Ka, l'atténuation peut dépasser une dizaine de dB, suite à de fortes précipitations.

Le but de ce projet était d'étudier l'influence des phénomènes d'atténuations dans la bande Ka sur les performances de transmission pour des deux technologies CDMA et OFDM.

CDMA (code division multiple Access) et OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) sont les deux techniques les plus utilisées actuellement dans le domaine des communications mobiles modernes.

Nous avons constaté d'après les simulations que nous avons réalisé que le signal est fortement dégradé par rapport aux autres types de canaux de propagation pour les deux systèmes OFDM et CDMA.

Afin de proposer une qualité de service compétitive avec les systèmes terrestres, surtout par l'utilisation des techniques avancées telle que le CDMA et l'OFDM, les futurs systèmes de communication par satellite en bande Ka doivent franchir certains handicaps. Les fortes atténuations du canal, causées principalement par les précipitations, constituent un défi qu'il va falloir relever. Même si plusieurs techniques de compensations ont été proposées afin de lutter contre les dégradations du canal, l'adoption d'une forme d'onde adaptative est nécessaire pour une exploitation optimale des ressources du canal.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

En conséquence nous projetons de développer en perspectives:

- l'étude d'une application réelle de communication par satellites utilisant la technique OFDM ou CDMA dans la bande Ka et faire une synthèse sur les différents outils de compensations utilisées.
- l'étude et la conception d'une forme d'onde adaptative pour les applications multimédia par satellite, ceci dans le but de lutter plus efficacement contre les dégradations causées par les atténuations de cette bande de fréquence.

Annexe A

MODULATIONS NUMERIQUES

La modulation a pour objectif d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Pour les transmissions en bande de base, la forme d'onde utilisée pour la mise en forme du signal physique est le plus souvent une porte ou un créneau. Dans le cas de transmissions sur porteuse, l'opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse de forme sinusoïdale d'expression générale $s(t) = A\cos(\omega t+\varphi)$ centrée sur la bande de fréquence du canal.

Dans cette expression les paramètres modifiables sont:

– L'amplitude de l'onde A

– La fréquence porteuse $f = \omega/2\pi$

– La phase φ

Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui ne prend que deux valeurs possibles. Dans les procédés de modulation M-aire, l'information est transmise à l'aide d'un symbole qui prend sa valeur parmi $M = 2^n$ réalisations possibles, ce qui permet d'associer à un état de modulation un mot de n éléments binaires. L'ensemble de ces symboles est appelé alphabet et forme une constellation caractéristique pour chaque modulation. Supposons que la source délivre des éléments binaires toutes les T_b secondes, la période symbole est définie par $T_s = nT_b$ et le débit binaire s'exprime $D_b = 1/T_b$.

La rapidité de modulation $R = 1/Ts = D_b\log_2 M$ s'exprime en bauds et correspond au nombre de changements d'états par seconde d'un ou de plusieurs paramètres modifiés simultanément. Un changement de phase du signal porteur, une excursion de fréquence ou une variation d'amplitude sont par définition des changements d'états.

A.1 Modulations numériques classiques

La modulation à déplacement d'amplitude (MDA) consiste à faire varier l'amplitude du signal selon la loi de transcodage associée. Celui-ci s'exprime alors:

$$s(t) = A(t)\cos(\omega_0 t + \phi) \qquad \text{avec} \qquad A(t) = \sum_k a_k h(t - kT_s)$$

où h(t) est un filtre de mise en forme des impulsions, par exemple une porte (h(t) = 1 si t $t\epsilon\ [0, T_s]$ et 0 ailleurs), φ est une phase de référence et $\{a_k\}$ la suite des symboles M-aires. Ce type de modulation est simple à réaliser mais est assez peu employé pour M > 2 car ses performances sont moins bonnes que celles d'autres modulations, notamment en ce qui concerne sa résistance au bruit.

Pour la modulation à déplacement de phase (MDP), le seul paramètre susceptible de varier est la phase de l'onde porteuse. A la sortie du modulateur, le signal s'exprime:

$$s(t) = A\sum_k h(t - kT_s)\cos\left(\omega_0 t + \varphi_k\right)$$

Où A représente l'amplitude constante de l'onde porteuse et φ_k la valeur de la phase pendant un intervalle de temps$[kT_s, (k+1)T_s[$. Pour une modulation MDP-M, φ_k prend ses valeurs dans un alphabet de M éléments:

$$\varphi_n = \varphi + (2n+1)\frac{\pi}{M} \qquad n = 0,1,\ldots,M-1$$

La complexité de l'ensemble émission/réception de la MDP augmente avec M, mais reste raisonnable, ce qui en fait une modulation fréquemment utilisée pour M allant de 2 à 16 avec de bonnes performances.

Dans les inconvénients de la MDP, citons l'existence de sauts de phase importants qui font apparaître des discontinuités d'amplitude. Les modulations décalées ou tournées peuvent être une solution à ce problème.

En ce qui concerne la modulation à déplacement de fréquence (MDF), c'est la fréquence instantanée, dérivée de la phase instantanée, qui peut prendre plusieurs valeurs associées aux états possibles. Après modulation, le signal a pour expression:

$$s(t) = Acos[\omega_0 + 2\pi a_k \Delta F)t]$$

avec les symboles ak appartenant à $\{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)\}$ et l'excursion en fréquence $2\Delta F = \frac{m}{T_s}$ Où m est l'indice de modulation. Une modulation fréquemment utilisée considère le cas particulier m = 0.5. Le spectre est alors concentré autour de la fréquence porteuse et cette modulation prend naturellement le nom de modulation à déplacement minimum de fréquence.

A.2 Modulation d'amplitude en quadrature (MAQ)

Les modulations précédentes ne constituent pas une solution satisfaisante pour utiliser efficacement l'énergie émise lorsque le nombre de points M est grand. En effet, dans la MDA les points de la constellation sont sur une droite, et dans la MDP les points sont sur un cercle. Or, la probabilité d'erreur est fonction de la distance minimale entre les points de la constellation, et la meilleure modulation est celle qui maximise cette distance pour une puissance moyenne donnée. Un choix plus rationnel est alors une modulation qui répartit les points uniformément dans le plan.
Pour ce faire, on écrit le signal modulé s(t) sous la forme suivante:

$$s(t) = a(t)\cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b(t)\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

où les deux signaux a(t) et b(t) ont pour expression :

$$a(t) = \sum_k a_k h(t - kT) \qquad et \qquad b(t) = \sum_k b_k h(t - kT)$$

Le signal modulé s(t) est donc la somme de deux porteuses en quadrature, modulées en amplitude par les deux signaux a(t) et b(t).

On considère généralement que les symboles a_k et b_k prennent respectivement leurs valeurs dans le même alphabet à M éléments donnant ainsi naissance à une modulation possédant $E = M^2$ états. Chaque état est donc représenté par un couple (a_k, b_k) ou ce qui revient au même par un symbole complexe $c_k = a_k + j\, b_k$. Dans le cas particulier mais très fréquent où M peut s'écrire $M = 2^n$, alors les a_k représentent un mot de n bits et les b_k représentent aussi un mot de n bits. Le symbole complexe $c_k = a_k + j\, b_k$ peut par conséquent représenter un mot de 2n bits. L'intérêt de cette configuration est que le signal s(t) est alors obtenu par une combinaison de deux porteuses en quadrature modulées en amplitude par des symboles a_k et b_k indépendants. Cette modulation prend naturellement le nom de modulation d'amplitude en quadrature (MAQ) et si sa constellation comporte E états, on la note MAQ-E.

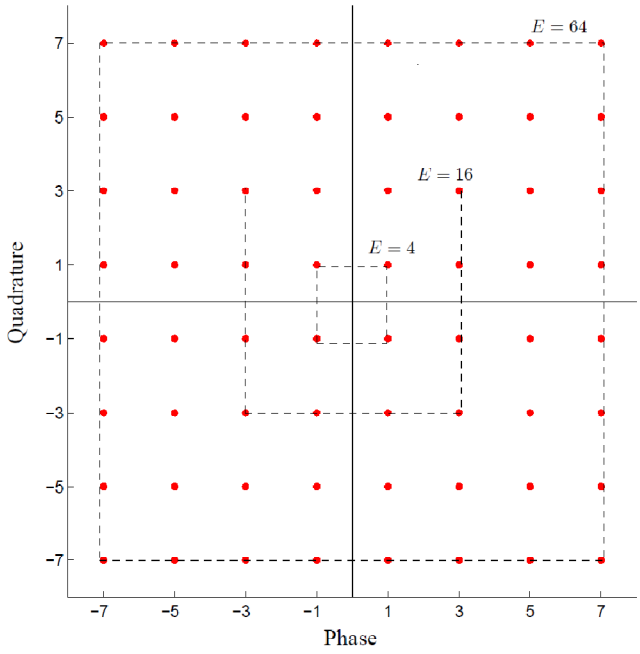


Figure A. 1: Constellations pour modulations MAQ-E.

Par exemple, la MAQ-16 est construite à partir de symboles a_k et b_k qui prennent leurs valeurs dans l'alphabet $\{\pm d, \pm 3d\}$ où d est une constante donnée. La MAQ-16 a été souvent utilisée, notamment pour la transmission sur ligne téléphonique du RTC (à 9600 bit/s) et pour les faisceaux hertziens à grande capacité (140 Mbit/s) développés dans les années 1980. Plus généralement lorsque les symboles a_k et b_k prennent leurs valeurs dans l'alphabet $\{\pm d, \pm 3d, \pm 5d, \ldots, \pm(M-1)\}$ avec $M = 2^n$, on obtient une modulation à 2^{2n} états et une

constellation avec un contour carré dont font partie la MAQ-4, la MAQ-16, la MAQ-64 et la MAQ-256.

La figure A.1 représente les constellations de modulations de type MAQ pour plusieurs nombres d'états.

Lorsque le signal s(t) est obtenu par une combinaison de deux porteuses en quadrature modulées en amplitude par des symboles a_k et b_k indépendants, cela simplifie le modulateur et le démodulateur.

La réception d'un signal MAQ fait appel à une démodulation cohérente et par conséquent nécessite l'extraction d'une porteuse synchronisée en phase et en fréquence avec la porteuse à l'émission. Le signal reçu est démodulé dans deux branches parallèles, sur l'une avec la porteuse en phase et sur l'autre avec la porteuse en quadrature. Les signaux démodulés sont convertis par deux convertisseurs analogiques numériques (CAN), puis une logique de décodage détermine les symboles et régénère le train de bits reçus.

Annexe B

CANAL RADIO

Le canal de propagation est un élément très important d'une communication radio mobile. Il possède des caractéristiques aléatoires qui le rendent imprévisible et non stationnaire. Cependant, deux types de canaux sont proposés par la littérature : Il s'agit du canal simple trajet et du canal multi-trajets. Mais dans la pratique, le canal multi-trajets introduit des distorsions du signal reçu, ces dernières sont dues aux différentes répliques du signal émis décalées dans le temps, ce qui rend la réception très délicate.

B.1 Types de canaux

B.1.1 Canal à bruit additif blanc gaussien

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmissions numériques, qui est aussi un des plus faciles à générer et à analyser, est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG). Ce bruit modélise à la fois les bruits d'origine interne (bruit thermique dû aux imperfections des équipements...) et le bruit d'origine externe (bruit d'antenne...). Ce modèle est toutefois plutôt associé à une transmission filaire, puisqu'il représente une transmission quasi-parfaite de l'émetteur au récepteur. Le signal reçu s'écrit alors: $r(t) = s(t) + n(t)$

Où $n(t)$ représente le BBAG, La densité de probabilité conditionnelle de r est donnée par l'expression:

$$p(r/x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(r-s)^2/2\sigma^2}$$

B.1.2 Canal avec évanouissement

Les communications radio ont souvent besoin d'un modèle plus élaboré prenant en compte les différences de propagation du milieu, appelées encore atténuations ou évanouissements, qui affectent la puissance du signal.

Cette atténuation du signal est principalement due à un environnement de propagation riche en échos et donc caractérisé par de nombreux multi-trajets, mais aussi au mouvement relatif de l'émetteur et du récepteur entrainant des variations temporelles du canal. Le phénomène de multi-trajets s'observe lorsque l'onde électromagnétique portant le signal modulé se propage par plusieurs chemins de l'émetteur au récepteur. Les transmissions intra-muros, avec toutes les perturbations liées aux parois du bâtiment, et les communications radio-mobiles, dont les multi-trajets sont causés par les montagnes, immeubles et autres voitures, sont les exemples les plus courants d'environnements propices aux multi-trajets (Figure B.1).

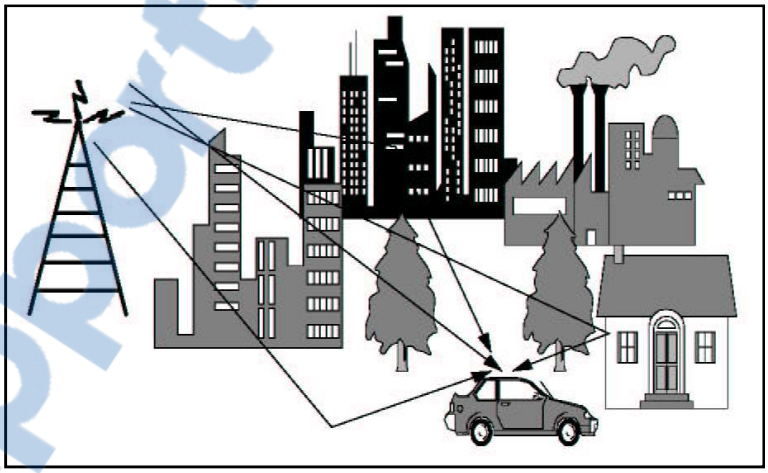


Figure A. 2: Exemple de canal radio-mobile soumis aux multi-trajets.

Rapport-Gratuit.com

B.1.3 Canal de Rayleigh

C'est un canal qui modélise à la fois un évanouissement et un BBGA, c'est-à-dire il regroupe les deux canaux décrits précédemment. Ce canal théorique peut également modéliser un canal sélectif en fréquence (et éventuellement en temps) pour lequel on a procédé a une modulation/démodulation OFDM.

Ce modèle est décrit par l'équation :

$$r(t) = h(t ; t_d) * s(t) + n(t)$$

B.2 Les trajets multiples

Le canal de propagation radioélectrique est caractérisé par l'existence de trajets multiples entre une station fixe et une station mobile. Contrairement à d'autres types de transmission (faisceaux hertziens par exemple) où l'on essaye de se placer dans les meilleures conditions, la communication avec les mobiles s'avère plus délicate à cause de la mobilité d'une des extrémités.

De plus, le mobile est dans la plupart des cas en non- visibilité directe de la station de base. L'onde radio se propage dans tout l'espace où, suivant le type d'environnement, elle va être réfléchie ou absorbée par les obstacles rencontrés. En zone urbaine, les ondes réfléchies seront naturellement en nombre beaucoup plus important qu'en zone rurale puisque le nombre de réflecteurs y est plus important. L'onde radio peut se réfléchir sur tout type d'obstacle : montagne, bâtiment, camion, avion, discontinuité de l'atmosphère.

La réflexion sur un bâtiment va dépendre de la hauteur, de la taille, de l'orientation du bâtiment et des directions des trajets dans des zones masquées par des bâtiments ou des reliefs si ces obstacles constituent une sorte de guide d'onde. Dans certains cas, le signal réfléchi est très fortement atténué alors que dans d'autres cas, presque toute l'énergie radio est réfléchie et très peu est absorbée (cas d'un réflecteur quasi parfait).

Références Bibliographiques

[1] : Ridha Chaggara, « Les Modulations à Phase Continue pour la Conception d'une Forme d'Onde Adaptative, Application aux Futurs Systèmes Multimédia par Satellite en Bande Ka », thèse de doctorat en Télécommunications et Traitement du Signal, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications,2004.

[2] : HO Anh Tai, « Application des techniques multiporteuses de type OFDM pour les futurs systèmes de télécommunications par satellite », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 30Mars2009.

[3]: RR1- Section VIII – Termes techniques relatifs à l'espace, 1.179.

[4] : Fleury Sébastien, GIROD Jean-Marc, Watanabe Ryo, « Les satellites et la technologie VSAT », Université na Marne La Vallée.

[5] : NOUREDINE ABDALLAH, « Services des télécommunications hauts débits par satellite : cas d'Eutelsat W3A » faculté des sciences et technologies de l'information et de la communication (FSTIC) de Dakar, 2008.

[6] : NEVEU Adeline, LONGUESPE Hugo, « Dossier technique : Télécommunications par satellite », EUDIL, Reseau eiffel, Lille, Mai 2001.

[7] : http://mp01.free.fr/satel/satel.htm

[8] : MATHIEU J. M., « Transmissions Spatiales », Licence professionnelle, réseaux et télécommunications, IUT DE MARSEILLE, 2007.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[9] : Ruth ERNE, « Les télécommunications spatiales et les ressources de l'espace extra-atmosphérique, l'évolution de leur réglementation », Thèse de doctorat en Sciences Politiques (droit international), Université de Genève, 2007.

[10] : Docquiert Delphine, Oolmann Christel, « Internet par satellites », 1999.

[11] : Mounia LOURDIANE, « CDMA à séquence directe appliqué aux communications optiques », thèse de doctorat à l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, 2005.

[12] : Pascal SAMUEL, « L'Internet Par Satellite », Université PARIS 7 Denis Diderot, Septembre 2003

[13] : C.GUILLEMINOT, « Etude et intégration numérique d'un système multiplicateur AMRC de télécommunication basé sur prototype virtuel utilisant le langage de haut niveau VHDL-AMS », thèse de doctorat de l'université de Toulouse II, décembre 2005.

[14] : E.HAMELIN, « Etude des performances d'un système CDMA a taux multiple », Mémoire présenté à la faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du garde de maître des sciences (M.Sc), septembre 1997.

[15] : PURSLEY, M.B et ROEFS, H.F.A, « Numerical Evaluation of Correlation Parameters for Optical Phases of Binary Shift-Register Sequences», IEEE Transactions on communications, Vol. COM-27, No. 10, pp. 1597-1604, Octobre 1979.

[16] : E. Rivier, « Transmission numérique multimédia », Ed. Eyrolles, Mars 1998.

[17] : J.LAINE & P. VIGNERON, « Télécommunications numériques le CDMA », cours, Année 2000-2001.

[18] : Annick Le Glaunec. Modulations Multiporteuses.

[19] : Danilo ZANATTA FILHO, Luc FETY, Michel TERRE, « Seuil de basculement entre les solutions mono-porteuse et multiporteuses », DSPCCom, FEEC-UNICAMP, Brésil, conservatoire National des Arts et Métiers.

[20]: Richard K. Martin and C. Rchard Johnson Jr, “Adaptavive Equalization: Transitioning from single-carrier to multicarrier systems”.

[21]: C.Ibars, Y.Bar-Ness, “ Analysis of time-frequency duality of MC and DS CDMA for multiantenna systems on highly time-varying and wide-band channels, Publication IEEE Transactions on Wireless communications.

[22] : Sylvain TERTOIS, « Réduction des effets des non-linéarités dans une modulation multiporteuse a l’aide de réseaux de neurones (chapitreI), Thèse de doctorat, université de Rennes1, décembre 2003.

[23]: Richard K.Martin and C.Richard Johnson Jr, Adaptive Equalization: Transitioning from single-carrier to multicarrier systems, IEEE signal processing magazine, November 2005.

[24] : A. Le Glaunec, « Modulations multiporteuses », Rapport, Université de Supélec, http ://www.supelec-rennes.fr/ren/perso/aleglaun, 2000.

[25]: A. R. Bahai, B. R. Saltzberg, «Multi-Carrier Digital Communications: Theory and Applications of Ofdm» , Kluwer Academic/Plenum Publishers, Dec, 1999.

[26]: Sigit P. W. Jarot and M. Nakagawa, «Frequency Interleaving Effects in Convolutional Coded OFDM System over Broadband Mobile Communication Channels», IECI Japan Workshop, 2001.

[27]: Wang, R. A. Stirling-Gallacher, «Improving performance of multiuser OFDM systems using bit-wise interleaver», Electronics Letters, vol. 37, Issue 19, Sept. 2001.

[28]: R. E. Ziemer, M. A. Wickert, "Link design for third-generation wireless systems for rural communities using OFDM and ATM", IEEE 47th Vehicular Technology Conference, vol. 3, May 1997.

[29]: R. W. Chang, "Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannels data transmission", Bell Syst. Tech. J., vol. 45, Dec. 1966.

[30]: T. Keller, L. Piazzo, P. Mandarini and L. Hanzo, "Orthogonal Frequency Division Multiplex Synchronization Techniques for Frequency-Selective Fading Channels", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 19, No. 6, Jun. 2001.

[31]: Z. Zhang, M. Zhao, H. Zhou, Y. Liu and J. Gao, "Frequency Offset Estimation With Fast Acquisition in OFDM System", IEEE Communications Letters, vol. 8, No. 3, Mar. 2004.

[32]: N. Dinur, D. Wulich, "Peak-to-Average Power Ratio in High-Order OFDM", IEEE Transactions on Communications, vol. 49, No. 6, Jun. 2001.

[33]: C. van den Bos, M. H. L. Kouwenhoven and W. A. Serdijn, "Effect of Smooth Non-Linear Distortion on OFDM BER", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Geneva, Switzerland, May 2000.

[34]: L. W. Faat, "Power Amplifier Linearization for OFDM Signal", Thèse de Doctorat, Department of Electrical and Electronic Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Aug. 2000.

[35]: S. Hara, R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA", IEEE Communications Magazine, pp. 126-133, Dec1997.

[36]: Abdulaziz S. Al-Ruwais & Abobakr Sultan “Utilization of Ka-Band in Saudi Arabia” Communications & IT Conference, Riyadh 2004.

[37]: CNES, «Techniques et Technologies Des Véhicules Spatiaux », Volume1, 1998.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES