

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE ELECTRIQUE

OPTION : SYSTEME DE TELECOMMUNICATION NUMERIQUE

Thème

**ETUDE D'UN SYSTEME DS-CDMA POUR DIFFERENTS
CODES D'ETALEMENT**

Présenté par :

Ibtissem DELLIOUA

Encadré par :

Pr. Djamel CHIKOUCHE

N°d'ordre:2012/ /85/125

Promotion : JUIN 2012

Dédicace

La joie de réussir n'est jamais complète que si elle est partagée avec ceux qu'on aime

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont les plus chère mes **parents** qui m'ont énormément soutenu dans les moments les plus difficiles, partagé mes joies et mes peines, qui se sont toujours sacrifiés à mes dépends que dieu les protégé pour moi*

*A mes sœurs **Soumia, Meriem***

*A mon petit frère **Mohamed***

Et

A toute ma famille

A tout mes amies

Zineb, Indaf, Aldja, Ibtissem, Nassima, ma cousine Imene

A tout mes collègues

Et

*A la mémoire de mon grand père **AHMED AZI DJILALI***

Avec l'expression de tous mes sentiments

Je dédie ce modeste travail.

Ibtissem

Remerciements

Je remercie le bon Dieu, pour m'avoir donné la force, le courage, et la volonté qui m'a permis de faire aboutir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma gratitude à mon promoteur Monsieur Dj.CHIKOUCHE, Professeur à l'université de Msila, je le remercie pour ses conseils ; ses précieux commentaires qui m'ont permis de surmonter mes difficultés, et de progresser dans cette présente étude.

Mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

Mes remerciements vont aussi à Dr K.ROUABAH, et Mr Idris MESSAOUDENE de centre universitaire à Bordj Bou Arreridj pour leur aide précieuse à l'élaboration de ce travail.

Enfin j'exprime ma profonde reconnaissance à tous les enseignants du département d'électronique.

Table des matières

Introduction générale..... 2

Chapitre 1 : Système de transmission numériques et caractéristiques des canaux radio

Introduction 5

1. Chaîne de transmission numérique 5

1.1. Le canal de propagation..... 6

 1.2. Le canal radio 6

2. Problématique des communications radio mobiles 6

 2.1. Description des phénomènes physiques à l'intérieur du canal 6

 2.1.1. Les phénomènes à grande échelle 7

 2.1.2. Les phénomènes à petite échelle 8

 2.1.3. Interférences 9

 2.1.4. Propagation multitrajets..... 10

 2.1.6. Les évanouissements (Fadings) 11

3. Types des canaux de communication..... 13

 3.1. Canal à bruit additif blanc gaussien (AWGN)..... 13

 3.2. Canal de Rayleigh 14

4. Modulation et démodulation numérique..... 15

 4.1 Modulation par déplacement de phase(MDP) 15

 4.1.1 La modulation MDP-2 (BPSK) 17

 4.1.2 La Modulation "MDP-4" (QPSK) 18

5. Les solutions pour améliorer le signal 20

 5.1 La propagation de l'onde 20

 5.2. L'égalisation..... 20

Conclusion..... 21

Chapitre 2 : Accès multiple par répartition de code CDMA

Introduction	23
1. Les techniques d'accès multiples.....	23
1.1. Accès multiples par la répartition de fréquences (AMRF, FDMA)	24
1.1.1. Avantages	25
1.1.2. Inconvénients.....	26
1.2. Accès multiple à répartition dans le temps (AMRT, TDMA)	26
1.2.1. Avantages	27
1.2.2. Inconvénients.....	27
1.3. Accès multiple par répartition de codes (AMRC, CDMA)	27
1.3.1. Avantages	28
1.3.2 Inconvénients.....	30
1.4. Comparaison entre les trois techniques	31
2. Étalement de spectre	31
2.1. Principe de l'étalement de spectre	32
2.1.1. Principe de l'étalement de spectre par séquence directe.	34
2.1.2. Direct Séquence CDMA.....	35
3. Les codes d'étalement et d'accès multiples	37
4. Les applications de CDMA	38
4.1 La norme IS-95.....	38
4.1.1. Caractéristiques d'IS-95	38
4.2 .Standard UMTS.....	39
Conclusion.....	40

Chapitre 3 : Simulation d'un système DS-CDMA

Introduction	42
1. Chaîne de transmission d'un système DS-CDMA.....	42
1.1. L'émetteur	43
1.1.1. Générateur de nombres entiers aléatoires (Random Integer Generator).....	43
1.1.2. Modulation	45

1.1.3. Générateur du code (Code Generator).....	46
1.1.4. Gain normalisé (Normalized Gain)	49
1.1.5. Etaleur (Spreader).....	50
1.2. Canal à bruit blanc gaussien additif AWGN (AWGN Channel).....	51
1.3. Récepteur.....	52
1.3.1. Désétaleur (Despreader)	52
1.3.2. Intégration et effacement par vidage (Integrate and Dump).....	53
1.3.3. Démodulateur BPSK (BPSK Demodulator).....	53
1.4. Le calculateur TEB.....	54
2. Etude des performances d'un system DS-CDMA	56
2.1 Effet de l'influence du rapport signal sur bruit.....	56
2.2. Effet de la taille M de la modulation	57
2.3. Effet du nombre d'utilisateur.....	60
2.4. Comparaison des trois codes WALSH, PN, GOLD.....	62
2.5. Effet de la longueur du code Walsh	62
2.6. Effet des multi trajets.....	64
2.7. Effet de nombre des multi trajets.....	66
2.8 L'effet de l'utilisation d'un récepteur RAKE.....	67
Conclusion.....	69
Conclusion générale	71

Références

Annexe

Liste des figures

Figure 1.1 : chaine de transmission numérique.....	5
Figure 1.2 : Représentation du canal radiomobile.....	7
Figure 1.3 : Interférences intersymboles ; I' , I'' , I''' constituent les répliques du signal I	9
Figure 1.4 : Interférences Co-canal.....	10
Figure 1.5 : Schéma représentatif de la propagation multitrajet.....	10
Figure 1.6 : Schéma représentatif de l'effet Doppler.....	11
Figure 1.7: Les catégories de fading.....	12
Figure 1.8: Modèle du canal AWGN.....	13
Figure 1.9: Affaiblissement de Rayleigh.....	14
Figure 1.10 : Constellations de deux modulations MDP.....	16
Figure 1.11 : Constellation de la modulation de phase MDP-2.....	17
Figure 1.12 : Chronogramme de la modulation de phase MDP-2.....	17
Figure 1.13: Constellation de la modulation de phase MDP-4.....	19
Figure 1.14 : Chronogramme de la modulation de phase MDP-4.....	20
Figure 2.1 : Un système d'accès multiple.....	24
Figure 2.2 : FDMA On associe une bande de fréquence différente à chaque utilisateur.....	25
Figure 2.3 : TDMA, On associe un intervalle de temps différent (de manière cyclique) à chaque utilisateur.....	26
Figure 2.4: Technique d'accès multiple CDMA.....	28
Figure 2.5 : Comparaison entre les différents accès multiples : FDMA-TDMA-CDMA.....	31
Figure 2.6 : Schéma d'une chaine de transmission.....	32
Figure 2.7 : Principe conceptuel de l'étalement de spectre.....	33
Figure 2.8 : Principe de l'étalement de spectre par séquence directe.....	35
Figure 2.9 : Mécanisme du codage et du décodage.....	36
Figure 2.10 : Illustration du décodage, en fréquences.....	37
Figure 2.11 : Schéma bloc du système UMTS dans le sens descendant.....	39
Figure 3.1 : chaine de transmission DS-CDMA d'un seul utilisateur sons Multi-trajets....	42
Figure 3. 2 : Bloc de paramètres du générateur de nombres aléatoires.....	43
Figure 3.3 : Signal d'entrée au système DS-CDMA simulé.....	44
Figure 3. 4 : Spectre du signal d'entrée de la figure 3.....	44
Figure 3.5 : paramètres du modulateur BPSK de simulink.....	45
Figure 3. 6: Signal modulé en BPSK.....	46
Figure 3.7: paramètre du modulateur QPSK à ajuster.....	46
Figure 3.8 : configuration du générateur du code PN.....	47

Figure 3.9 : configuration du générateur de code Gold.....	47
Figure 3. 10: paramètre du générateur du code Walsh.....	48
Figure 3.11 : signal à la sortie du générateur du code Walsh.....	48
Figure 3.12 : Configuration du gain normalisé.....	49
Figure 3.13 : Le signal de sortie du module code de Walsh après normalisation de gain...	49
Figure 3. 14 : Configuration de l'étaleur.....	50
Figure 3.15 : Signal étalé.....	50
Figure 3. 16 : Configuration du canal AWGN.....	51
Figure 3. 17 : Signale à la sortie du canal bruité AWGN.....	51
Figure 3. 18 : Configuration du désétaleur.....	52
Figure 3. 19 : configuration du module Integrate and dump.....	53
Figure 3. 20 : Signal après démodulation BPSK.....	53
Figure 3.21: calculateur du TEB.....	54
Figure 3.22 : Fenêtre de configuration du bloc calcul d'erreur.....	54
Figure 3.23 : le signal d'entrée.....	55
Figure 3.24 : le signal restitué à la sortie.....	55
Figure 3.25 : le taux d'erreur binaire pour un RSB =20dB.....	55
Figure 3.26 : le signal d'entrée pour un RSB = -5 dB.....	56
Figure 3.27 : Le signal restitué pour un RSB= -5 dB.....	56
Figure 3.28 : Le taux d'erreur binaire pour un RSB =-5dB.....	57
Figure 3. 29 : variation du TEB en fonction du RSB pour les deux constellations BPSK et QPSK.....	58
Figure 3. 30 : Variation du TEB en fonction du RSB pour les deux constellations.....	58
Figure 3. 31 : variation du TEB en fonction du RSB pour les deux constellations.....	58
Figure 3. 32 : constellation de la modulation QPSK pour le code Walsh et différents valeurs du rapport signal sur bruit RSB.....	59
Figure 3. 33 : Schémas de simulation du système DS-CDMA simulé.....	60
Figure 3. 34 : Variation de TEB en fonction du RSB pour différents utilisateurs.....	61
Figure 3. 35 : variation du TEB en fonction du RSB pour différents codes et un nombre d'utilisateurs Fixé à 6.....	62
Figure 3. 36 : effet de la longueur du code Walsh sur les performances du système DS CDMA.....	63
Figure 3.37: chaine de transmission DS-CDMA d'un seul utilisateur avec Multi-trajets et sans récepteur RAKE.....	64
Figure 3.38 : Le bloc de multitrajet (propagate through).....	64
Figure 3.39 : configuration de multitrajet.....	65
Figure 3. 40 : Effet des multitrajets sur les performances du système DS-CDMA.....	65

Figure 3.41 : Variation du TEB en fonction de BER pour différent nombre de multitrajets.	66
Figure 3.42 : Chaîne de transmission DS-CDMA d'un seul utilisateur avec Multi-trajets en utilisant le récepteur RAKE.....	67
Figure 3. 43 : Le bloc de récepteur RAKE.....	67
Figure 3.44: Paramètre de configuration du bloc récepteur RAKE.....	68
Figure 3. 45 : Effet du récepteur RAKE sur les performances du système DS-CDMA.....	68

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Différentes valeurs en fonction du symbole à transmettre.....	5
Tableau 3. 1 : Paramètres de la simulation de l'expérience (1).....	57
Tableau 3. 2 : paramètres de simulation de l'expérience (2).....	60
Tableau 3. 3 : paramètre de simulation choisis pour étudier l'effet de la longueur du code Walsh.....	63
Tableau 3. 4 : paramètres choisis pour l'étude de l'effet des multitrajets.	65
Tableau 3.5 : Paramètre de la simulation pour étudier l'effet du nombre de multitrajets.....	66
Tableau 3. 6 : Paramètre de simulation pour étudier l'effet du récepteur RAKE.....	68

Liste des abréviations

AWGN : Additive White Gaussian Noise

BER : Bit Error Rate

BPSK : Binary Phase Shift Keying

CDMA : Code Division Multiple Access

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum

EQM : Erreur Quadratique Moyenne

FDMA : Frequency Division Multiple Access

FH-SS : Frequency Hopping Spread Spectrum

FDD : Frequency Division Duplex

IAM : Interférences d'Accès Multiples

IES : Interférence Entre Symboles

MT : Multi-trajets.

MDP : Modulateur par Déplacement de Phase

PN : Pseudo-random Noise

PSK : Phase Shift Keying

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

RSB : Rapport Signal sur Bruit

SNR : Signal-to-Noise Ratio

TDMA : Time Division Multiple Access

TEB : Taux d'Erreur Binaire

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis l'apparition des systèmes radiomobiles cellulaires analogiques dans les années 1960-1970, la demande en systèmes de communications sans fil n'a cessé de croître, autant pour les applications professionnelles que pour le grand public. Le développement des communications numériques a permis d'améliorer l'efficacité spectrale et la qualité de service des systèmes tout en offrant de nouveaux champs d'applications, ainsi que des domaines d'intérêt très puissants.

Le développement des systèmes de communication est limité par les contraintes sur la capacité de ces systèmes, c'est-à-dire l'augmentation du nombre d'accès simultanés au canal de transmission, surtout parce que le spectre radio disponible est limité. Ce qui oblige à utiliser les ressources disponibles plus efficacement. Le défi est de savoir comment transmettre plus de bits par seconde. Un aspect important de cette question est de savoir comment le moyen commun de transmission est partagé entre les utilisateurs, [1].

La méthode d'accès multiple la plus répandue parmi les nouvelles générations de systèmes de communication est la technique CDMA (*Code Division Multiple Access*), technique d'accès multiple utilisée par les réseaux d'accès radio de la troisième génération 3G [2]. Cette technique est fondée sur une théorie mathématique de traitement du signal et peut être vue comme une généralisation des techniques d'accès multiple usuelles, incluant les deux techniques TDMA, et FDMA. Elle est basée sur l'étalement de spectre et permet donc de comparer d'un point de vue théorique les systèmes connus et peut également conduire à des systèmes plus performants, [3].

Les transmissions d'information sur des canaux sans fil subissent des perturbations comme la propagation multitrajets avec évanouissement et les interférences à bande étroite. Les systèmes à étalement de spectre ont pour objectifs de résister à ces phénomènes. La technique consiste à émettre le signal d'information en utilisant une bande de fréquence nettement supérieure à la bande nécessaire.

L'étalement de spectre du signal d'information peut être effectué en le multipliant par une séquence spécifique, dite code d'étalement, ou chaque

élément est appelé chip. Cette technique est désignée par étalement de spectre par séquence directe (DS-SS pour Direct Sequence-Spread Spectrum).

Malgré que la technique d'accès multiple par répartition de code CDMA basé sur l'étalement de spectre par une séquence directe (DS-CDMA) possède plusieurs avantages ; elle souffre également de certains problèmes qui influent directement sur la qualité du signal reçu et qui sont essentiellement liés à certains paramètres comme ; le type de modulation, le nombre d'utilisateurs, le type de code d'étalement, le type de canal de transmission, et le type de récepteur utilisée.

L'objectif de ce travail est l'étude de l'influence de chacun de ces paramètres sur les performances du système DS-CDMA tout en se basant sur l'évolution du Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal sur Bruit (RSB) pour des valeurs différentes .

Le présent manuscrit est structuré autour de trois chapitres :

Le premier de ces chapitres décrit la chaîne de transmission numérique et détaille les caractéristiques du canal radio provoquant des perturbations de l'information, ainsi que le type de modulation utilisée.

Le second chapitre concerne la présentation des techniques d'accès multiple et particulièrement le principe de la technique DS-CDMA.

Le troisième chapitre est dédié à la simulation du système DS-CDMA et l'analyse des performances au moyen du logiciel MATLAB /SIMULINK.

Enfin, le manuscrit est terminé par une conclusion générale.

Chapitre 1

*Système de transmission
numériques et
caractéristiques des canaux
radio*

Introduction

Un système de communications doit idéalement permettre la transmission d'une information sur un canal avec le maximum de fiabilité. L'étude d'un système de télécommunications est basée principalement sur les caractéristiques du canal qui véhicule les informations ; ainsi dans le domaine radio, ce canal est caractérisé par plusieurs facteurs perturbateurs de ces informations.

L'objectif de ce chapitre est d'introduire les notions essentielles permettant de comprendre le comportement du canal radio-mobile. Nous abordons également les principaux effets agissant sur ce canal.

1. Chaîne de transmission numérique

Un système de transmission numérique véhicule de l'information sous forme numérique entre une source et un ou plusieurs destinataires en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore la propagation sur un canal radioélectrique. Le support diffère selon les applications ; les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image....) mais convertis sous une forme numérique. La tâche du système de transmission est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus fiabilité possible. Les caractéristique de l'environnement de transmission sont très importantes et affectent directement la conception des systèmes de communication et leurs fonctions, [4].

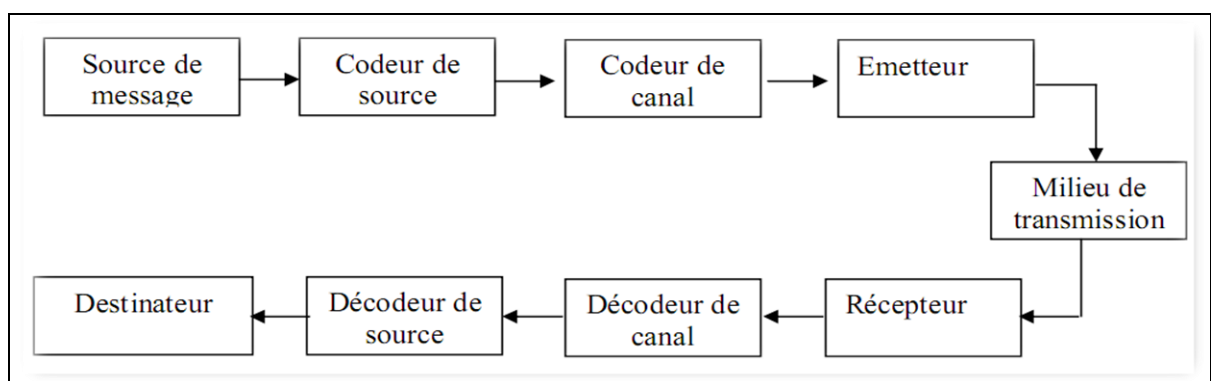


Figure 1.1 : chaîne de transmission numérique.

1.1. Le canal de propagation

Le canal de propagation décrit le support physique de la transmission reliant l'émetteur au récepteur. Il est le principal élément de la chaîne de communication introduisant des perturbations qui affectant le signal émis. De natures différentes, le support peut être un câble (bifilaire, coaxial, ...), une fibre optique, l'espace libre, etc. Un canal de propagation peut être invariant dans le temps, dans le cas par exemple d'une transmission sur câble, ou variant dans le temps, dans le cas de transmissions hertziennes dans un contexte radio-mobile. Notre étude se limitera au cas de transmissions hertziennes, [5].

1.2. Le canal radio

Pour être mobiles les terminaux d'un système de communication doivent pouvoir ne pas être physiquement reliés au réseau. Le canal radio permet de réaliser des transmissions entre émetteurs et récepteurs grâce à la propriété du champ électromagnétique qui se propage sous forme d'ondes, d'une manière efficace et quelles que soient les conditions de propagation, [6].

2. Problématique des communications radio mobiles

L'onde électromagnétique émise peut être interceptée, réfléchi ou diffractée par des obstacles de nature différente comme des immeubles, des collines, de la végétation. Suivant le cas, un trajet direct entre l'émetteur et le récepteur peut exister ou être absent. L'onde qui parvient au récepteur est la superposition d'un ensemble d'ondes lui arrivant par des chemins différents et conséquemment avec des décalages temporels et des phases variables. Le canal radio-mobile est un canal fluctuant à trajets multiples. Le signal transmis est affecté d'atténuation, de dispersion temporelle, de fluctuations et de délais de transmission dont les variations ne sont pas prédictibles de façon déterministe, [5].

2.1. Description des phénomènes physiques à l'intérieur du canal [7]

L'onde électromagnétique se diffuse dans un milieu et perd une partie de son énergie au fur et à mesure de sa propagation jusqu'à s'évanouir complètement.

La réception du signal ne peut se faire que si une partie de l'onde arrive à être captée par l'antenne du terminal en réception. En observant la puissance reçue, on s'aperçoit qu'elle peut varier fortement selon le moment et le lieu d'observation, [8].

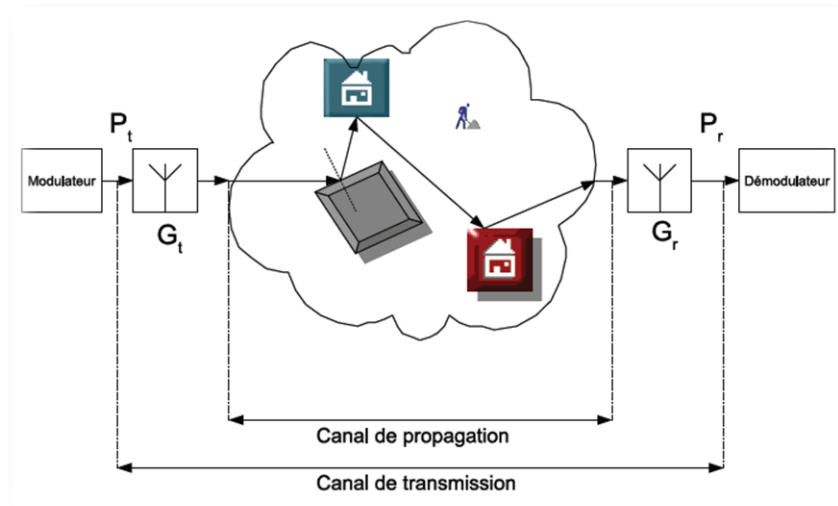


Figure 1.2 : Représentation du canal radiomobile.

Distinction entre canal de propagation et canal de transmission.

Les phénomènes se produisant dans le canal de propagation et causant des variations de la puissance reçue sont communément répartis en phénomènes de deux sortes:

- ❖ Les phénomènes à grande échelle.
- ❖ Les phénomènes à petite échelle.

2.1.1. Les phénomènes à grande échelle

Les phénomènes à grande échelle correspondent à deux phénomènes bien particuliers :

- ✓ **L'affaiblissement en espace libre**

L'espace libre est défini par la visibilité directe et par le dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel. Dans ces conditions de propagation, les pertes de puissance entre puissance émise et puissance reçue sont exprimées par la relation du bilan de liaison. Cette relation montre que la puissance reçue est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant émetteur et récepteur.

L'affaiblissement en espace libre est défini par le rapport entre puissance transmise et puissance reçue par les antennes. Il résulte donc de deux paramètres : la propagation sphérique de l'onde d'une part, et la surface effective de l'antenne de réception d'autre part. Dans le premier cas, la puissance de l'onde se répartit sur une sphère, et avec sa progression dans l'espace, l'onde finit par s'estomper définitivement. Dans le deuxième cas, c'est la capacité de l'antenne de réception à capter une partie de l'onde électromagnétique qui détermine la perte de puissance. Cette capacité dépend de la longueur d'onde.

✓ L'effet de masquage

L'effet de masquage est une perte de puissance au niveau du terminal récepteur, et se produit lorsqu'un des deux terminaux se déplace et, ce faisant, provoque la rupture de la visibilité directe entre eux (le terminal peut être masqué par un bâtiment). Une partie de l'onde transmise arrive tout de même au terminal de réception, mais la perte de puissance de l'onde est systématique. Ce phénomène est lié à la topologie du canal (les obstacles).

2.1.2. Les phénomènes à petite échelle

En observant la puissance reçue par un terminal lors d'un petit déplacement, quand la perte en puissance due au masquage et à l'affaiblissement en espace libre est constante, on remarque encore une fluctuation de la puissance, conséquence des phénomènes à petite échelle.

Les phénomènes à grande échelle tiennent compte de l'existence d'un seul trajet, direct ou non, pour évaluer la puissance reçue au niveau du récepteur. En réalité, une multitude de trajets est créée par le canal au gré des phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction et diffusion de l'onde. Une partie des multiples trajets se recombine au niveau du terminal récepteur et les trajets avec leur amplitude et leurs phases propres peuvent se recombinaison de façon constructive ou destructive, améliorant ou dégradant le bilan de liaison. C'est ce phénomène qu'on qualifie d'évanouissements à petite échelle. De plus, si aucun mouvement n'est présent dans le canal (le canal est invariant en temps), alors la recombinaison génère un affaiblissement ou un gain constant dans le temps. Si à l'inverse, des mouvements existent (le canal évolue dans le temps par le mouvement de l'émetteur, du récepteur,

ou des obstacles mobiles), alors l'affaiblissement (ou le gain) varie selon la nouvelle donne des multitrajets. Ce phénomène est donc lié à la topologie du canal, et varie avec les déplacements des terminaux ou des éléments du canal, [7].

2.1.3. Interférences

Les interférences sont certainement l'un des problèmes les plus importants à prendre en compte dans la conception, la mise en place et l'exploitation des systèmes de communication radio. Du fait de la croissance très rapide des systèmes de communication, il devient actuellement quasiment impossible de mettre en place un système n'ayant pas à faire à ces interférences. Dans les systèmes à réutilisation des fréquences, comme les réseaux cellulaires par exemple, les interférences sont présentes de façon permanente et souvent importante (cas des environnements à forte densité de trafic). Dans un système radiomobile, les liens radio sont affectés par deux types d'interférences : les interférences intersymboles et les interférences Co-canal, [9].

✓ Les interférences intersymboles

Dans un système numérique, particulièrement s'il fonctionne à un débit binaire élevé, la dispersion des retards (delay spread) fait que chaque symbole (ou unité d'information) chevauche le précédent et les subséquents, d'où le phénomène d'interférence intersymboles (Intersymbole Interference, ISI) comme le montre la figure 1.3, [10].

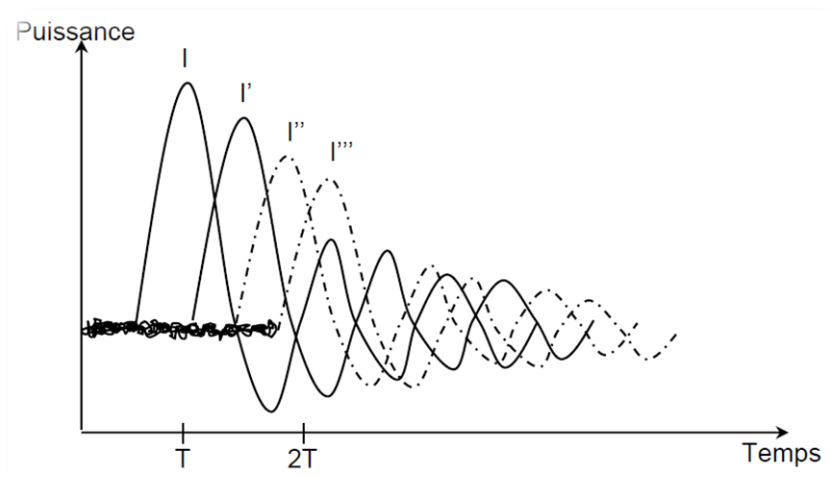


Figure 1.3 : Interférences intersymboles ; I', I'', I''' constituent les répliques du signal I.

✓ Les interférences Co-canal

Lorsque les signaux émis sur une fréquence f_i sont brouillés par d'autres signaux émis sur la même fréquence, il y a interférence Co-canal (Co-Canal Interference, CCI) comme indiqué sur la figure 1.4. Ce phénomène se produit de façon importante dans les systèmes à réutilisation de fréquences comme les réseaux cellulaires par exemple, [11].

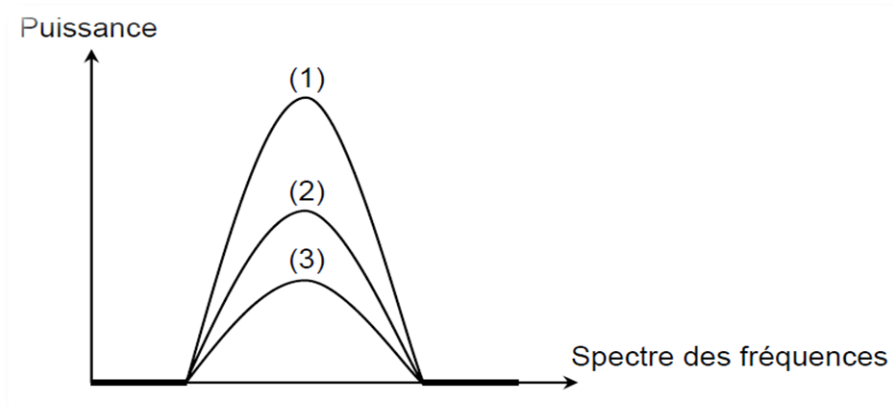


Figure 1.4 : Interférences Co-canal.

2.1.4. Propagation multitrajets

La propagation multitrajets se produit à la suite de la réflexion, la dispersion, et la diffraction de l'onde électromagnétique transmise à travers différents obstacles. Ainsi, à la réception beaucoup de signaux arrivent de différentes directions avec des retards, des atténuations, et des phases diverses, la superposition de ces signaux donne des variations d'amplitude et de phase du signal reçu ; ce qui rend difficile la récupération du signal informationnel d'origine, [12].

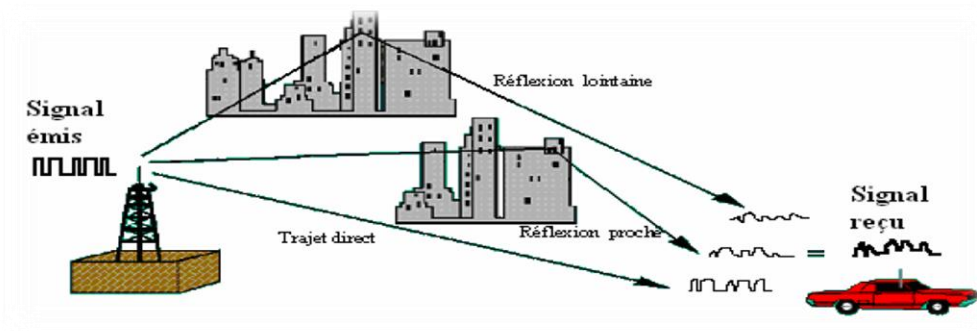


Figure 1.5 : Schéma représentatif de la propagation multitrajet.

2.1.5. L'effet Doppler

L'effet Doppler est provoqué par le déplacement des objets dans le canal radio. En effet, le temps mis par l'onde pour arriver au récepteur est variable. Ce temps dépend de la vitesse de déplacement et de l'angle entre la direction de déplacement avec celle de propagation de l'onde transmise. Ce décalage de fréquence peut être positif ou négatif. Si F est la fréquence de l'onde transmise, l'effet Doppler "Doppler Shift" déplace cette fréquence, à la réception d'une quantité :

$$f_{Dp} = F \frac{v}{c} \cos \alpha_i \quad (1.1)$$

v : La vitesse de déplacement.

c : La vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dans l'air, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

α_i : L'angle entre \vec{V} et \vec{E} .

Doppler Spread est le maximum de Doppler Shift :

$$f_m = F \frac{v}{c} \quad (1.2)$$

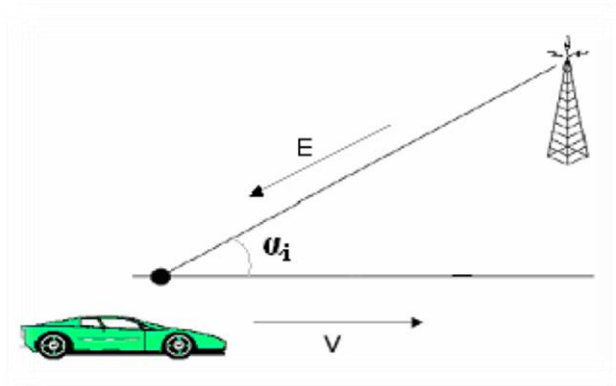


Figure 1.6 : Schéma représentatif de l'effet Doppler.

2.1.6. Les évanouissements (Fadings)

L'amplitude du champ électromagnétique reçu peut être enregistrée et présentée en fonction du temps. Physiquement, le mobile se déplace

dans la géométrie des ondes d'amplitude variée, diffractées ou réfléchies à partir de l'onde émise par toute une série d'obstacles. La distance entre nœuds de l'amplitude du champ reçu est ainsi de $\lambda/2$ pour une onde monochromatique de longueur d'onde λ , [13].

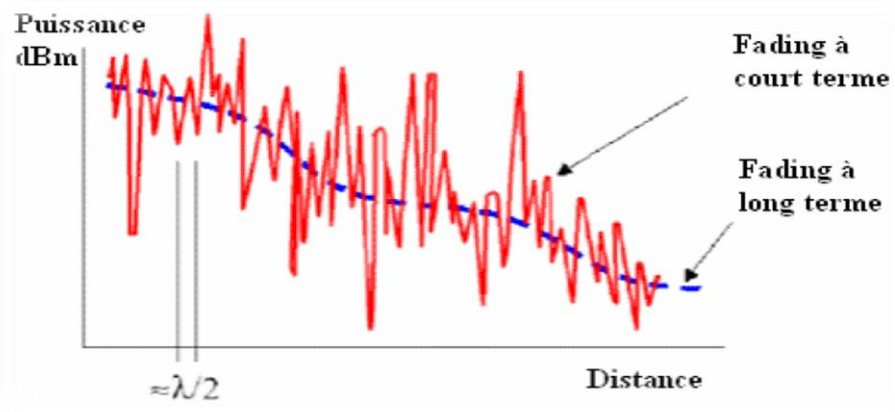


Figure 1.7 : Les catégories de fading.

Le mobile parcourt cette distance à la vitesse v , l'espace temporel entre deux évanouissements est donc de l'ordre de $\lambda/2v$; la profondeur de l'évanouissement correspond au résultat de l'addition d'onde d'amplitudes différentes, le signal reçu est donc rarement nul. Il peut même n'y avoir qu'une baisse imperceptible de l'amplitude. La fréquence d'apparition des évanouissements se situe au voisinage de $2v/\lambda = 2Fv/c = 2fd$, c'est à dire deux fois la fréquence Doppler correspondant à la vitesse de déplacement du véhicule .

✓ Fading à long terme

Ce sont les pertes par trajet qui dépendent généralement de la distance entre l'émetteur et le récepteur. Ce phénomène appelé aussi "Log-Normal fading" ou bien "Shadowing". Il est dû principalement à l'effet de masque par des obstacles (collines, forêts, immeubles, ...etc.). Les statistiques du fading à long terme sont :

- Perte moyenne de trajet avec une loi en puissance.
- Variations log-normales autour de la moyenne.

✓ Fading à court terme

Ce sont des changements brusques de l'amplitude et de la phase, ce phénomène causé par les multitrajets, l'effet Doppler et la bande passante du signal émis. Il est appelé aussi "Multipath fading", "Rayleigh Fading" ou bien tout simplement "Fading", [14].

Le fading à court terme a trois caractérisations:

- Loi de probabilité du fading (Rayleigh, Rice).
- Fading dû au multitrajet.
- Fading dû à l'effet Doppler.

3. Types des canaux de communication

3.1. Canal à bruit additif blanc gaussien (AWGN)

Les canaux les plus utilisés pour le milieu clos sont le canal AWGN (Additif White Gaussian Noise) et le canal multi-trajets. Ces deux canaux seront modélisés pour évaluer les performances du système communicant. Le premier est utilisé afin de reproduire le bruit alors que le deuxième sera utilisé pour évaluer les performances par la présence de multitrajets. Le modèle du canal AWGN est composé selon le principe de la figure (1.8) d'un bruit blanc Gaussien ajouté dans le médium à l'onde modulée $s(t)$ [15].

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (1.3)$$

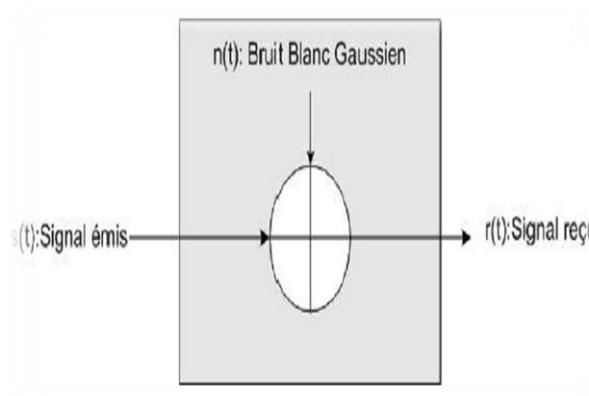


Figure 1.8 : Modèle du canal AWGN.

Un bruit blanc Gaussien est un processus aléatoire stationnaire puisqu'il est indépendant du signal transmis. La spécificité d'un bruit blanc réside dans l'uniformité de sa densité spectrale de puissance qui vaut N_0 sur toute la bande de fréquences. Du fait de sa largeur de bande théoriquement infinie, il est difficile d'exprimer le bruit blanc, c'est pourquoi l'on suppose que le bruit sommé au signal d'entrée du récepteur a été filtré par un filtre idéal, de largeur de bande B très grande devant la bande utile. Le bruit blanc peut être rendu Gaussien par une distribution gaussienne. Ainsi, le bruit doit suivre la loi normale, ou loi de Gauss, régie par la densité spectrale suivante :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.4)$$

Avec σ^2 qui représente la variance et m la valeur moyenne de la variable aléatoire x .

3.2. Canal de Rayleigh

Le canal est modélisé par une distribution de Rayleigh donnée par :

$$P(x) = \frac{\rho}{\sigma^2} e^{-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}} \quad (1.5)$$

Où σ^2 : est la variance des composantes en phase et en quadrature de phase.

Ce canal est caractérisé par l'absence de la composante due au trajet directe dans le signal reçu, les moments du premier et du second ordre d'une variable aléatoire de Rayleigh sont donnés par [15] :

$$P(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \text{ et } P(x^2) = 2\sigma^2 \quad (1.6)$$

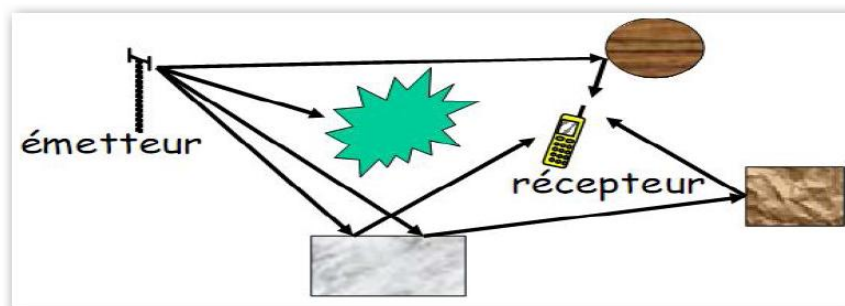


Figure 1.9 : Affaiblissement de Rayleigh.

Ce cas représente le pire cas d'évanouissements puisqu'il n'existe pas de visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. La puissance est alors de distribution exponentielle, et est indépendante de la phase qui quant à elle, suit une distribution uniforme.

4. Modulation et démodulation numérique

4.1 Modulation par déplacement de phase(MDP)

Les Modulations par Déplacement de phase (MDP) sont aussi souvent appelées par leur abréviation anglaise : PSK pour "Phase Shift Keying", [15].

L'expression générale d'une modulation numérique :

$$m(t) = \text{Re} \left[\sum_k c_k(t) \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)} \right] \text{ Avec } c_k(t) = a_k(t) + j b_k(t) \quad (1.7)$$

Les signaux élémentaires $a_k(t), b_k(t)$ utilisent la même forme d'onde $g(t)$ qui est ici une impulsion rectangulaire, de durée T et d'amplitude égale à A si t appartient à l'intervalle $[0, T]$ [et égale à 0 ailleurs.

On a toujours :

$$a_k(t) = a_k \cdot g(t - kT) \text{ et } b_k(t) = b_k \cdot g(t - kT) \quad (1.8)$$

Soit :

$$c_k(t) = (a_k + j b_k) \cdot g(t - kT) = c_k \cdot g(t - kT) \quad (1.9)$$

Dans le cas présent, les symboles c_k sont répartis sur un cercle, et par conséquent :

$$c_k = a_k + j b_k = e^{j\varphi_k} \quad \text{D'ou } a_k = \cos(\varphi_k), b_k = \sin(\varphi_k) \quad (1.10)$$

Et :

$$a_k(t) = \cos(\varphi_k) \cdot g(t - kT), b_k(t) = \sin(\varphi_k) \cdot g(t - kT) \quad (1.11)$$

Pour améliorer les performances par rapport au bruit, on impose aux symboles d'être répartis régulièrement sur le cercle (il sera ainsi plus facile de les discerner en moyenne). L'ensemble des phases possibles se traduit alors par les expressions suivantes :

$$\begin{cases} \varphi_k = \frac{\pi}{M} + K \frac{2\pi}{M} & \text{lorsque } M > 2 \\ \varphi_k = 0 \text{ ou } \pi & \text{lorsque } M = 2 \end{cases} \quad (1.12)$$

Les symboles c_k prennent leurs valeurs dans $\{e^{j\varphi_k}\}$ avec $M > 2$ pour $k = 0, 1, \dots, M - 1$.

On peut aussi considérer que a_k, b_k prennent simultanément leurs valeurs dans $\{\cos(\varphi_k)\}$ et $\{\sin(\varphi_k)\}$.

Le signal modulé devient :

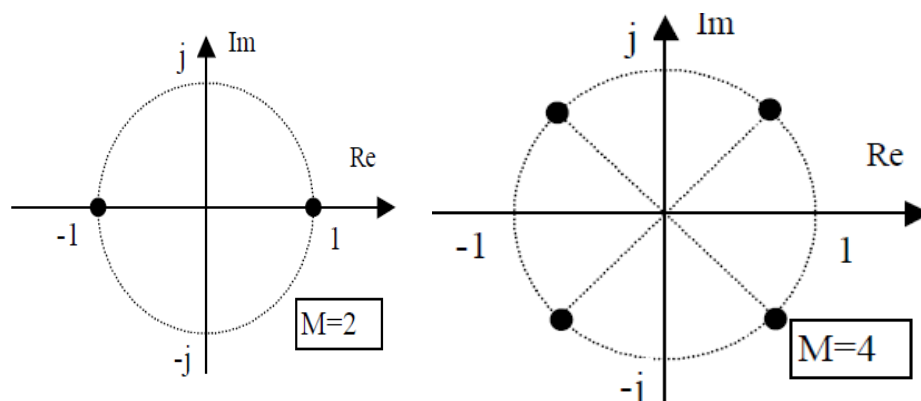
$$m(t) = \text{Re}\left[\sum_k e^{j\varphi_k} \cdot g(t - kT) \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)}\right] = \text{Re}\left[\sum_k g(kT) \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0 + \varphi_k)}\right] \quad (1.13)$$

En ne considérant que l'intervalle de temps $[KT, (K + 1)T]$, le signal modulé devient :

$$m(t) = \text{Re}\left[\sum_k A \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0 + \varphi_k)}\right] \quad (1.14)$$

$$m(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \varphi_k) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \cos(\varphi_k) - A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \cdot \sin(\varphi_k) \quad (1.15)$$

On appelle MDP-M une modulation de phase correspondant à des symboles M-aires. La figure 1.10 montre différentes constellations de MDP pour $M = 2$ et 4 où l'amplitude A est égale à 1.



(a) Constellation d'une MDP-2 (BPSK)

(b) Constellation d'une MDP-4 (QPSK)

Figure 1.10 : Constellations de deux modulations MDP.

4.1.1 La modulation MDP-2 (BPSK)

La modulation MDP-2 encore appelée par son abréviation anglaise : BPSK pour "Binary Phase shift Keying". C'est une modulation binaire (un seul bit est transmis par période T) : $n=1$, $M=2$ et $\varphi_k = 0$ ou π

Le symbole $c_k = e^{j\varphi_k}$ prend donc sa valeur dans $\{-1,1\}$.

Ici. Le signal modulé s'écrit alors pour $t \in [0, T[$:

$$m(t) = \pm A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1.16)$$

✓ Constellation de la MDP-2 (BPSK)

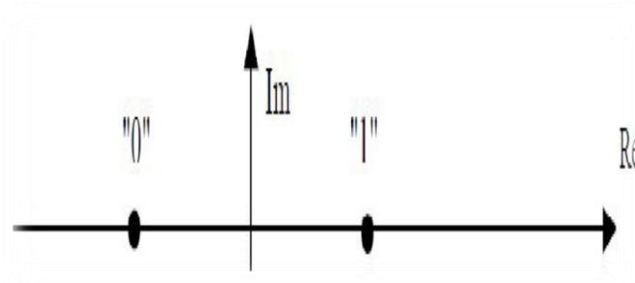


Figure 1.11 : Constellation de la modulation de phase MDP-2.

✓ Chronogramme de la MDP-2

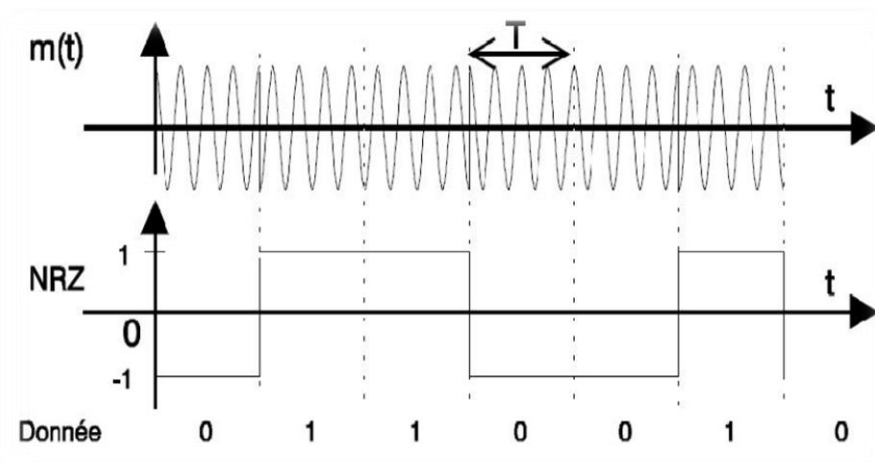


Figure 1.12 : Chronogramme de la modulation de phase MDP-2.

4.1.2 La Modulation "MDP-4" (QPSK)

La modulation MDP-4 encore appelée par son abréviation anglaise : QPSK pour "Quadrature Phase shift Keying".

Dans ce cas : $n = 2, M = 4$ et $\varphi_k = \frac{\pi}{4} + k \frac{\pi}{2}$

Les bits du train binaire entrant sont groupés par deux pour former des symboles correspondant aux c_k qui prennent alors leurs valeurs dans un alphabet de 4 éléments suivant:

$$e^{j\varphi_k} \text{ ou } \varphi_k = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \quad (1.17)$$

On peut aussi considérer que a_k et b_k prennent simultanément leurs valeurs dans l'alphabet $\{\cos(\varphi_k)\}$ et $\{\sin(\varphi_k)\}$.

Le tableau suivant précise les différentes valeurs en fonction du symbole à transmettre.

Bit pair	Bit impair	Symbole	φ_k	a_k	b_k	$a_k\sqrt{2}$	$b_k\sqrt{2}$
0	0	00	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	1
1	0	01	$\frac{3\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	1
1	1	11	$\frac{5\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	-1
0	1	10	$\frac{7\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	-1

Tableau 1.1 : Différentes valeurs en fonction du symbole à transmettre.

Ce tableau met en évidence la relation simple qui existe entre les bits pairs et les a_k et entre les bits impairs et les b_k . A une homothétie près et en désignant par $\{i_k\}$ la suite des valeurs du train binaire au rythme de $T_b = T/2$ on obtient :

$$a_k = 1 - 2 \cdot i_{2k} \text{ et } b_k = 1 - 2 \cdot i_{2k+1} \quad (1.18)$$

$$m(t) = A \cdot \sum (1 - 2 \cdot i_{2k}) \cdot g(t - kT) \cdot \cos(w_0 t + \varphi_0) - A \cdot \sum (1 - 2 \cdot i_{2k+1}) \cdot g(t - kT) \cdot \sin(w_0 t + \varphi_0) \quad (1.19)$$

$$m(t) = a_k(t) \cdot \cos(w_0 t + \varphi_0) - b_k(t) \cdot \sin(w_0 t + \varphi_0) \quad (1.20)$$

Soit, en ne considérant que l'intervalle de temps $[KT, (K + 1) T [$:

$$m(t) = A. (1 - 2. i_{2k}). \cos(w_0 t + \varphi_0) - A. (1 - 2. i_{2k+1}) \sin(w_0 t + \varphi_0) = \\ A. a_k \cos(w_0 t + \varphi_0) - A. b_k. \sin(w_0 t + \varphi_0) \quad (1.21)$$

De façon imagée, nous pouvons dire que le train binaire entrant $\{ i_k \}$ est aiguillé en un train binaire $\{ a_k \}$ sur la voie en phase pour les bits pairs, et un train binaire $\{ b_k \}$ sur la voie en quadrature pour les bits impairs. La vitesse des trains binaires $\{ a_k \}$ et $\{ b_k \}$ est deux fois plus lente que la vitesse du train binaire entrant $\{ i_k \}$.

✓ La constellation MDP-4 (QPSK)

La constellation MDP-4 est représentée dans la figure 1.13, elle montre l'affectation des bits aux points de la constellation.

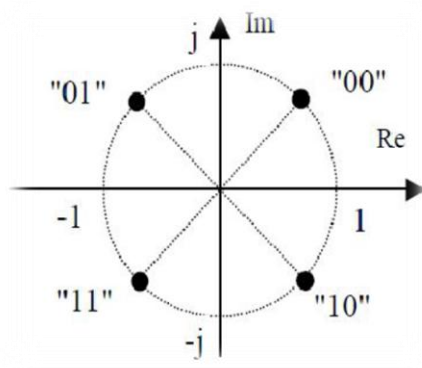


Figure 1.13: Constellation de la modulation de phase MDP-4.

✓ Chronogramme de la MDP-4

La figure 1.14 représente un chronogramme de la modulation de phase MDP-4. Elle met en évidence la distribution des bits numérotés du train binaire entrant $\{ i_k \}$ vers les trains binaires $\{ a_k \}$ et $\{ b_k \}$ ainsi que le retard à introduire sur la voie en phase pour réaligner les deux flux de bits. On observe aussi que la phase du signal modulé $m(t)$ peut changer de $0, \pm \frac{\pi}{2}$, Radiants lors du passage d'un symbole à un autre ce qui n'a, bien entendu, rien de surprenant lorsque l'on regarde la constellation de la MDP-4.

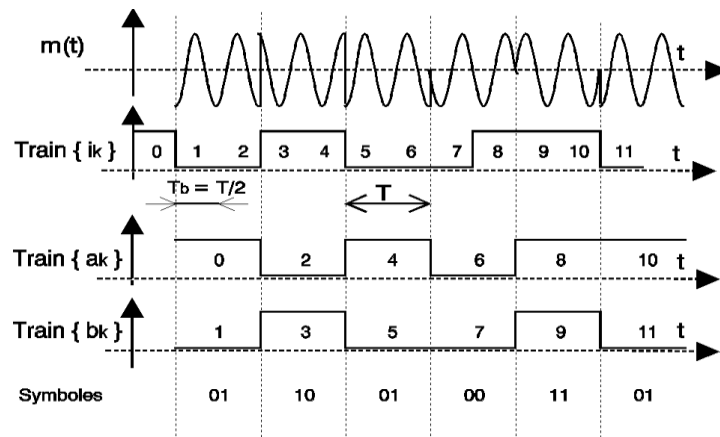


Figure 1.14 : Chronogramme de la modulation de phase MDP-4.

5. Les solutions pour améliorer le signal

5.1 La propagation de l'onde

Il est nécessaire de connaître la façon dont l'onde se propage pour pouvoir éliminer les pertes dans certain endroit. On utilise plusieurs techniques, [16] :

- ❖ Les équations de Maxwell mais qui sont souvent trop compliquées.
- ❖ Le Lancer de rayon qui assimile l'onde à une onde lumineuse.
- ❖ La méthode statistique grâce à des mesures sur le terrain.
- ❖ La méthode empirique.

5.2. L'égalisation

Il y'a de nombreux phénomènes agissent sur le signal produisant une perte d'intensité, c'est pour quoi le récepteur doit filtrer le signal obtenu. Ainsi par exemple ; le phénomène de pertes à causes de multitrajets peut être réduit en prenant le signal ayant la puissance la plus élevée .Aussi, plusieurs méthodes sont utilisés pour pouvoir retrouver le signal d'origine comme le codage des canaux et l'entrelacement, [16].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini les caractéristiques principales du canal radio telles que: Les interférences, les pertes multitrajets, l'effet Doppler, le fading...etc. Ainsi, nous avons défini les modulations numérique BPSK et QPSK et les types de canaux de communication, en suite, nous avons présenté une méthode de correction de ces perturbations comme l'égalisation, La compréhension de ces notions de base du canal radio permette d'entamer les méthodes d'accès multiple à traverse ce canal. qui sera le thème du chapitre suivant.

Chapitre 2

Accès multiple par répartition de code CDMA

Introduction

Les communications radio mobile voient une évolution rapide avec une vitesse exponentielle mais, victimes à ses succès, elles arriveront à saturation d'ici quelques années à cause de la limitation du spectre radio. Les techniques employées pour accroître la capacité du système étaient l'accès multiple en temps et en fréquence. Pour répondre à l'explosion des applications multimédia, la prochaine génération des réseaux de communication sans fil devra être en mesure de transmettre des signaux très haut débit , avec différentes qualités de services, tout en permettant un déploiement rapide et une forte pénétration du marché, ce qui implique la nécessité d'améliorer les performances des systèmes et d'augmenter leurs capacité spectrales.

Ces nouveaux systèmes mettront en œuvre une autre technique adaptative à l'amélioration nette de l'efficacité d'utilisation du spectre par une réutilisation des bandes de fréquences impliquées, grâce à l'apparition d'autres méthodes d'accès telles que le CDMA (Code Division Multiple Access), cette technique permettront d'augmenter la capacité des systèmes radio mobiles, en réduisant les interférences co-canal des cellules voisines et en autorisant même l'utilisation d'un même canal par plusieurs utilisateurs.

Ce chapitre décrit le principe de la technique d'accès multiple CDMA ses caractéristiques et son application dans les communications radio mobile.

1. Les techniques d'accès multiples

Afin d'obtenir une utilisation efficace de canal radio, les utilisateurs des systèmes de communications, de plus en plus nombreux, sont amenés à cohabiter. Le problème posé par cette cohabitation, encore appelée "accès multiple", et notées par des sigles du type xDMA, [17] :

x Division Multiple Access qui consiste alors à examiner comment organiser l'accès d'un nombre important d'utilisateurs à un seul canal de communication commun, [18].

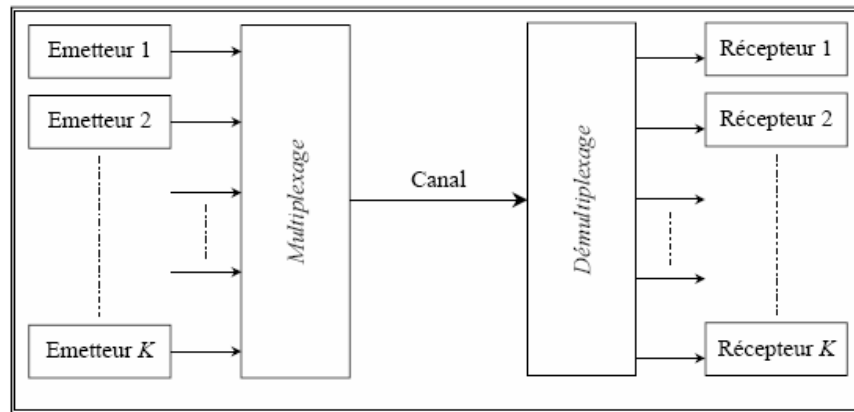


Figure 2.1 : Un système d'accès multiple.

Les techniques d'accès multiples dans le système de radio mobile sont basées sur l'isolation des différents signaux utilisés lors de diverses connections.

Pour cela, il existe principalement trois techniques d'accès multiple :

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

1.1. Accès multiples par la répartition de fréquences (AMRF, FDMA)

Dans les systèmes à accès multiple par répartition en fréquence, le domaine fréquentiel est divisé en bandes de fréquences et on associe une bande différente à chaque utilisateur de manière à éviter les recouvrements spectraux. Les utilisateurs peuvent donc transmettre de manière continue, mais sur une bande de fréquence limitée [19].

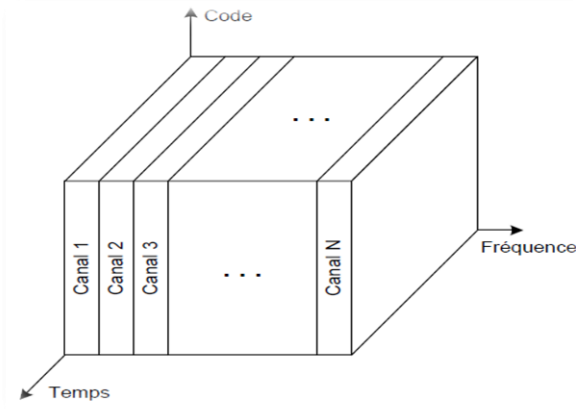


Figure 2.2: FDMA On associe une bande de fréquence différente à chaque utilisateur.

Le FDMA peut être appliqué de manière simple et à faible coût, il peut être utilisé dans des systèmes analogiques et numériques et la synchronisation entre utilisateurs n'est pas nécessaire. Par contre, il nécessite l'utilisation d'intervalles de garde entre les bandes de fréquences, ce qui diminue la largeur de bande utilisable, il nécessite l'utilisation des filtres de haute précision pour être efficace et il n'offre à chaque utilisateur qu'une largeur de bande relativement étroite.

1.1.1. Avantages

- ❖ Complexité faible pour le mobile.
- ❖ Transmission et synchronisation continues possibles: Quand les deux canaux de communication dans les deux sens ont été attribués, les deux extrémités émettent en continu et de façon simultanée.
- ❖ Modulation à faible débit : Avec une modulation numérique à enveloppe constante, les débits binaires atteints sont d'environ 1 bit/Hz. Dans un canal de 25 KHz, avec une transmission de 25 Kbits/s et un bit par symbole, la durée symbole est d'environ 40 μ s. L'interférence inter-symboles est alors très faible vu que les délais de propagations des trajets multiples sont rarement supérieurs à 5 μ s.
- ❖ Une meilleure gestion de ressources de transmission en cas de faible trafic, [20].

1.1.2. Inconvénients

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

1.2. Accès multiple à répartition dans le temps (AMRT, TDMA)

Dans les systèmes TDMA, on divise le domaine temporel en intervalles de temps et un seul utilisateur peut transmettre dans chaque intervalle. Les utilisateurs peuvent donc utiliser toute la bande passante, mais à tour de rôle.

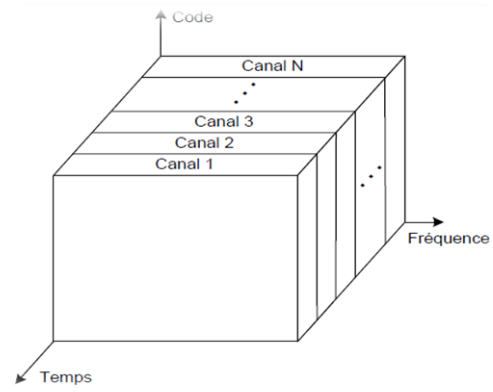


Figure 2.3: TDMA, On associe un intervalle de temps différent (de manière cyclique) à chaque utilisateur.

Le TDMA est particulièrement efficace pour les transmissions numériques, il permet une utilisation de la totalité de la largeur de bande disponible pour chaque utilisateur et il offre une flexibilité dans la gestion du trafic. Cependant, il nécessite

une synchronisation très précise entre tous les usagers et il ne permet pas les transmissions analogiques, [19].

1.2.1. Avantages

- ❖ Coût réduit de la station de base : Le principal avantage du système TDMA par rapport au système FDMA est de nécessiter moins de canaux radio. Ce qui entraîne une diminution du nombre d'équipements au niveau des stations de base.
- ❖ Pas de duplexeur full-duplex : Comme les émissions et les réceptions ont lieu sur les slots différents, le recours à un duplexeur n'est pas nécessaire.
- ❖ Souplesse de modification sur le débit transmis, [14].

1.2.2. Inconvénients

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

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

1.3. Accès multiple par répartition de codes (AMRC, CDMA)

L'accès CDMA « Code Division Multiple Access » est une technique totalement différente des deux précédentes. Les usagers d'un système CDMA utilisent tous la même bande de fréquence au même instant, la séparation entre les différents utilisateurs se fait par l'attribution d'un code pseudo aléatoire à chaque utilisateur. Les différents codes alloués doivent être des codes décorrélés afin de limiter les interférences entre les utilisateurs.

Dans un système CDMA un certain nombre de signaux sont émis simultanément dans la même bande de fréquence. Ils seront tous reçus par le récepteur CDMA, dont le rôle est d'extraire de l'ensemble des signaux reçus des données qui lui sont destinées.

Cette opération est possible en raison des propriétés de corrélation des codes utilisés par le système CDMA.

Le récepteur, connaissant le code utilisé par l'émetteur, est capable de retrouver les données transmises. En revanche, les autres signaux, utilisant des codes différents, seront éliminés en raison de leur faible corrélation avec le code employé par le récepteur.

Lorsque le niveau de bruit (ou plutôt d'interférence) est trop élevé, l'entité réceptrice ne peut plus retrouver le signal émis. Ce phénomène se produit lorsque les limites du système, en termes de capacité, sont atteintes, [19].

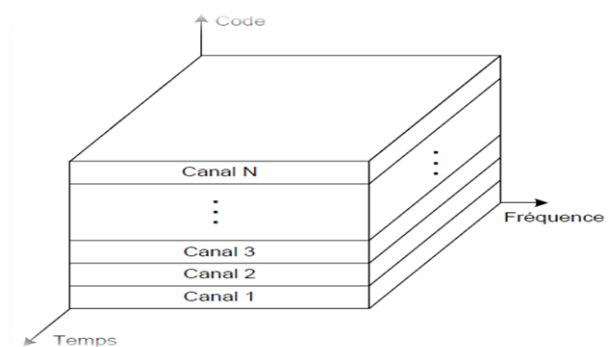


Figure 2.4 : Technique d'accès multiple CDMA.

1.3.1. Avantages

La 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 manière à 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, [20] :

❖ **Résistance aux interférences et immunité par rapport aux brouilleurs :**

Historiquement, la 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. La 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.

❖ **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 les militaires, 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. Deux problèmes apparaissent alors : 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 affectée 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.

- ❖ **Une faible consommation :** La 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.

1.3.2 Inconvénients

- ❖ Nécessité d'une égalisation intensive.
- ❖ Nécessité d'un contrôle de puissance très performant: C'est des principaux
- ❖ inconvénients de la méthode d'accès CDMA. Le contrôle de puissance rapide est le seul moyen permettant de maximiser le nombre d'utilisateurs communiquant en même temps dans le système.
- ❖ Complexité au niveau du mobile : Le traitement des informations reçues et émises est beaucoup plus important que dans les autres types de systèmes puisqu'il faut implanter un niveau de codage supplémentaire.
- ❖ Les récents articles (Pecora & al. 1990) et (Hasler, 1998) ont démontré qu'une transmission CDMA n'est pas sécurisée, due à la nature périodique des séquences d'étalement. Soit, tous les récepteurs dans le canal de transmission sont capables de déterminer le signal envoyé. Alors, la démodulation devient possible si le processus de construction du code d'étalement est bien connu et synchrone avec celui de l'émetteur, [21].

1.4. Comparaison entre les trois techniques

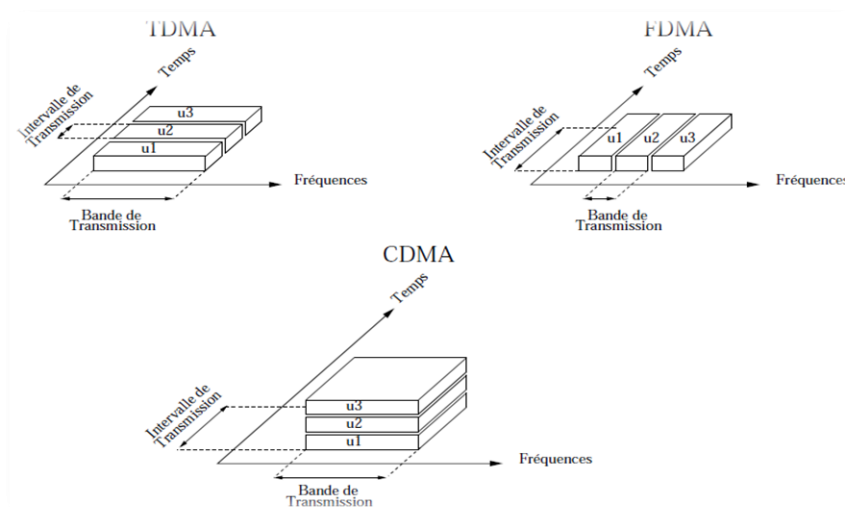


Figure 2.5 : Comparaison entre les différents accès multiples (FDMA-TDMA-CDMA).

En FDMA, un usager émet en permanence sur une petite partie de la bande B, qu'en TDMA, il émet pendant une petite partie du temps en utilisant toute la bande B, en CDMA, il émet en permanence dans toute la bande en utilisant une technique d'étalement de spectre. Pour que cela soit possible, il faut que les signaux émis par les divers usagers possèdent certaines propriétés permettant de les dissocier. Chaque usager se voit donc affecter, pour la durée de la communication, un code spécifique. Contrairement aux FDMA et TDMA où la capacité en nombre d'utilisateurs est limitée respectivement par les ressources fréquentielles et temporelles, en CDMA, le nombre d'utilisateurs est fixé par les propriétés des codes d'étalement utilisé, [22]. Le CDMA constitue donc une alternative aux FDMA et TDMA permettant d'augmenter la capacité des systèmes.

2. Étalement de spectre

Depuis les années 1940, les techniques d'étalement de spectre sont utilisées pour des applications militaires. Ces techniques fournissent une excellente immunité aux interférences et permettent à la transmission d'être cachée dans le bruit de fond. Récemment, les systèmes à étalement de spectre ont été adaptés pour des applications civiles et plus particulièrement dans les systèmes de téléphonie sans fil, [23].

Dans la chaîne de transmission des données, le bloc étalement de spectre" se trouve entre le bloc codage canal" et le bloc "canal" comme le montre le schéma (2.6). Le bloc "reconstruction signal" est le bloc inverse du bloc étalement de spectre".

Il transforme le signal large bande en signal bande étroite et donne, en sortie, les bits probablement émis. Le principe de l'étalement de spectre consiste à répartir l'énergie du signal à émettre sur une bande de fréquence plus large que celle réellement nécessaire à la transmission du signal utile. Les deux principales techniques de modulation par étalement de spectre sont la séquence directe (Direct Sequence Spread Spectrum) et le saut de fréquence (Frequency Hopping Spread Spectrum). Dans le cas de la séquence directe, l'énergie du signal est répartie sur toute la bande de fréquence disponible, alors que pour le saut de fréquence, la bande de fréquence disponible est divisée en un grand nombre de sous-canaux. La fréquence porteuse se déplace alors d'un sous-canal à l'autre par des sauts discrets pseudo-aléatoires.

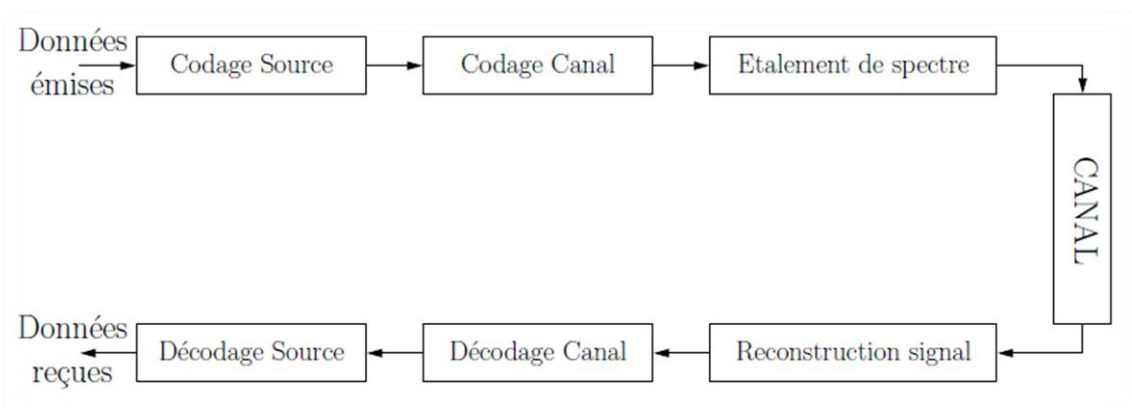


Figure 2.6 : Schéma d'une chaîne de transmission.

2.1. Principe de l'étalement de spectre [23]

L'étalement de spectre (en anglais *Spread Spectrum*) est une technique par laquelle plusieurs utilisateurs peuvent être présents simultanément sur une même bande de fréquence.

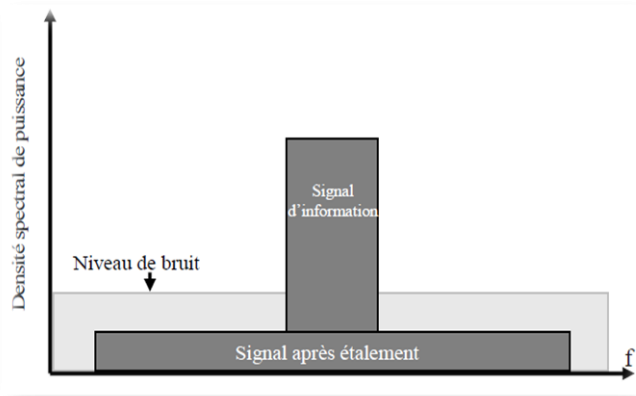


Figure 2.7 : Principe conceptuel de l'étalement de spectre.

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

Pour comprendre pourquoi l'étalement de spectre a eu tant de succès, il faut relire les travaux de Claude Shannon, qui a le premier formalisé ce concept. Commençant par la célèbre expression qui détermine la capacité d'un canal :

$$C = B \log_2 \left(1 + \left(\frac{S}{N} \right) \right) \quad (2.1)$$

Où C est la capacité du canal en bits par seconde, B la largeur de bande du signal transmis en hertz, S la puissance du signal en watt, N la puissance du bruit en watt et \log_2 la fonction logarithme en base 2. En développant en série cette fonction dans l'expression précédente, on peut facilement arriver à l'expression suivante :

$$C \approx \frac{B}{\ln(2)} \left(\frac{S}{N} \right) \Rightarrow \left(\frac{S}{N} \right) \approx \frac{\ln(2).C}{B} \quad (2.2)$$

On voit sur l'expression précédente qu'il existe un rapport inverse entre la largeur de bande B (la bande occupée par le signal de transmission) et le rapport

S/B (signal sur bruit) que l'on mesure à la réception. Plus précisément, on observe qu'un rapport signal sur bruit moins important est nécessaire pour conserver la même capacité de canal C si B augmente. C'est ainsi que l'on démontre les vertus de l'étalement de spectre : la largeur spectrale est accrue afin d'obtenir de bonnes performances à la réception, le rapport signal à bruit étant réduit au minimum.

Le paramètre clé dans tout système d'accès radio à étalement de spectre est le gain de traitement. Ce dernier (que l'on notera G_p « *Processing Gain* ») est défini comme le rapport entre la largeur de bande occupée par un bit d'information après et avant étalement. Si l'on note « B_{inf} » la largeur de bande occupée par un bit d'information avant étalement et « B_{spr} » la largeur de bande du signal étalé, le gain de traitement satisfait :

$$G_p = \frac{B_{spr}}{B_{inf}} \quad (2.3)$$

La valeur de ce paramètre représente la capacité des systèmes d'accès radio à étalement de spectre à rejeter l'interférence. C'est-à-dire que plus « G_p » est grand plus le système résiste au bruit.

2.1.1. Principe de l'étalement de spectre par séquence directe, [5].

Parmi les différentes techniques d'étalement de spectre, nous nous intéressons dans ce mémoire à celle qui est la plus couramment utilisée, à savoir, l'étalement de spectre par séquence directe. Elle consiste à additionner modulo-2 le message d'information numérique à un code pseudo aléatoire, aussi appelé signature, dont le débit numérique est supérieur à celui du message. Ainsi, la largeur de bande occupée par le signal émis est beaucoup plus importante que celle occupée par le message à transmettre. En notant T_d la durée d'un symbole et T_c celle d'un chip du code d'étalement tel que $T_d = \alpha T_c$ ($\alpha \in \mathbb{N}$), le signal émis a une largeur de bande $B = 1/T_c$ supérieure à celle du message à transmettre $B' = 1/T_d$. Le rapport entre ces deux largeurs de bande définit le gain d'étalement G_e :

$$G_e = B/B' = T_d/T_c \quad (2.1)$$

En réception, une opération de corrélation entre le signal reçu et une réplique synchrone du code d'étalement utilisé en émission, permet de restituer le message d'information (figure 2.8).

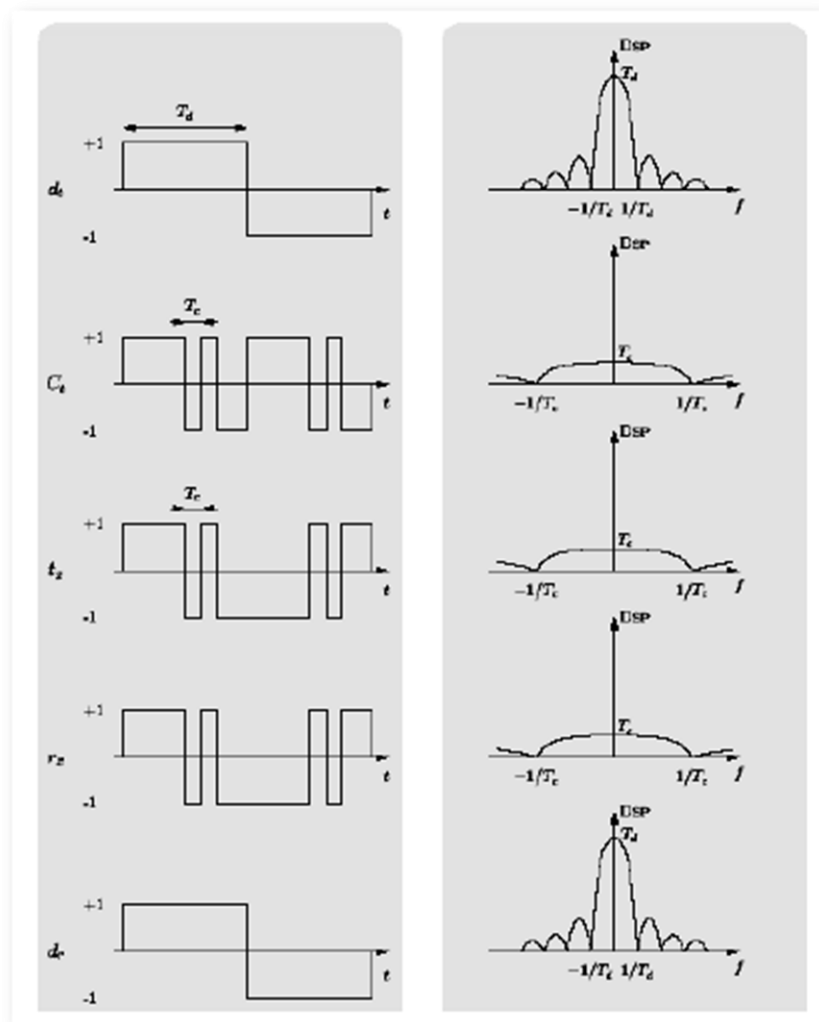


Figure 2.8 : Principe de l'étalement de spectre par séquence directe.

2.1.2. Direct Séquence CDMA

Il s'agit de la technique d'étalement de spectre la plus classique. C'est en quelques sortes un mélange des deux techniques plus connues que sont le TDMA (Time Division Multiple Access) et le FDMA (frequency Division Multiple Access). Cette fois, toutes les transmissions se font sur le même intervalle de temps et sur la même bande de fréquences. Chaque utilisateur est identifié grâce à un code qui lui est spécifique. Les données $d(t)$ sont représentées par une suite de (-1) et de 1,

appelés les bits. Le code $c(t)$ qui est utilisé pour différencier les utilisateurs est également constitué de (-1) et de 1, qui sont appelés les chips. La fréquence de chips est plus élevée que la fréquence de bits. (Par exemple quatre fois plus élevée sur la figure 2.9), [24].

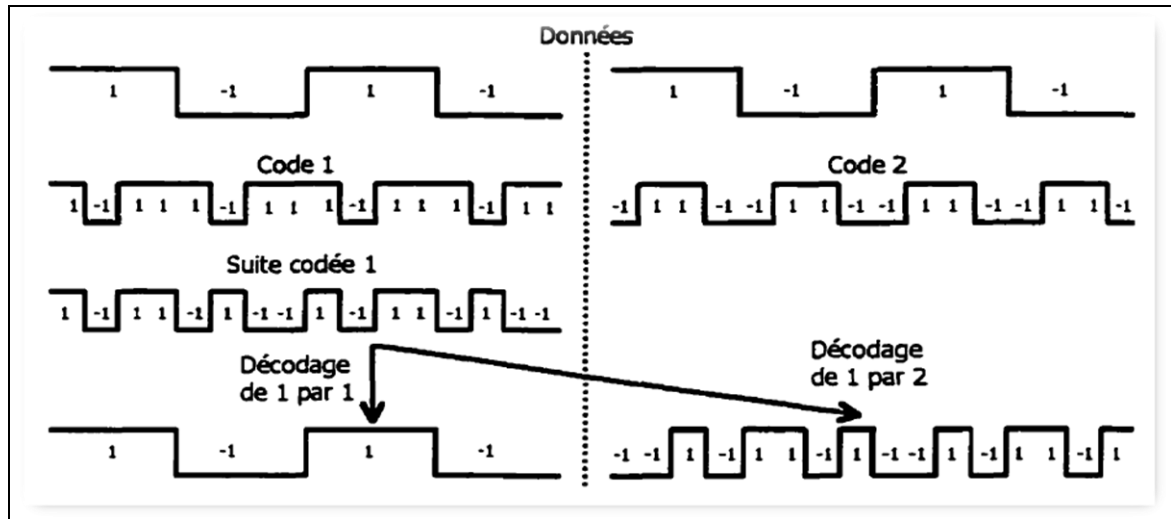


Figure 2.9 : Mécanisme du codage et du décodage.

Le codage consiste simplement à multiplier de manière synchronisée la suite de données par la suite du code. Si le signal modulé de puissance P s'écrit :

$$s(t) = \sqrt{2P} d(t) \cos[2\pi f_c t], \text{ le signal transmis s'écrit } s_1(t) = \sqrt{2P} c(t) \cos [2\pi f_c t].$$

On obtient donc une troisième suite $c(t)d(t)$ de (-1) et de 1 dont la fréquence est la même que la fréquence de chips (figure 2.10). La suite codée, multipliée par la suite du code, redonne, après filtrage passe-bas, la suite de données. En effet, $c^2(t) = 1$ donc multiplier deux fois par le code ne change pas la valeur initiale. L'opération de décodage est donc la même que l'opération de codage. L'opération de codage conduit à une diminution de la période du symbole donc à une augmentation de la largeur de bande. C'est pour cela que le CDMA est qualifié de technique d'étalement de spectre.

Le décodage nécessite simplement de connaître le code et d'être synchronisé avec le message codé. Si le signal décodé n'est pas celui qui correspond au code, si l'on n'utilise pas le bon code ou si la synchronisation entre le code et le message codé n'est pas bonne, le résultat du décodage sera une suite de (-1) et de 1 dont

la fréquence sera celle des chips et non celle des bits (figure 2.10). Le signal sera donc de nouveau étalé. En fait, le seul signal qui n'est plus étalé après le décodage, mais plutôt compressé, est celui pour lequel le code est bon (figure 2.11) [25].

En raison de la conservation de l'énergie, le niveau de densité spectrale de puissance maximal diminue lorsque l'étalement spectral augmente. En théorie, le signal de l'utilisateur voulu est donc identifiable et séparable de tous les autres signaux perturbateurs qui peuvent être du bruit, ou le signal d'un autre utilisateur. Dans la pratique de nombreux problèmes se posent.

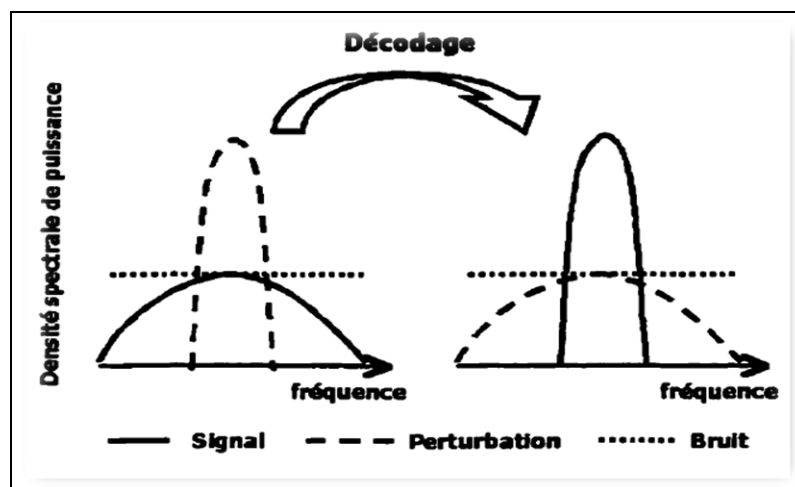


Figure 2.10 : Illustration du décodage, en fréquences.

3. Les codes d'étalement et d'accès multiples

Les communications qui nous intéressent sont les communications radiomobile. 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 inter-utilisateurs, obtenue grâce à la propriété d'orthogonalité des codes, et le traitement de la diversité, facilité par l'utilisation des codes ayant de bonnes propriétés en bande de base et 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 grâce à ces codes orthogonaux, les codes de Walsh-Hadamard sont dans ce cas les codes les plus utilisés. Lorsque la communication est asynchrone, cas de communication le plus délicat, les messages

sont émis avec des retards relatifs qui ne sont pas connus *a priori*. Dans ce cas, ces codes ne sont plus utilisés, car ils perdent leurs propriétés d'orthogonalité quand ils sont décalés les uns par rapport aux autres. Parmi les codes les plus utilisés pour ce type de communications asynchrones : les codes Gold, [26]. Les codes de Kasami, spécifiés pour la liaison montante du système UMTS, [27]. Ou les codes Barker. Ces derniers, les codes Barker, sont en nombre très limité et ne sont pas utilisés pour l'accès multiples.

4. Les applications de CDMA

Pour illustrer l'importance d'étalement de spectre CDMA dans les communications sans fil, nous présenterons brièvement deux systèmes exploitant la technique du CDMA et qui sont déjà appliqués dans les systèmes de communications mobile. Nous décrirons les caractéristiques principales de la norme IS-95 et le standard UMTS de la troisième génération, [17].

4.1 La norme IS-95

Le premier système mobile cellulaire de communication radio basé sur l'étalement de spectre est la norme IS-95. Cette norme a été développée aux Etats-Unis juste après l'apparition du GSM en Europe. IS-95 (cdmaOne) est basé sur la division de fréquence duplex (FDD). La largeur de bande disponible est divisée en canaux de 1,25 MHz [17].

4.1.1. Caractéristiques d'IS-95

- ❖ Étalement avec des codes WH (Walsh Hadamard) à 1,2288 Mchip/s (64 Codes), facteur d'étalement de 64.
- ❖ Orthogonalité maintenue avec des codes de scrambling à base de séquences à Longueur maximale.
- ❖ Modulations BPSK et QPSK (les parties en phase et en quadrature portent la même information).
- ❖ Codage canal: codage convolutif.
- ❖ Diversité temporelle: entrelacement matriciel sur des trames de 20 ms.
- ❖ Récepteur RAKE.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que la technique d'accès multiple CDMA se distingue des autres techniques (FDMA et TDMA) par sa robustesse aux brouillages et sa capacité d'un nombre important d'utilisateurs. Cette technique se divise en deux types FHCDMA et DS-CDMA. Ce dernier type est le plus utilisé dans le domaine de la communication mobile ; c'est pour quoi nous avons décrit en détails ses différentes parties de transmission. Et le principe d'étalement de spectre qui est la base de cette technique et enfin nous avons présenté brièvement quelque application de la technique d'accès DS-CDMA. Le chapitre suivant est consacré pour la simulation de cette technique avec le logiciel Matlab/simulink.

Chapitre 3

Simulation d'un système

DS-CDMA

Introduction

Après avoir étudié tous les aspects de l'accès multiple par répartition en code (AMRC) au chapitre précédent, nous allons consacrer ce dernier chapitre sera consacré à l'étude des performances d'un système CDMA à Séquence Directe par simulation sur le module simulink du Matlab Simulink dans deux cas différents.

La première partie de ce chapitre sera dédié à la présentation d'une chaîne de transmission DS-CDMA réalisée avec le logiciel Matlab Simulink et composée des trois organes : émission – canal – réception. La deuxième partie étudie des performances du système DS-CDMA en fonction des différents type de paramètres (la technique de modulation, le nombre d'utilisateurs K , l'effet des multi trajets) et en termes de taux d'erreurs binaire TEB. Nous terminons ce chapitre avec une conclusion.

1. Chaîne de transmission d'un system DS-CDMA

Le model d'un system DS-CDMA pour un seul utilisateur sans multitrajets est représenté dans la figure (3.1).

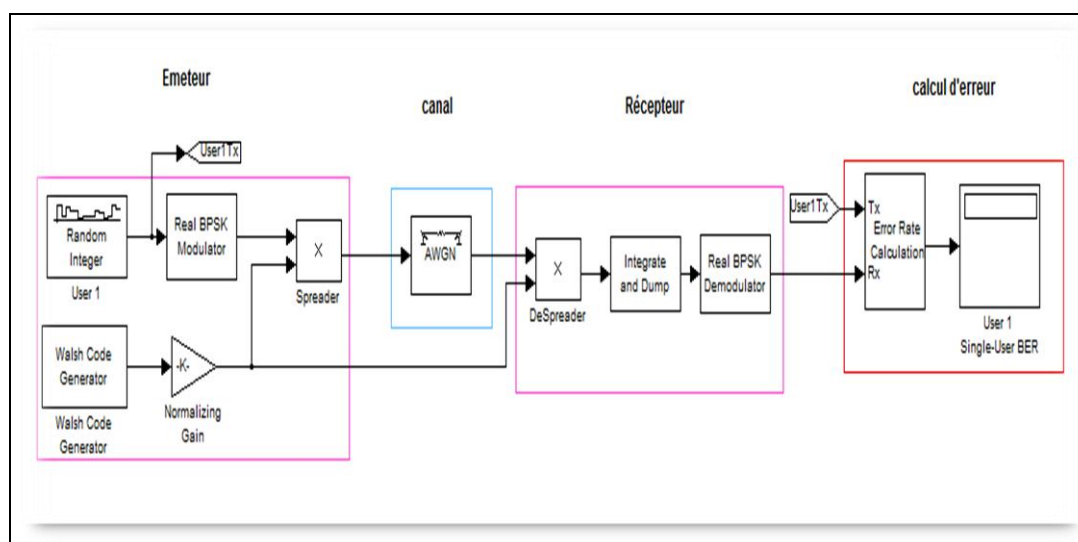


Figure 3.1 : chaîne de transmission DS-CDMA d'un seul utilisateur sons Multi-trajets.

La chaîne de transmission DS-CDMA que nous avons simulé comprend quatre étages :

- ✓ Emetteur.
- ✓ Canal.
- ✓ Récepteur.
- ✓ Le calculateur de TEB.

1.1. L'émetteur

Il est réalisé en utilisant les modules suivants :

- Un générateur de nombres entiers aléatoires.
- Un modulateur (BPSK ou QPSK).
- Un générateur de canal.
- Un normalisateur de gain.
- Un étaleur.

1.1.1. Générateur de nombres entier aléatoire (Random Integer Generator)

Le générateur des nombres aléatoire distribue uniformément les nombres entiers générés dans l'intervalle $[0, M-1]$ où M est le nombre (la taille) de la rangée. En Supposent que $M=2$, l'intervalle des nombres est $[0, 1]$. Le générateur des nombres aléatoires est conventionnellement utilisé comme une source d'information. Le bloc de paramètres utilisé dans Matlab / Simulink est donné en figure (3.2).

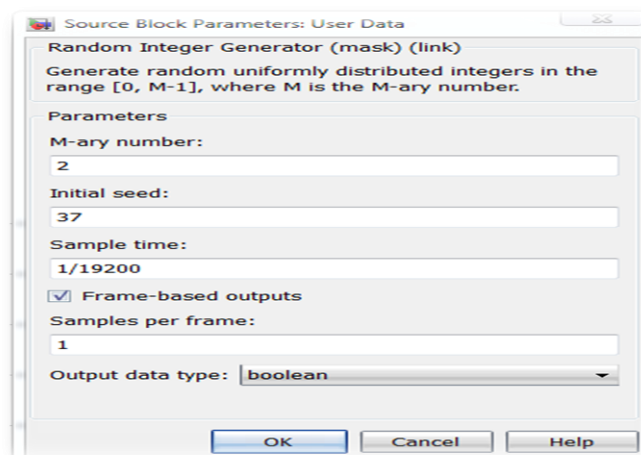


Figure 3. 2 : Bloc de paramètres du générateur de nombres aléatoires.

- ❖ M : la taille ($M=2$).
- ❖ Taille initiale : la taille du vecteur qui détermine la longueur du vecteur de la sortie. Elle est égale à 37.
- ❖ Période d'échantillonnage est choisit à $1/19200$ s (T_s).
- ❖ Le type de données de sortie c'est le type double.

La figure (3. 3) représente la sortie du générateur de nombres entiers aléatoires qui sont uniformément distribués dans l'intervalle $[0, M-1]$. Le spectre du signal généré est illustré en figure (3.4).

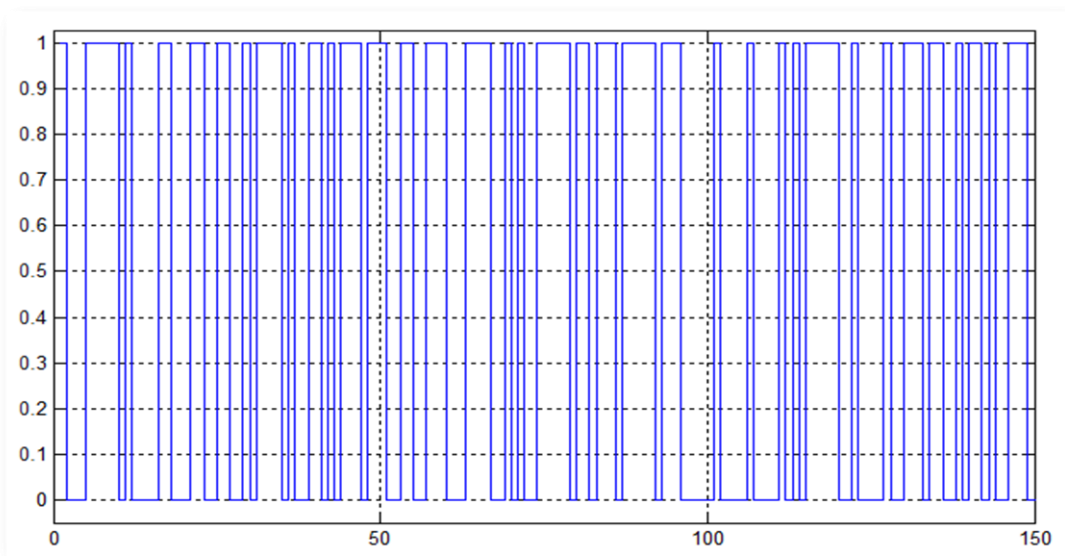


Figure 3.3 : Signal d'entrée au système DS-CDMA simulé.

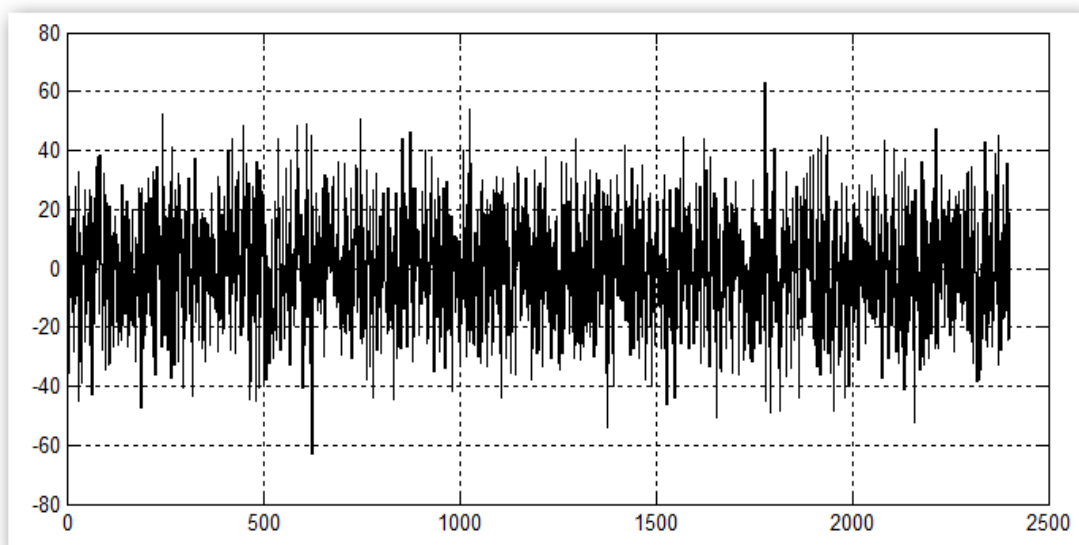
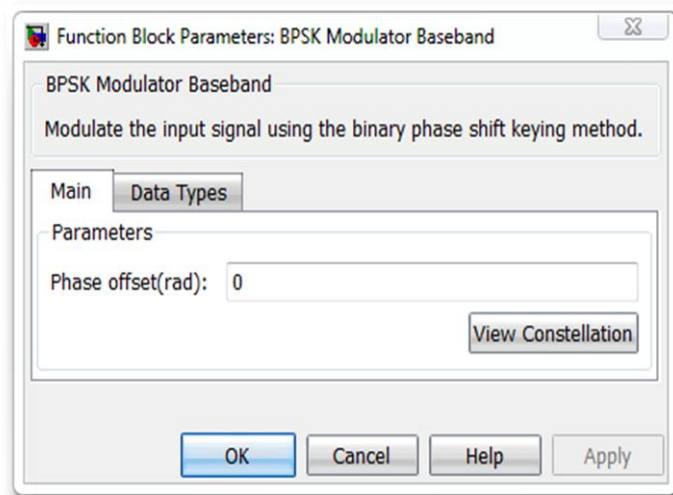


Figure 3. 4 : Spectre du signal d'entrée de la figure (3.3).

1.1.2. Modulation

Nous avons utilisé essentiellement deux types de modulation :

- **Modulation BPSK (BPSK modulator) :** La modulation est le processus de transformation des symboles numériques en formes d'onde, qui peuvent être envoyées par les canaux de transmission spécifiques. Dans ce cas, un signal d'information binaire module un signal sinusoïdal appelé onde porteuse. La porteuse est convertie en un signal électromagnétique qui peut être rayonné par une antenne. La modulation permet du signal transmis de telle sorte qu'une petite antenne de dimensions pratique peut être utilisée. Dans ce travail nous avons utilisé la modulation par déplacement de phase binaire M-PSK, où le signal déplace la phase de l'onde. Dans la modulation BPSK, il ya deux états de l'évolution soit de 0° à 180° ou vice versa. Ce bloc module le signal d'entrée en utilisant la modulation à décalage de phase binaire BPSK. Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure (3.5) apparaît avec le paramètre <<phase offset>> égale zéro.



La figure 3.5 : paramètres du modulateur BPSK de simulink.

La figure (3.6) décrit le signal obtenu à la sortie du modulateur BPSK.

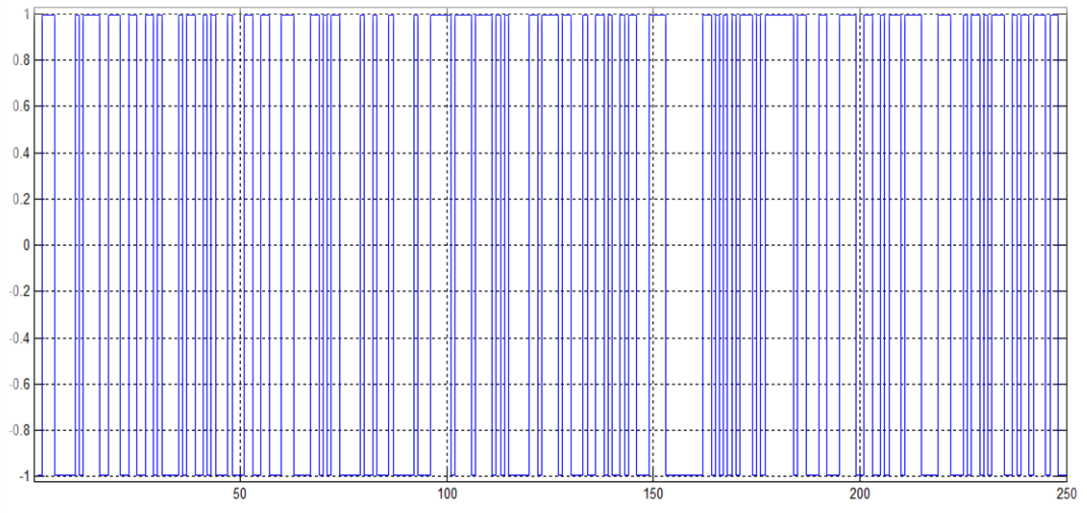


Figure 3. 6: Signal modulé en BPSK.

- **Modulateur QPSK :** Ce bloc module le signal d'entrée en utilisant la modulation à décalage de phase en quadrature qui est basé sur quatre états de phase. Après double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure (3.7) apparaît avec le paramètre phase offset fixé à $\pi/4$ radians.

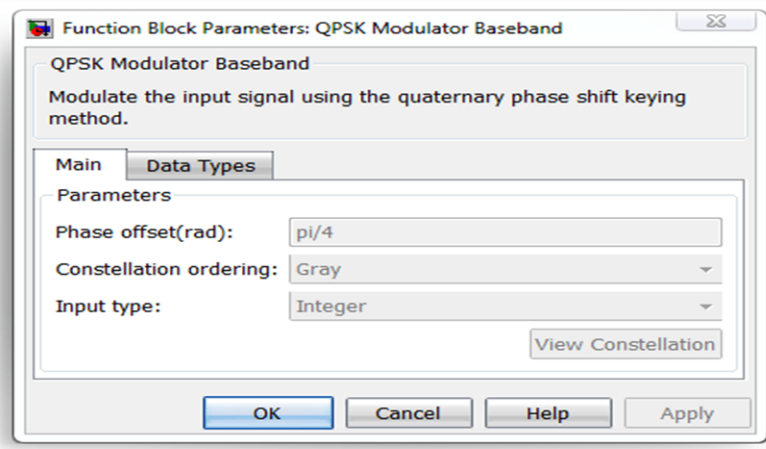


Figure 3.7: paramètre du modulateur QPSK à ajuster.

1.1.3. Générateur du code (Code Generator)

Nous avons utilisé essentiellement trois types de codes.

- **Générateur de séquence PN (PN-Séquences Generator) :** Ce bloc génère une séquence de code pseudo aléatoire (PN) en utilisant le registre à décalage à rétroaction linéaire. Les valeurs de l'entrée de ce registre sont présentées sous forme d'un vecteur binaire. Pour la représentation binaire,

le premier et dernier élément du vecteur doit être 1. L'état initial est un vecteur binaire qui représente l'état de départ du registre à décalage. Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure (3.8) permettant la configuration de la valeur indiquée.

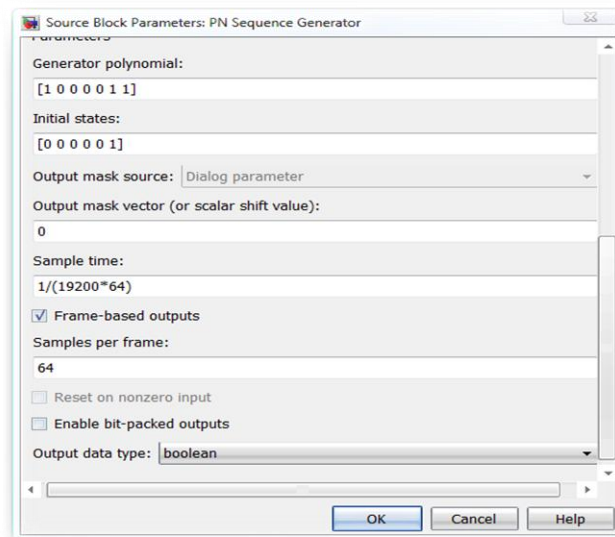


Figure 3.8 : configuration du générateur du code PN.

- **Générateur de code Gold (Gold Code Generator)** : Ce bloc permet de générer une séquence de code Gold à partir de deux générateur de code PN. Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure (3.9) permettant la configuration du ce bloc apparait ; ensuite les différents paramètres leurs sont affectés les valeurs comme indiquées.

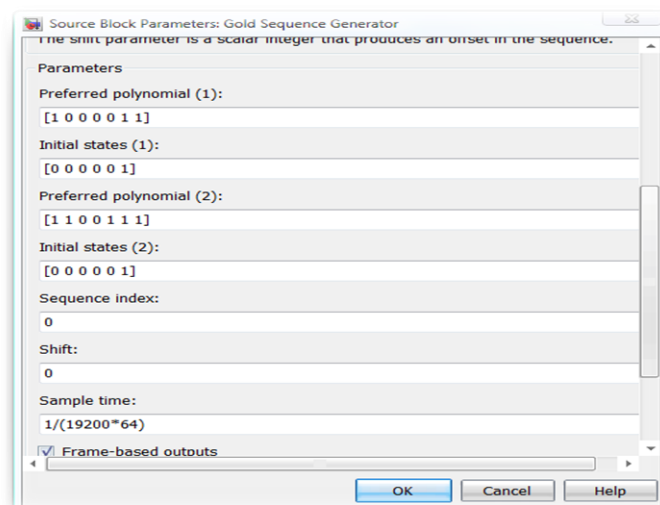


Figure 3.9 : configuration du générateur de code Gold.

- **Walsh code Generator** : Le bloc permet de générer un code Walsh à partir d'un ensemble de codes orthogonaux. Le paramètre index des codes est un scalaire qui varie dans l'intervalle $[0, N-1]$ ou N est la longueur du code. N doit être une puissance entière de 2. Le code de sortie est dans un format bipolaire $\{1, -1\}$. Après double clic sur ce bloc nous obtenons la fenêtre de la figure (3.10) avec les paramètres ajustables.

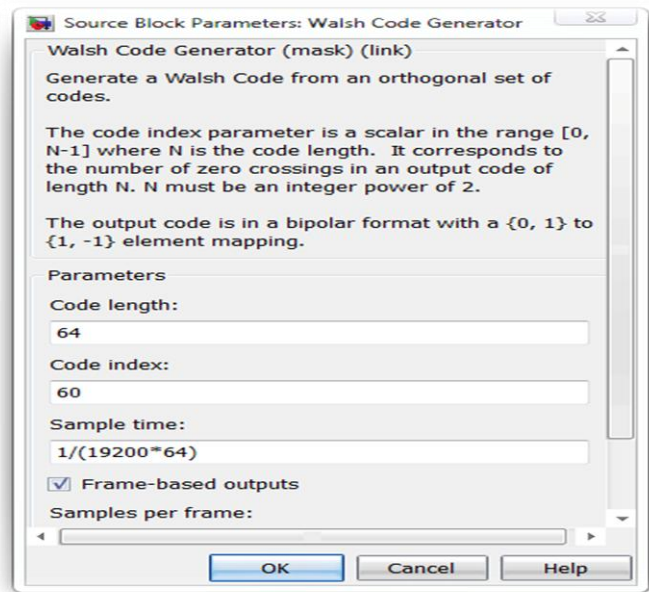


Figure 3. 10: paramètre du générateur du code Walsh.

La figure (3.11) décrit le signal obtenu à la sortie du générateur de code Walsh.

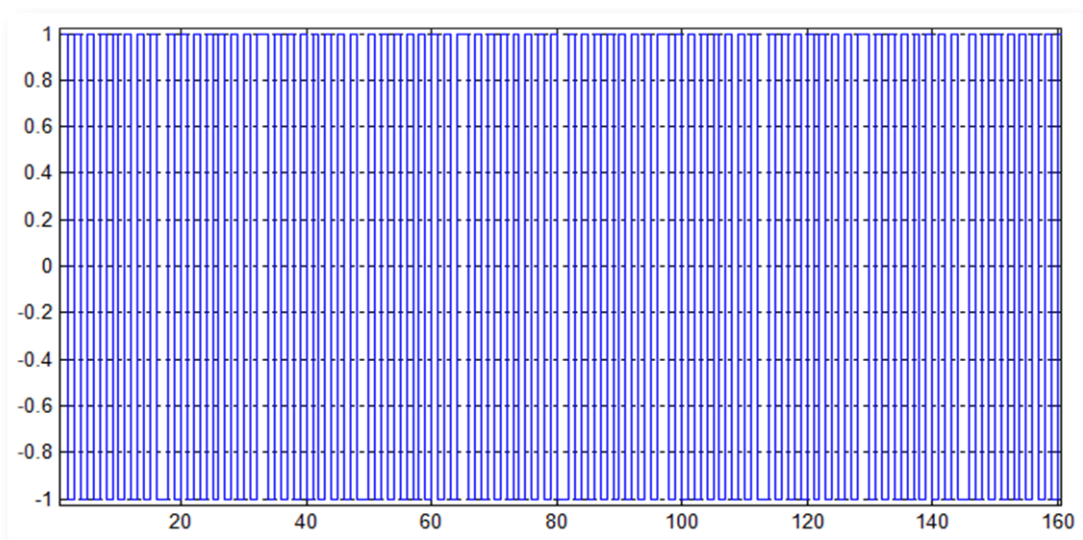


Figure 3.11 : signal à la sortie du générateur du code Walsh.

1.1.4. Gain normalisé (Normalized Gain)

Les signaux d'entrée sont étalés après le passage par l'étaleur. Mais l'énergie totale doit rester sans modification. Supposons que trois bits du signal original sont convertis en six bits après étalement. Alors l'énergie dans les six bits après étalement doit être égale à l'énergie des trois bits dans le message original. Pour maintenir l'énergie constante, la normalisation de gain est utilisée. Les paramètres sont fixés à : ($\text{Gain} = 1/\sqrt{63}$).

C'est le premier bloc par lequel passe le code, ou il est multiplié par une valeur constante. Après double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure 12 permettant la configuration du ce bloc apparait : Ensuite les différents paramètres sont ajusté aux valeurs indiquées.

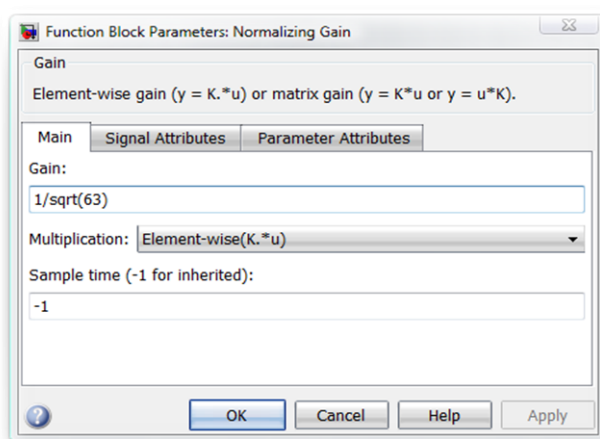


Figure 3.12 : Configuration du gain normalisé.

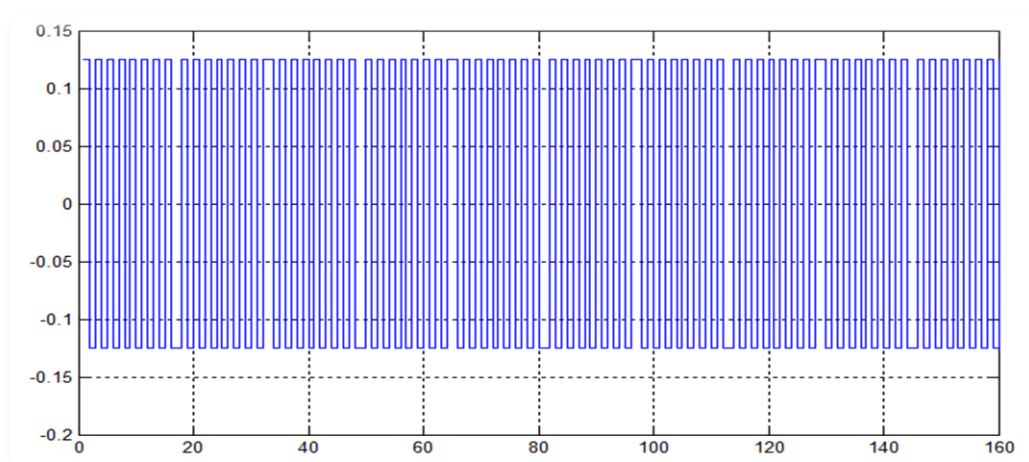


Figure 3.13 : Le signal de sortie du module code de Walsh après normalisation de gain.

1.1.5. Étaleur (Spreader)

L'étaleur est un multiplicateur, qui multiplie simplement les données d'entrée avec le code. Il y'a deux variables d'entrée dans les paramètres de ce bloc. Le nombre des entrées détermine combien d'entrées doivent être multipliées et aussi la multiplication est l'élément rationnelle.

Ce bloc permet l'étalement du signal d'entrée en le multipliant avec le code. A la sortie de l'étaleur on obtient le signal étalé. Après un double clic sur ce bloc, on obtient la fenêtre de la figure (3.14) permettant la configuration de ce bloc ; ensuite les différents paramètres sont ajuster les valeurs indiquées.

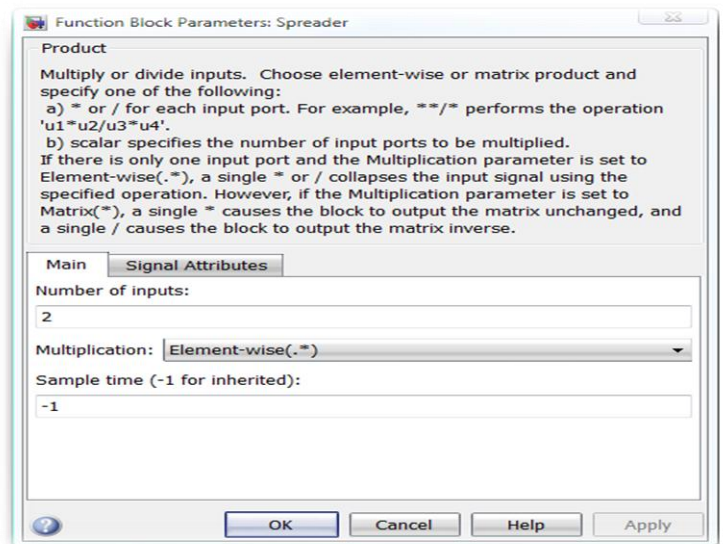


Figure 3.14 : Configuration de l'étaleur.

La figure 15 illustre l'allure du signal obtenu à la sortie de l'étaleur.

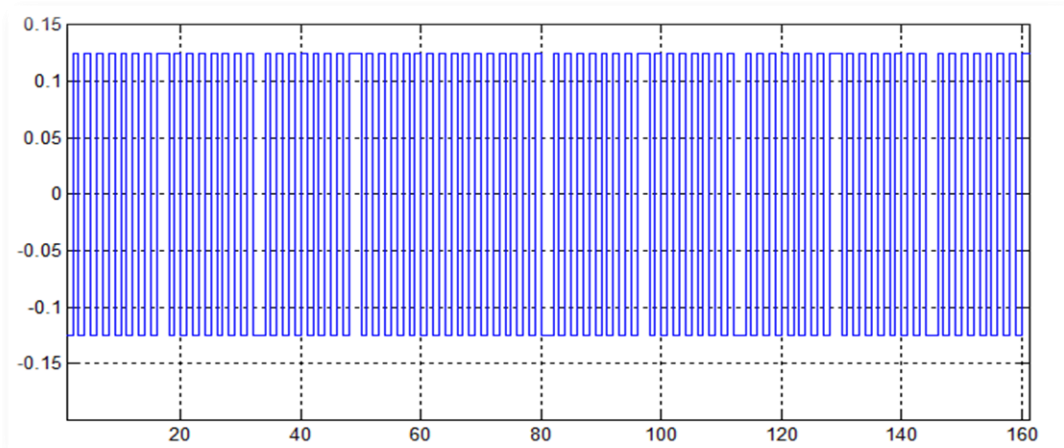


Figure 3.15 : Signal étalé.

1.2. Canal à bruit blanc gaussien additif AWGN (AWGN Channel)

Après que le signal soit transmis, il est envoyé à travers un canal à bruit blanc gaussien additif. La sortie du canal AWGN est composée du signal d'information plus le bruit. La figure (3.17) représente le signal après le passage par le canal bruité AWGN avec un rapport signal sur bruit $SNR=10\text{dB}$. Ce bloc permet d'ajouter un bruit blanc gaussien additif au signal d'entrée. Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure (3.17) pour la configuration de ce bloc apparaît ; ensuite les différents paramètres sont ajustés aux valeurs indiquées.

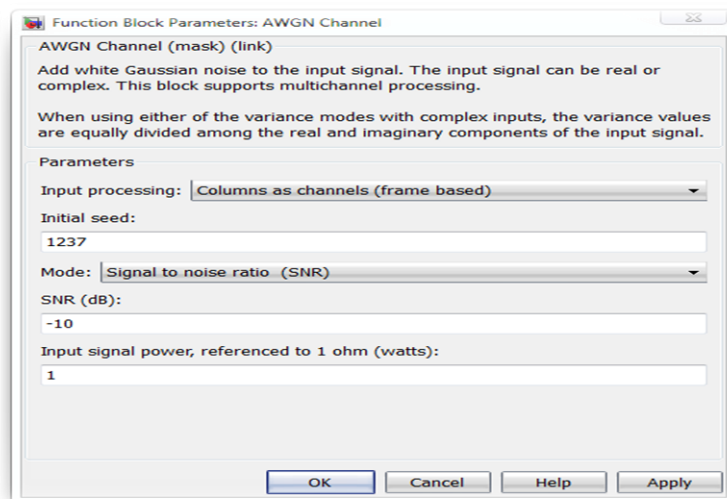


Figure 3. 16 : Configuration du canal AWGN.

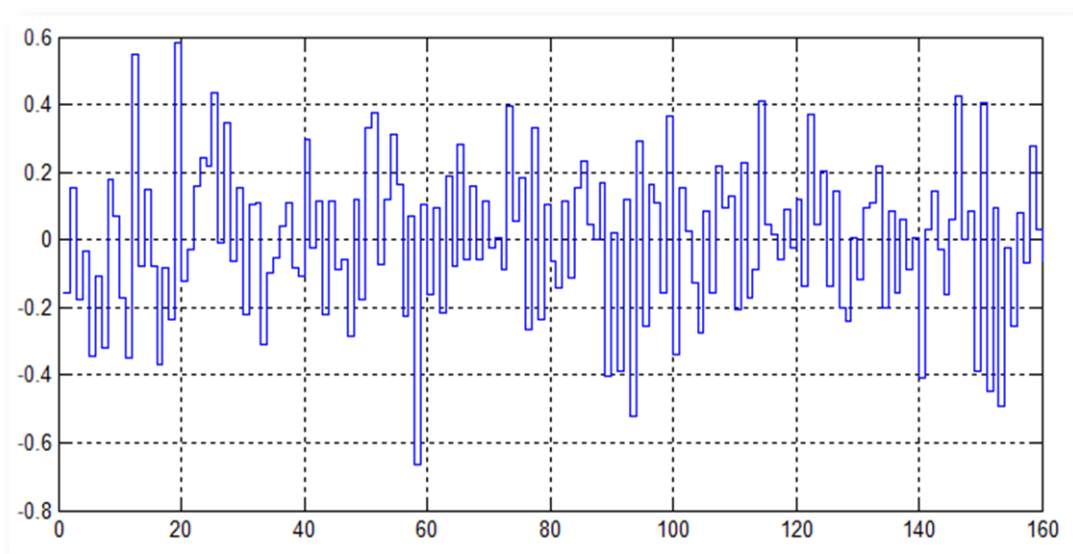


Figure 3. 17 : Signale à la sortie du canal bruité AWGN.

1.3. Récepteur

Il est réalisé en utilisant les modules suivants :

- Un générateur de nombres entiers aléatoires.
- Un modulateur (BPSK ou QPSK).
- Un générateur de canal.
- Un normalisateur de gain.
- Un étaleur.

1.3.1. Désétaleur (Despreader)

Le désétaleur est similaire à l'étaleur. Dans ce cas la séquence de code est multipliée par le signal de sortie, de façon à ce que le signal soit décodé complètement.

Ce bloc permet le désétalement du signal reçu. Après, la fenêtre de la configuration de ce bloc apparaît à la figure (3.18) ; ensuite les différents paramètres sont ajustés aux valeurs indiquées.

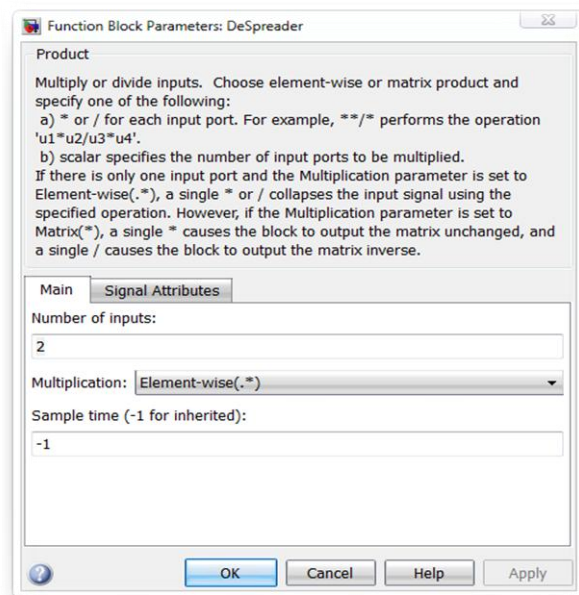


Figure 3. 18 : Configuration du désétaleur.

1.3.2. Intégration et effacement par vidage (Integrate and Dump)

Ce bloc intègre le signal d'entrée en un temps discret et voit qu'il est entre la valeur absolue de K -entiers. Comme il se réinitialise après un certain temps, le signal intègre et envoie le résultat au port de sortie tout en effaçant l'état interne pour l'étape suivante. Les paramètres de l'Intégration sont (période d'intégration, temps d'échantillonnage).

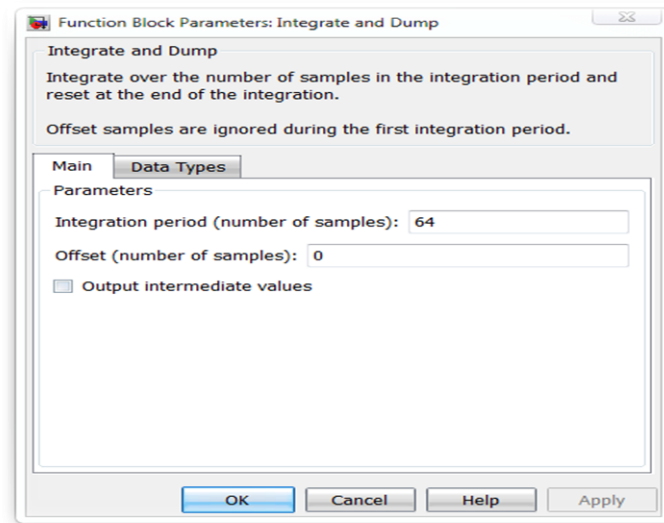


Figure 3. 19 : configuration du module Integrate and dump.

1.3.3. Démodulateur BPSK (BPSK Demodulator)

Le signal reçu passe directement vers le démodulateur où il est démodulé avec les mêmes paramètres du modulateur. La figure (3.20) montre le signal obtenu à la fin de la démodulation BPSK.

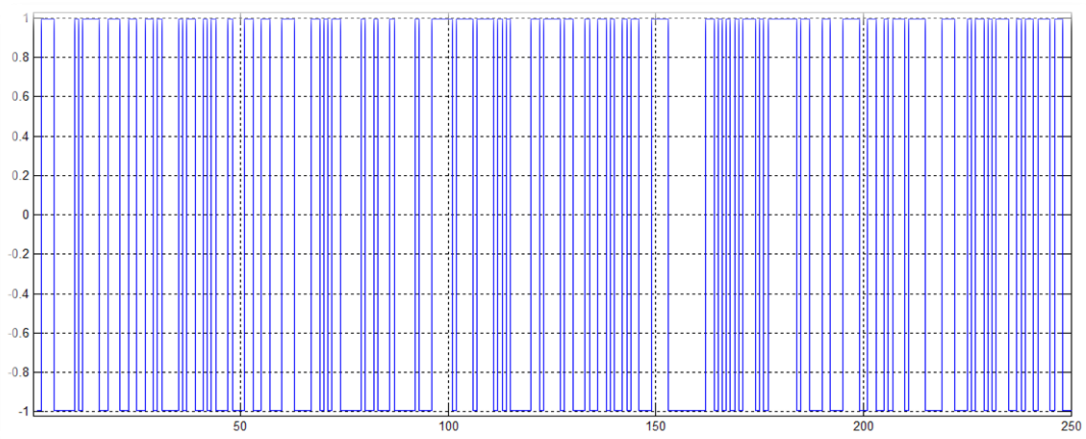


Figure 3. 20 : Signal après démodulation BPSK.

1.4. Le calculateur TEB

Ce bloc est utilisé pour avoir une idée concrète et instructive sur la détérioration subie par le signal en fonction du niveau du bruit .En effet ce bloc permet le calcul du taux d'erreur binaire TEB. La sortie de ce bloc est un vecteur à trois éléments comprenant le taux d'erreur, suivi par le nombre d'erreurs détectées et le nombre total de symboles .Ce vecteur peut être envoyé soit à l'espace de travail ou vers un port de sortie.

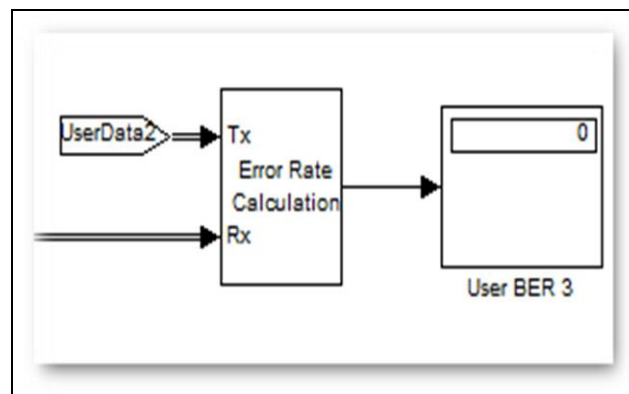


Figure 3.21 : calculateur du TEB.

Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la configuration du ce bloc apparait figure (3.22); Ensuite les différents paramètres sont ajustés aux valeurs indiquées.

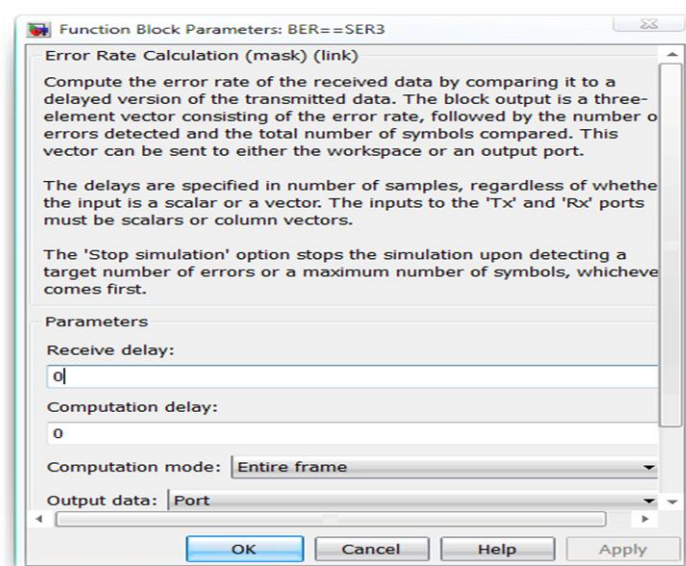


Figure 3.22 : Fenêtre de configuration du bloc calcul d'erreur.

La figure (3.23) représente le signal d'entrée pour un RSB=20 dB

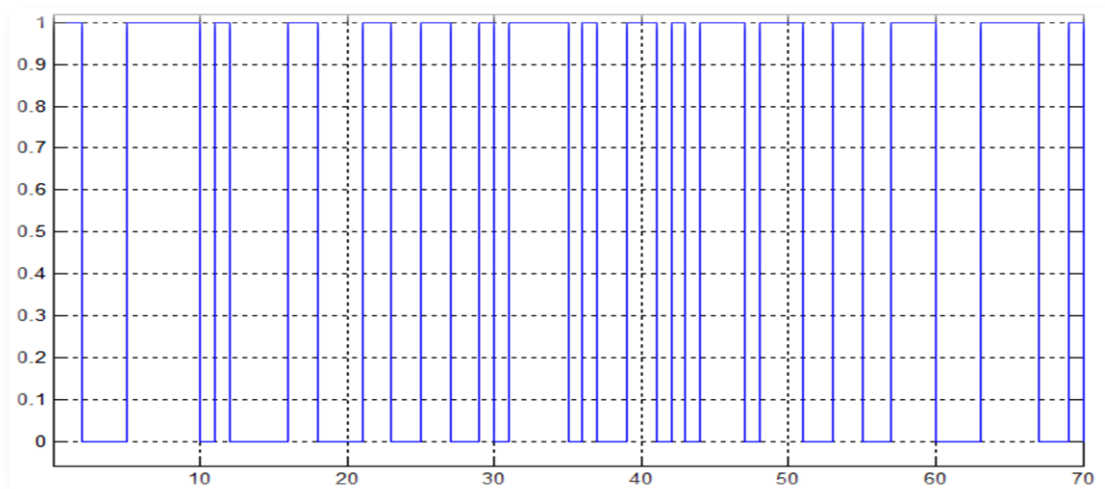


Figure 3.23 : le signal d'entré.

La figure (3. 24) représente le signale de sortie pour un RSB =20dB.

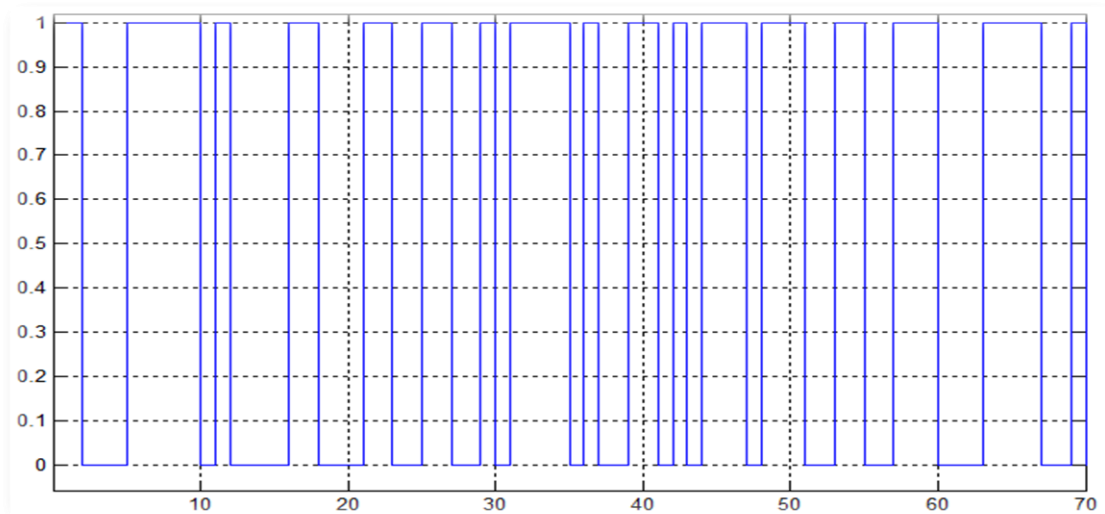


Figure 3.24 : le signal restitué à la sortie.

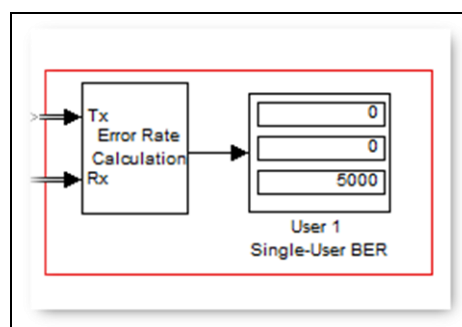


Figure 3.25 : le taux d'erreur binaire pour un RSB =20dB.

Dans le cas idéal, pour un RSB important et en absence des multitrajets, nous concluons que la restitution du signal en bande de base est parfaite et ne présente aucune erreur.

2. Etude des performances d'un système DS-CDMA

2.1 Effet de l'influence du rapport signal sur bruit

Pour avoir une idée concernant l'effet du RSB sur les performances du système DS-CDMA nous avons simulé un canal pour un RSB = -10dB. Après la comparaison entre le signal d'entrée figure (3. 26) et le signal restitué figure (3. 27) nous avons conclu que plus le RSB se diminue plus le nombre d'erreurs augmente ce qui implique une mauvaise restitution du signal.

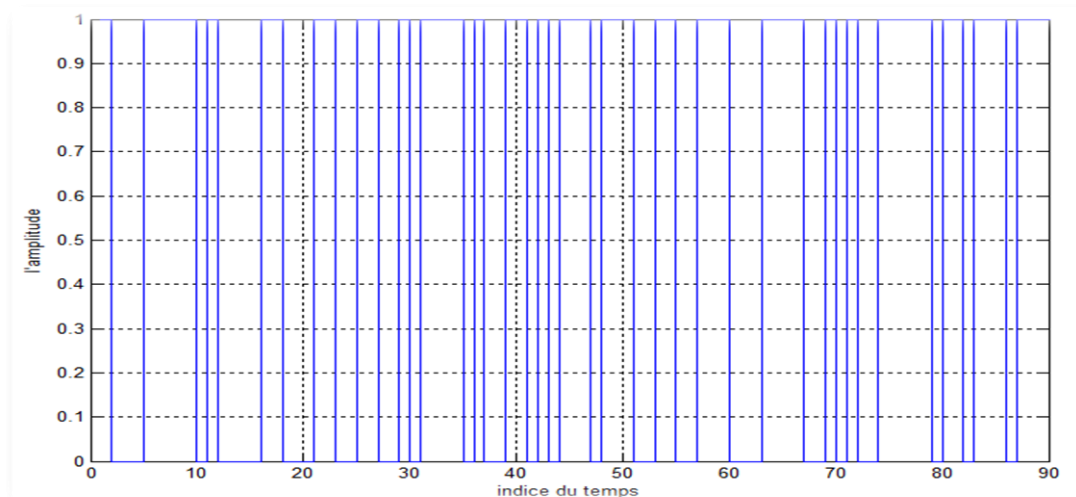


Figure 3.26 : le signal d'entrée pour un RSB = -10 dB.

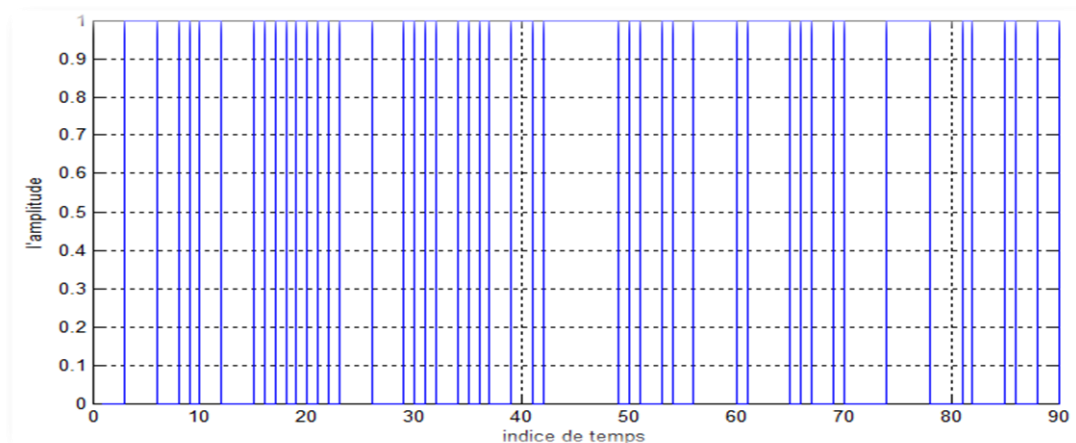


Figure 3.27 : Le signal restitué pour un RSB= -10 dB

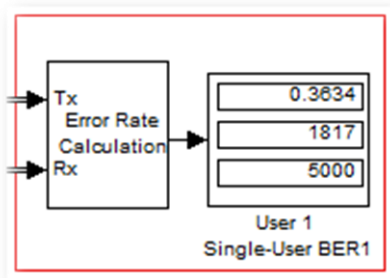


Figure 3.28 : Le taux d'erreur binaire pour un RSB = - 10 dB

2.2. Effet de la taille M de la modulation

➤ Expérience (1)

Dans notre expérience en choisissant les codes PN, GOLD, WALSH et les paramètres tels que indiqués dans le tableau 1, nous avons utilisé les modulations BPSK et QPSK. Les variations du TEB en fonction du RSB sont données dans la figure (3. 29). Une étude comparative entre les modulations BPSK et QPSK permet de conclure clairement que les performances des systèmes DS-CDMA sont meilleures dans le cas de la BPSK.

Paramètre	Valeur
Le temps de simulation	0.25s
Le nombre de symboles	5000symboles
La fréquence d'échantillonnage	20000 Hz
le temps d'un symbole	$T_s = 1/20000$ s
Le temps d'un chips	$T_c = 1/(20000 * 64)$
Type de modulation	M-PSK
La taille de la constellation	2, 4
Code	PN, GOLD, WALSH
La longueur du code	64
Canal	AWGN, RSB= [-5,20[
Nombre d'utilisateur	2 utilisateurs

Tableau 3. 1 : Paramètres de la simulation de l'expérience (1).

✓ Le code Walsh

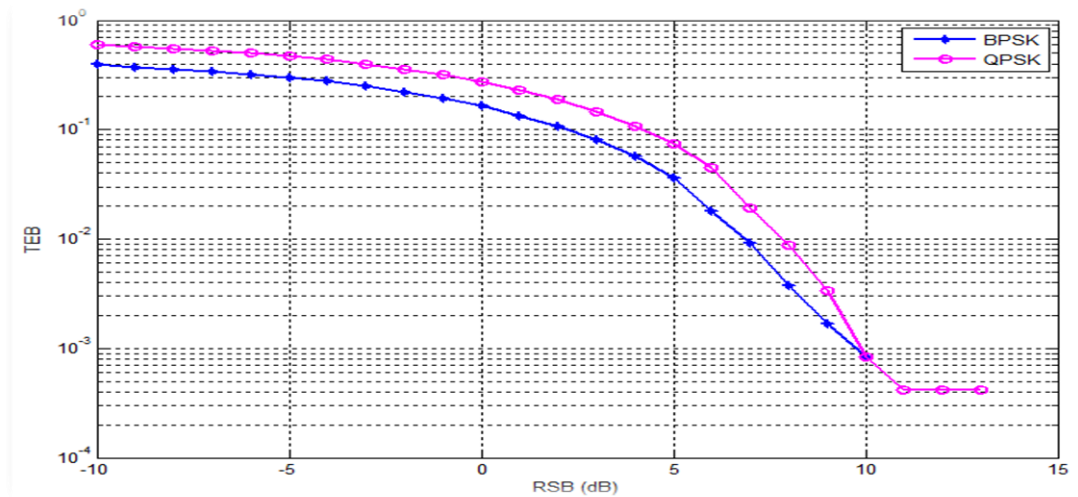


Figure 3. 29 : variation du TEB en fonction du RSB pour les deux constellations BPSK et QPSK.

✓ Le code PN

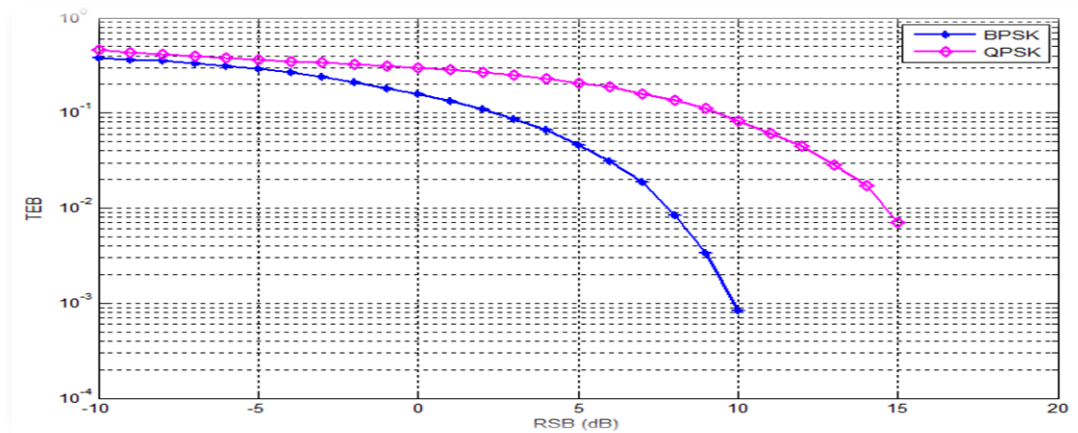


Figure 3. 30 : Variation du TEB en fonction du RSB pour les deux constellations.

✓ Le code GOLD

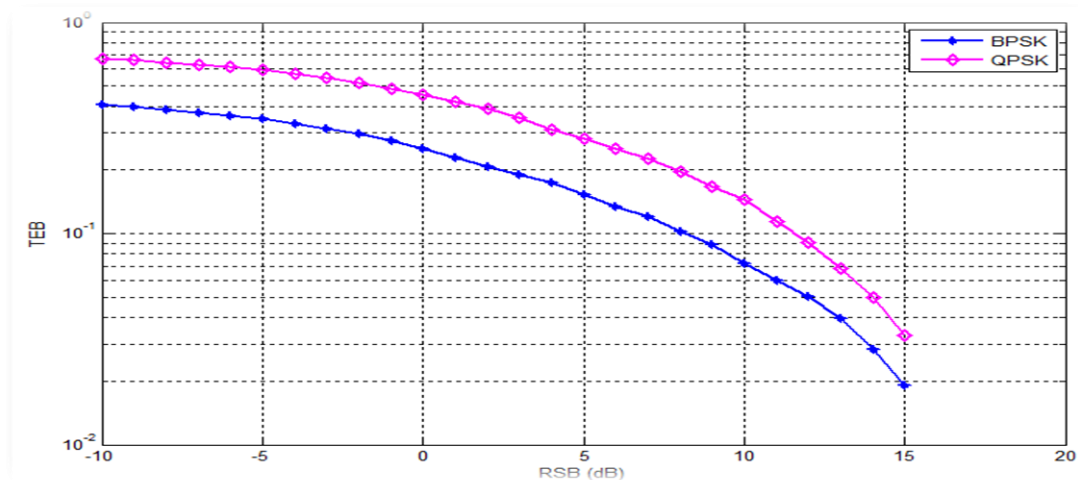


Figure 3. 31 : variation du TEB en fonction du RSB pour les deux constellations.

➤ Commentaire

Le même phénomène peut être observé pour les trois codes. Nous pouvons conclure que, plus la taille M de la modulation PSK est grand plus les performances du système se dégradent. Les constellations de la modulation QPSK pour les différentes valeurs du RSB sont représentés sur la figure 32. Nous observons clairement que plus le RSB est grand et plus nous arrivons à distinguer les quarts symboles de la modulation QPSK.

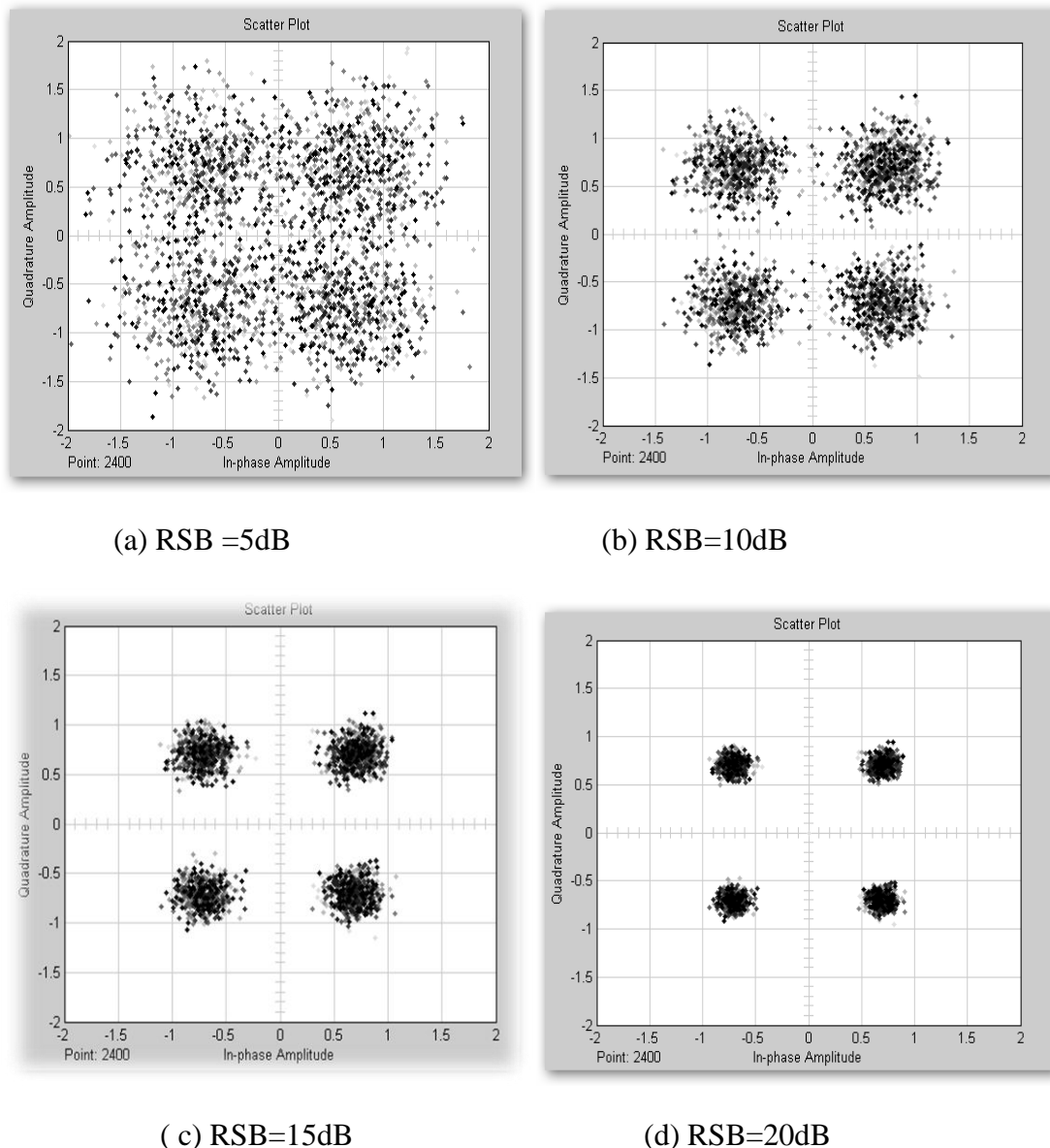


Figure 3.32 : constellation de la modulation QPSK pour le code Walsh et différents valeurs du rapport signal sur bruit RSB.

2.3. Effet du nombre d'utilisateur

➤ Expérience (2)

Dans cette expérience nous allons étudier l'effet du nombre d'utilisateurs sur les performances du système. Nous calculons le TEB pour un nombre d'utilisateurs allant de 1 à 6 et différentes valeurs du RSB afin de tracer les six courbes de TEB en utilisant les codes suivants : WALSH, PN, GOLD.

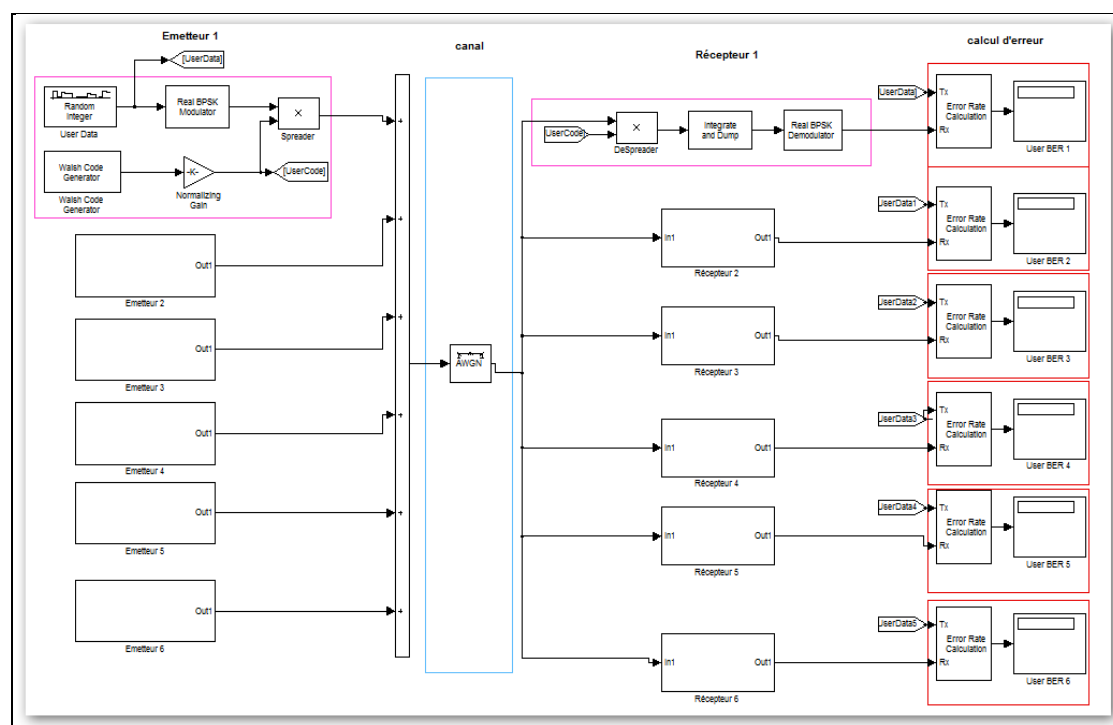
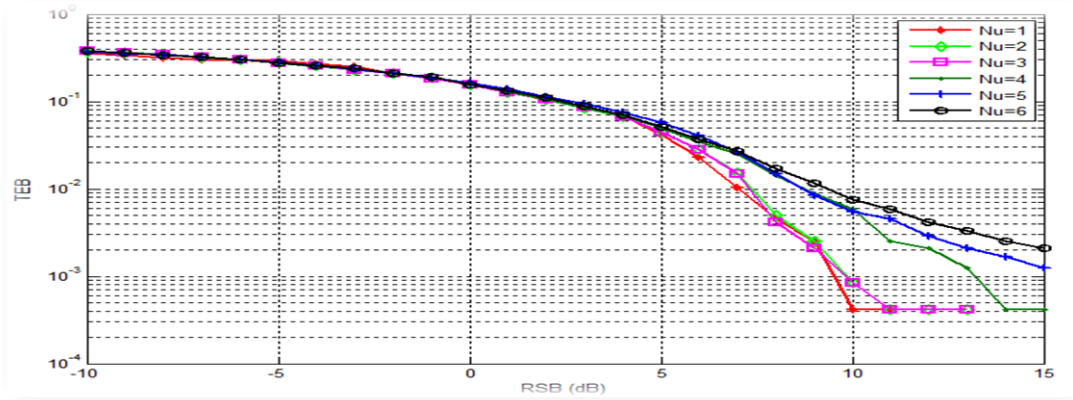


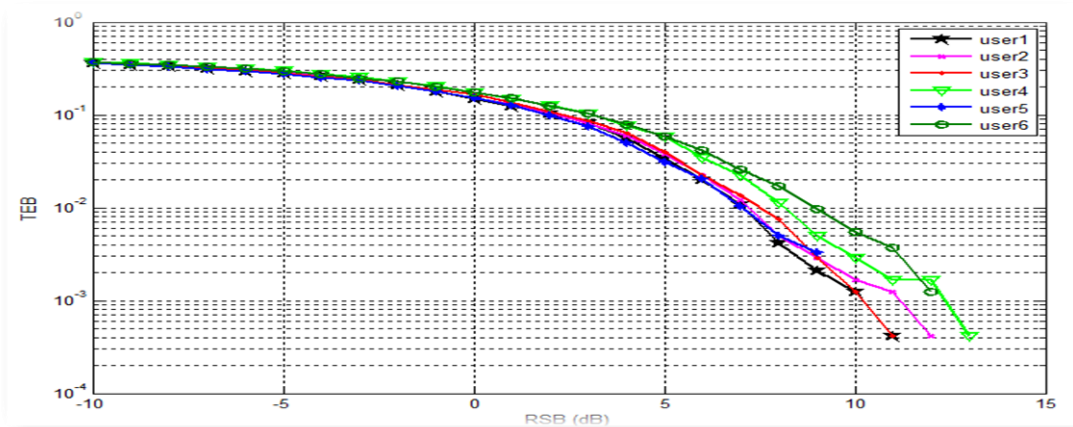
Figure 3. 33 : Schémas de simulation du système DS-CDMA simulé.

Paramètre	Valeur
Le temps de simulation	0.25s
Le nombre de symboles	5000symboles
La fréquence d'échantillonnage	20000 Hz
le temps d'un symbole	$T_s = 1/20000$ s
Le temps d'un chips	$T_c = 1/(20000 * 64)$
Type de modulation	M-PSK
La taille de la constellation	2
Code	PN, GOLD, WALSH
La longueur du code	64
Canal	AWGN, RSB= [-5,20[dB
Nombre d'utilisateurs	1-6 utilisateurs

Tableau 3. 2 : paramètres de simulation de l'expérience (2).

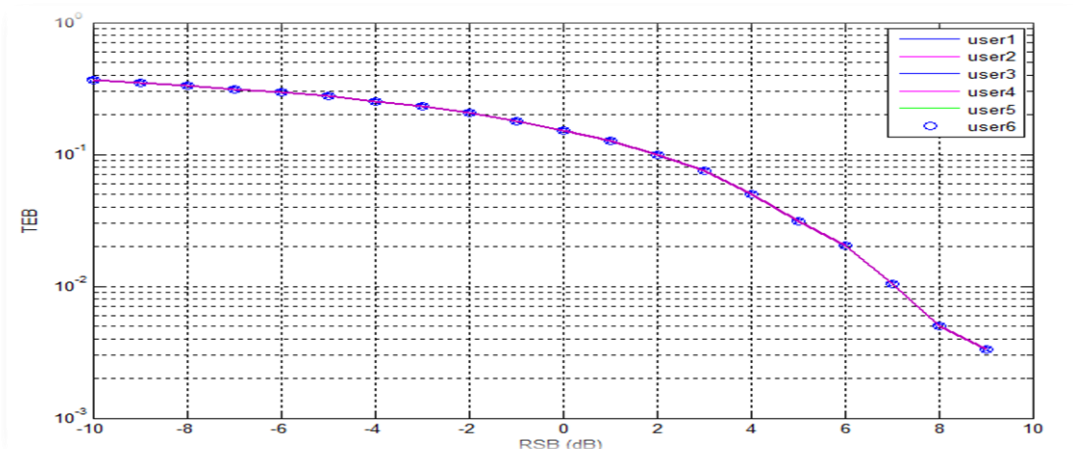


(a) Code gold



(b) Code PN

Pour les petites valeurs du RSB, le TEB ne change pas malgré la variation du nombre d'utilisateurs. Pour des valeurs de RSB élevé l'augmentation du nombre d'utilisateurs dégrade les performances du système à cause de l'interférence d'accès multiple (IMA) due aux autres signaux.



(c) Code Walsh

Figure 3. 34 : Variation de TEB en fonction du RSB pour différents utilisateurs.

Pour le code Walsh l'augmentation du nombre d'utilisateurs n'a aucune influence sur les performances du système.

2.4. Comparaison des trois codes WALSH, PN, GOLD

➤ Expérience (3)

Nous avons comparé les trois codes pour un nombre d'utilisateurs $N_u=6$. Nous avons présenté sur la figure (3. 35) le TEB en fonction du RSB pour les trois codes considérés.

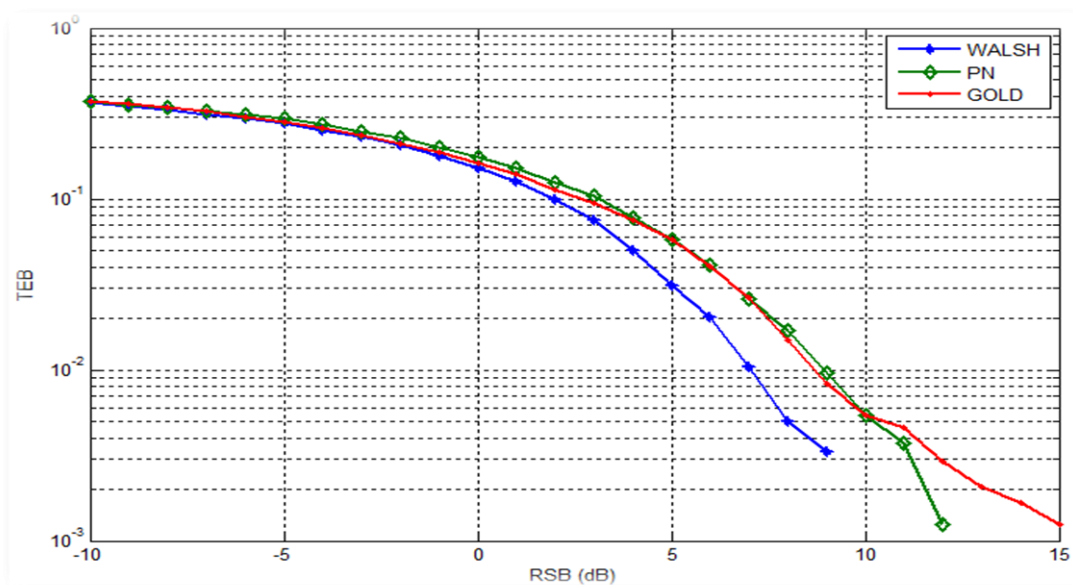


Figure 3. 35 : variation du TEB en fonction du RSB pour différents codes et un nombre d'utilisateurs Fixé à 6.

Nous pouvons conclure aisément que le code Walsh présente les meilleures performances ; ce qui explique d'ailleurs son utilisation très courante dans les systèmes DS-CDMA.

2.5. Effet de la longueur du code Walsh

➤ Expérience (4)

Il reste à vérifier l'effet de la longueur du code Walsh, sélectionné comme étant le meilleur, sur les performances du système. Dans ce but nous avons réalisé une expérience ou nous avons testé le code Walsh pour trois longueurs différentes

tout en choisissant les paramètres indiqués dans le tableau. Les résultats sont illustrés sur la figure (3.36).

Paramètre	Valeur
Le temps de simulation	0.25s
Le nombre de symboles	5000symboles
La fréquence d'échantillonnage	20000 Hz
le temps d'un symbole	$T_s = 1/20000$ s
Le temps d'un chips	$T_c = 1/(20000 * 64)$
Type de modulation	M-PSK
La taille de la constellation	2
Code	WALSH
La longueur du code	64, 16, 4
Canal	AWGN, RSB= [-5,20[dB
Nombre d'utilisateurs	1-6 utilisateurs

Tableau 3. 3: Paramètre de simulation choisis pour étudier l'effet de la longueur du code Walsh.

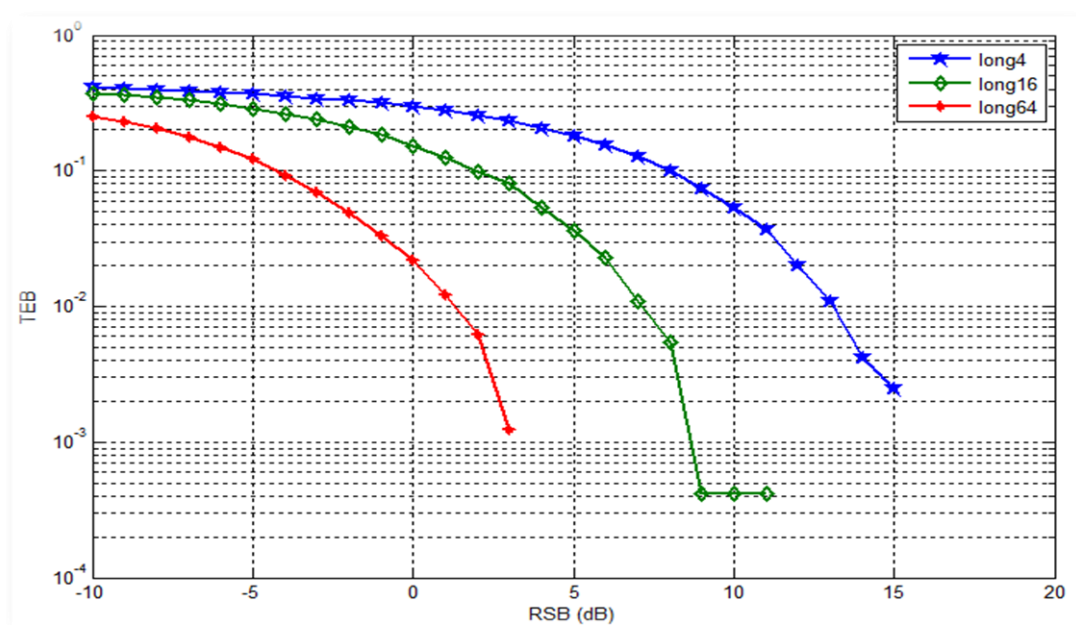


Figure 3. 36 : effet de la longueur du code Walsh sur les performances du système DS-CDMA.

Ces résultats permettent de conclure que l'augmentation de la longueur du code orthogonal (Walsh) réduit le niveau du bruit ce qui se traduit par une diminution du taux d'erreur et, par conséquent, par une amélioration des performances du système DS-CDMA.

2.6. Effet des multi trajets

➤ Expérience (5)

Dans cette expérience nous avons effectué une comparaison entre un canal AWGN sans multitrajets et un canal AWGN avec multitrajets et en étudiant les variations du TEB en fonction du RSB. Les paramètres choisis lors de l'expérience sont donnés dans le tableau. Les résultats sont présentés à la figure (3.40).

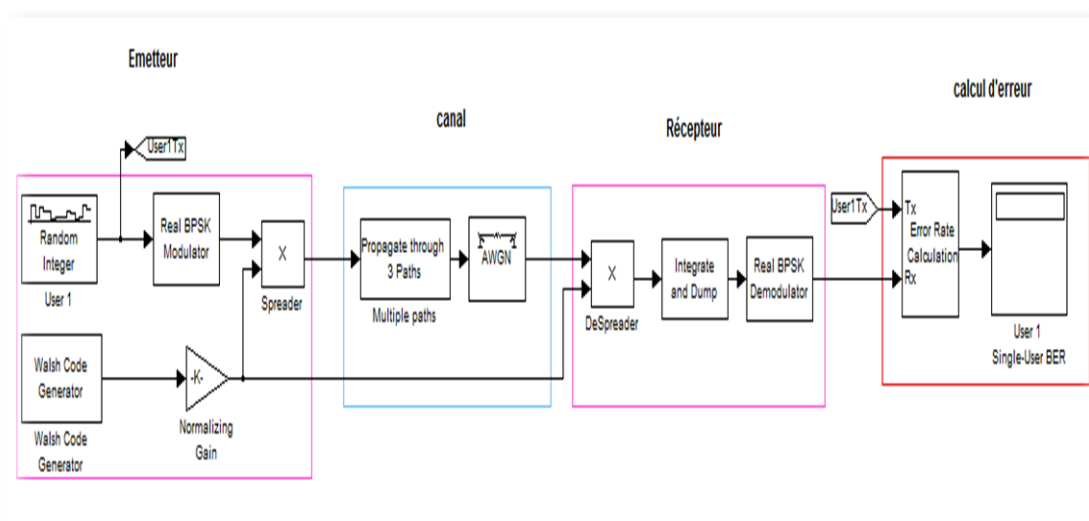


Figure 3.37: chaîne de transmission DS-SS d'un seul utilisateur avec Multi-trajets et sans récepteur RAKE.

❖ Le bloc multitrajets (Multiple paths) est représenté dans la figure suivante :

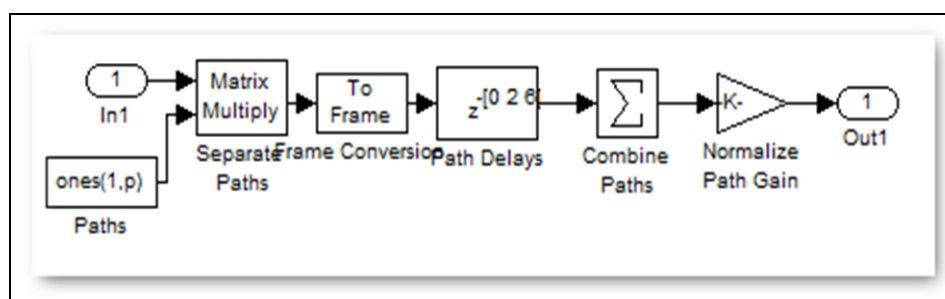


Figure 3.38 : Le bloc de multitrajets (propagate through).

Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure permettant la configuration du ce bloc apparaît ; ensuite les différents paramètres sont ajusté les valeurs indiquées.

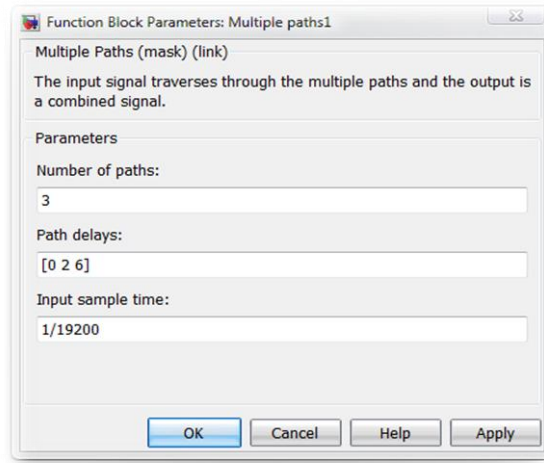


Figure 3.39 : configuration de multitrajets.

Paramètre	Valeur
Le temps de simulation	0.25s
Le nombre de symboles	5000symboles
La fréquence d'échantillonnage	20000 Hz
le temps d'un symbole	$T_s = 1/20000$ s
Le temps d'un chips	$T_c = 1/(20000 * 64)$
Type de modulation	M-PSK
La taille de la constellation	2
Code	WALSH
La longueur du code	64
canal	AWGN,AWGN+MT RSB= [-5,20[dB
Nombre d'utilisateurs	1-6 utilisateurs

Tableau 3. 4 : paramètres choisis pour l'étude de l'effet des multitrajets.

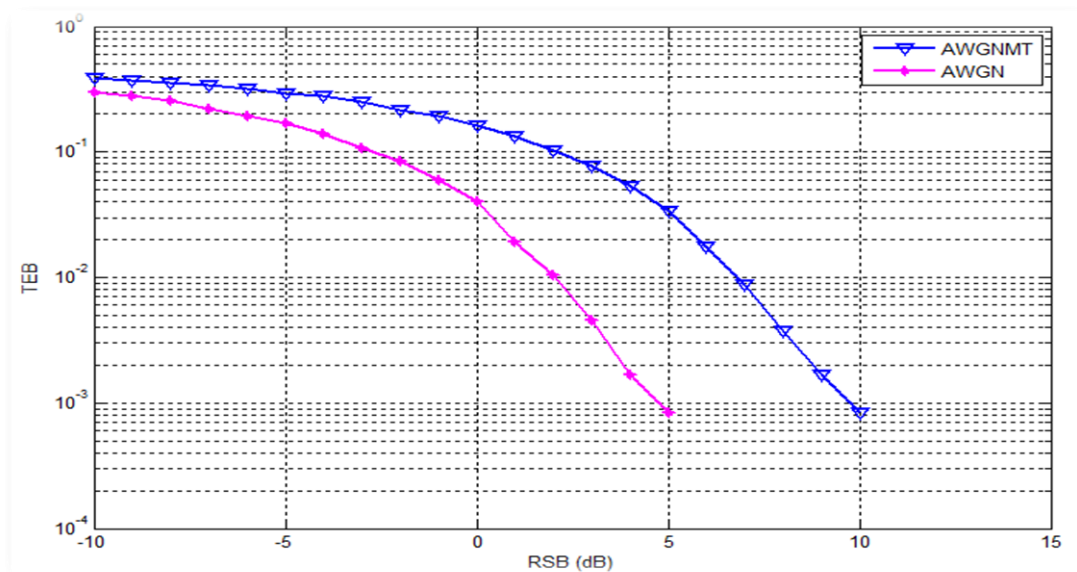


Figure 3. 40 : Effet des multitrajets sur les performances du système DS-CDMA.

D'après la figure nous constatons que la présence des multi trajets dégrade les performances du système. Cette dégradation est due a l'interférence entres les symboles. Les mêmes observations tiennent pour les autres codes.

2.7. Effet de nombre des multi trajets

Paramètre	Valeur
Le temps de simulation	0.25s
Le nombre de symboles	5000symboles
La fréquence d'échantillonnage	20000 Hz
le temps d'un symbole	$T_s = 1/20000$ s
Le temps d'un chips	$T_c = 1/(20000 * 64)$
Type de modulation	M-PSK
La taille de la constellation	2
Code	WALSH
La longueur du code	64
canal	AWGN, RSB= [-10,15[dB AWGN+MT (trois trajets), [0 2 4] pour 3 trajet [0 2 4 7] pour 4 trajet [0 2 4 7 9] pour 5 trajet
Nombre d'utilisateurs	1-6 utilisateurs

Tableau 3.5 : Paramètre de la simulation pour étudier l'effet du nombre de multitrajets.

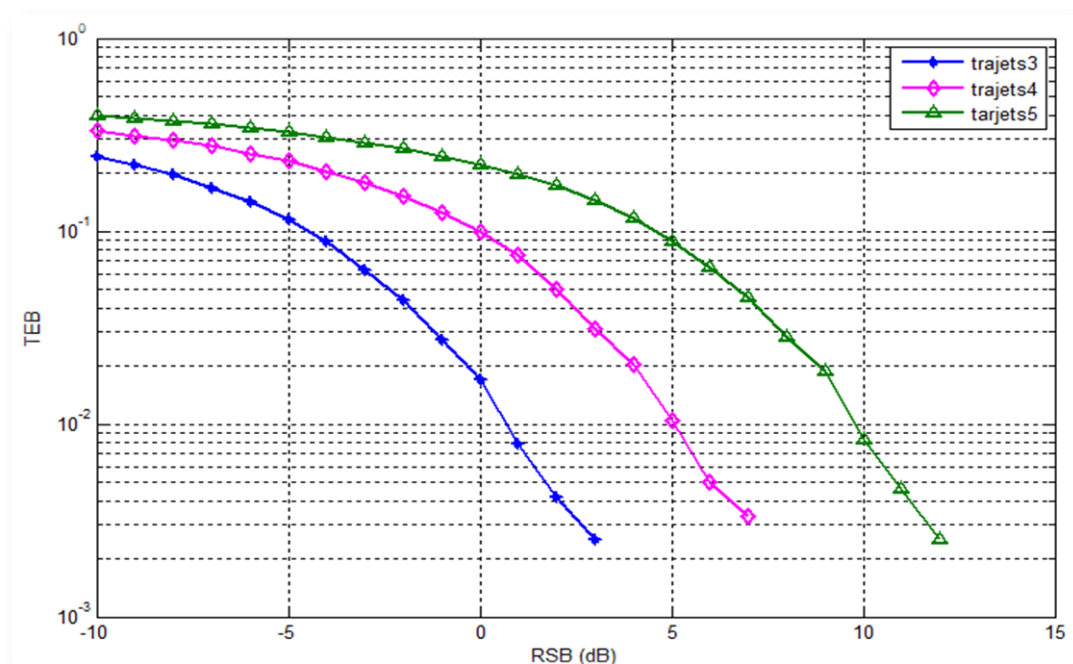


Figure 3.41 : variation du TEB en fonction de BER pour différent nombre de multitrajets.

D'après la figure, nous constatons que chaque fois le nombre de trajets augmente, les performances du se dégradent.

2.8 L'effet de l'utilisation d'un récepteur RAKE

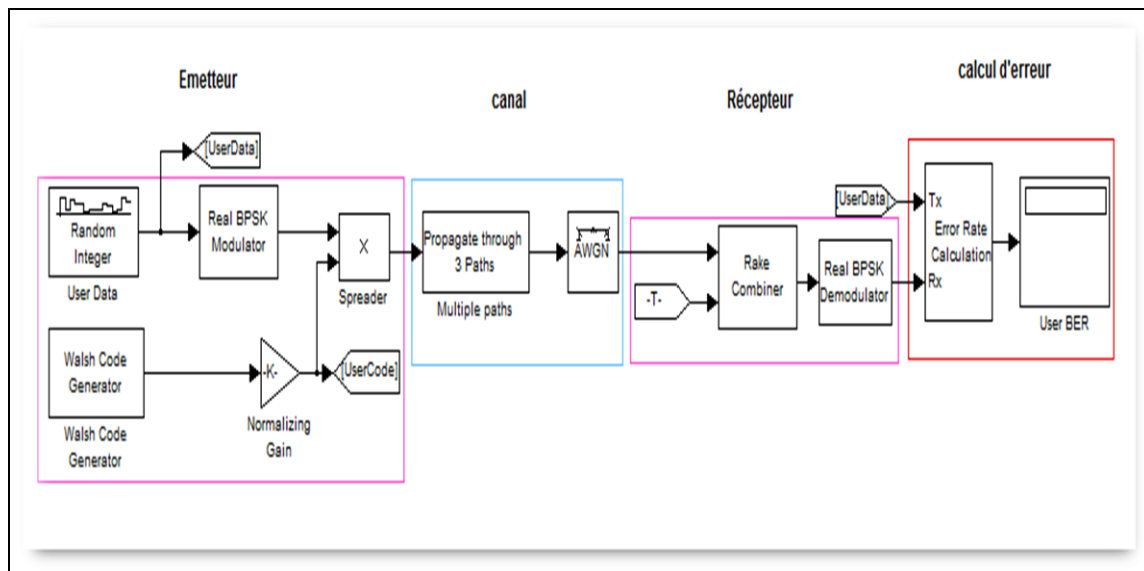


Figure 3.42 : Chaine de transmission DS-CDMA d'un seul utilisateur avec Multi-trajets en utilisant le récepteur RAKE.

❖ Le bloc de récepteur RAKE est représenté dans la figure suivante :

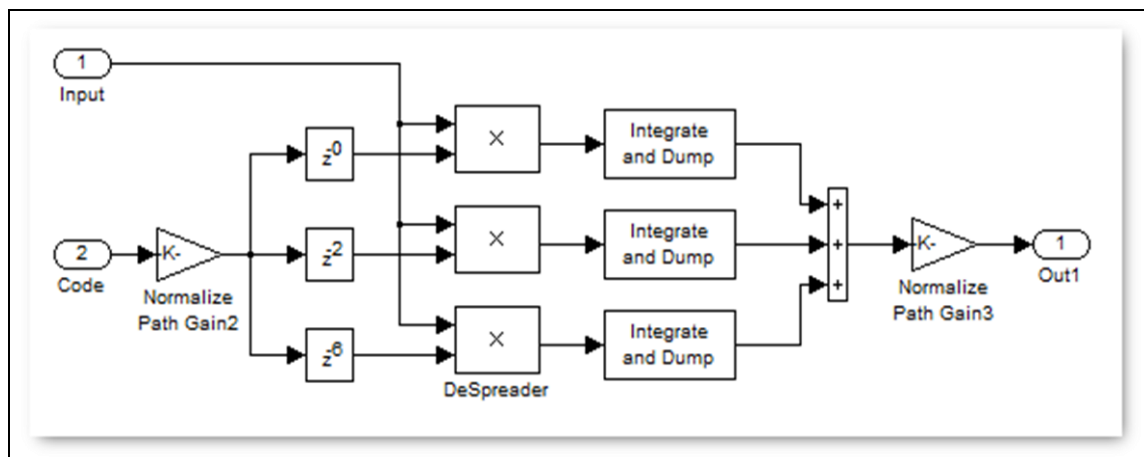


Figure 3.43 : Le bloc de récepteur RAKE.

Après un double clic sur ce bloc, la fenêtre de la figure permettant la configuration du ce bloc apparait ; ensuite les différents paramètres sont ajusté les valeurs indiquées.

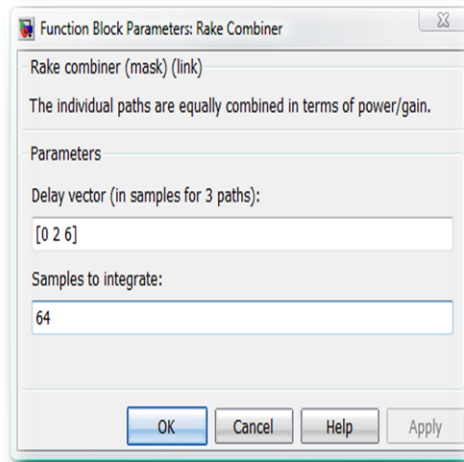


Figure 3.44: Paramètre de configuration du bloc récepteur RAKE.

Paramètre	Valeur
Le temps de simulation	0.25s
Le nombre de symboles	5000symboles
La fréquence d'échantillonnage	20000 Hz
le temps d'un symbole	$T_s = 1/20000$ s
Le temps d'un chips	$T_c = 1/(20000 * 64)$
Type de modulation	M-PSK
La taille de la constellation	2
Code	WALSH
La longueur du code	64
canal	AWGN, AWGN+MT RSB= [-5,20]dB
Nombre d'utilisateurs	1-6 utilisateurs

Tableau 3. 6 : Paramètre de simulation pour étudier l'effet du récepteur RAKE.

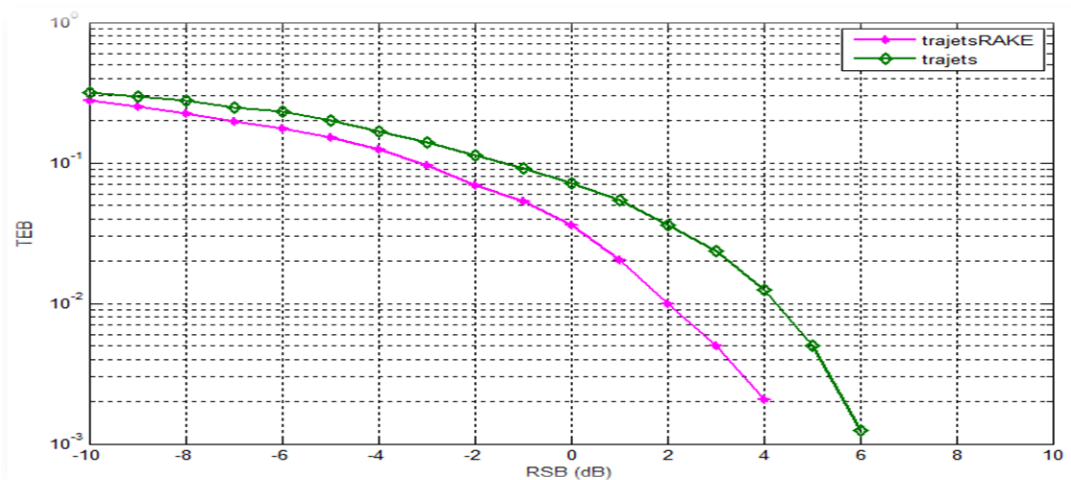


Figure 3. 45 : Effet du récepteur RAKE sur les performances du système DS-CDMA.

D'après la figure (3.45), nous constatons que l'utilisation d'un récepteur RAKE dans un système DS-CDMA permet d'améliorer les performances de ce système.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats de simulation d'un système DS-CDMA et l'influence de différents paramètres sur les performances de ce système. Nous constatons finalement que l'orthogonalité des codes et l'utilisation d'un récepteur RAKE permet de réduire l'effet de l'interférence d'accès multiple (IAM) et éliminer les effets des multi trajets.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce mémoire a été consacrée à l'étude des performances d'un système DS-CDMA pour différents codes d'étalement, et sous l'influence de certains paramètres comme :

- Le type de la modulation numérique M-PSK.
- Le nombre d'utilisateurs.
- Le type de canal de transmission.
- Le récepteur RAKE.

Dans les deux premiers chapitres, nous avons décrits les principaux étages de la chaîne de transmission numérique telle que le canal et la modulation M-PSK ensuite, nous avons présenté succinctement les principales techniques d'accès multiples et en particulier la technique DS-CDMA qui est la pierre angulaire des normes de la téléphonie mobile de la troisième génération (3G) (CDMA2000, UMTS, ...).

Dans la partie pratique, nous avons commencé par la description détaillée de la chaîne de transmission DS-CDMA simulé sous MATLAB/Simulink. Ensuite nous avons effectué notre simulation qui est composé de deux parties. Dans la première partie nous avons étudié le fonctionnement du système DS-CDMA dans les conditions idéales :

- Un rapport signal sur bruit RSB très important.
- un seul utilisateur.
- Absence de multitrajets.
- Utilisation de la modulation BPSK, et le code Walsh.

Dans ces conditions idéales, le système DS-CDMA fonctionne avec de très performances.

Dans la deuxième partie de la simulation, nous avons travaillé avec un système DS-CDMA qui fonctionne dans des conditions normales :

- Un RSB faible.
- Un nombre d'utilisateur élevé.

- Avec des différents codes, PN, Walsh, Gold et en présence des multitrajets.

Nous avons constaté d'après les résultats de nos expériences, que le TEB n'est pas nul en conséquence l'information reçu n'est pas parfaite et que les performances du système DS-CDMA sont influencés par ces conditions.

Deux critères sont employés pour l'amélioration des performances du système DS-CDMA :

- L'orthogonalité des codes pour réduire l'effet de l'interférence d'accès multiple.

L'utilisation d'un récepteur RAKE pour éliminer l'effet des multitrajets.

Référence

[1] : M. Youssef, ‘‘ Modélisation, simulation et optimisation des architectures de récepteur pour les techniques d’accès W-CDMA ’’, thèse de doctorat, Ecole Doctorale IAEM Lorraine, 2009.

[2] : T. Rappaport, ‘‘ Wireless Communications – Principles and Practice’’, Pearson Education Inc., Second edition, 2002.

[3] : P. Gelpi, ‘‘Évaluation des Performances d'un Récepteur Multi-Usagers à Annulation d'Interférences dans un Réseau de Téléphonie Cellulaire utilisant le Spread Signature CDMA’’, thèse de doctorat, École Polytechnique de MONTREAL, 2001.

[4] :P. Kadionik ,’’Base de transmission Numériques Modulation Numérique ‘’,Edition,2000.

[5] : R. Bekhakhecha, ‘‘Détection adaptative pour les systèmes de communication DS-CDMA ‘‘mémoire de magister, Université de Constantine.

[6] : KH. Al Agha, G. Pujolle, G. Vivier, ‘‘ Réseaux de mobiles & réseaux sans fil ’’, Eyrolles, France, 2001.

[7] : C. Leguellaut, ‘‘ Prototypage d’un système MIMO-MC-CDMA sur Plate-forme hétérogène ‘’, thèse de doctorat, l’Institut national des sciences appliquées de Rennes, 2009.

[8] : R.E. Ziemer et R.L. Peterson, ‘‘Introduction to digital communication.’’ Prentice Hall, 2nd ed., 1992.

[9] : A. Aissaoui ‘‘Synchronisation adaptative code PN dans les systèmes de communication DS/SS’’, thèse de doctorat, Université de Constantine ,2008.

[10] :G. L. Turin, ‘‘Introduction to spread-spectrum antimultipath techniques and their application to urban digital radio,’’ *Proceeding of the IEEE*, vol. 68, pp.328-354, March 1980.

[11] :S. Faruque, ‘‘*Cellular mobile systems engineering*’’, Artech house, Boston-London, 1996.

[12] J.G. Remy, J. Cuegniet, C. Siben, ‘‘ Systemes De Radiocommunications Avec Les Mobiles ’’, Eyrolles, France, 1997.

[13] : ‘‘CDMA cours’’,2003
http://www.cem2.univmontp2.fr/~moreau/jCDMA/CDMA_cours.pdf

- [14] : A. Dupret, A. Fischer , cours télécommunication ” U ,France,2003
<http://www-gtr.iutv.univ-paris13.fr/Cours/Mat/Telecoms2/coursdetelecom.p>
- [15] :G.Hafsa , ‘‘ Sécurisation d’un réseau par l’emploi des techniques CDMA à codes chaotiques ’’, thèse de Magister, l’Université de TLEMCEM, Algérie 2010.
- [16] : Poly. JL, ‘‘Langlois sur GSM ’’, France 1997
- [17] : B. Billel , C. AbdelKader ‘‘Simulation d’un système DS-CDMA par le simulink MATLAB IS-95A’’, mémoire d’ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique, *Algérie*, 2006.
- [18] : S. Nobilet, ‘‘ Etude et optimisation des techniques MC-CDMA pour les futures générations de systèmes de communications hertziennes ’’, INSAR, France, 2003.
- [19] : M. Thériault, ‘‘Etude des performances d’un système DS-CDMA avec récepteur RAKE dans le contexte UWB’’, thèse de doctorat, Faculté des sciences et de génie, Université LAVAL QUÉBEC, 2005.
- [20] : G.Meryem ‘‘ Détection multiutilisateurs à annulation parallèle d’interférences (PIC) dans un système CDMA synchrone’’, thèse de Magister, Université de TLEMCEM. Algérie 2009.
- [21] : Conférence international des sciences de l’électronique et des technologies de l’information et de la télécommunication ‘‘Amélioration de la sécurité des transmissions dans les systèmes DS-CDMA chaotique’’ Tunisie, PP : 27, 31,2005.
- [22] : B. Koon Kei Ng ‘‘Performance enhancements of DS-CDMA systeme for fixed wireless access ‘‘ these de doctorat ,University of Toronto, 1999.
- [23] : L. Dubreuil ‘‘ Amélioration de l’étalement de spectre par l’utilisation de codes correcteurs d’erreurs’’ thèse de doctorat, Université de LIMOGES, 2005.
- [24] : Y. Nasser ‘‘sensibilité des systèmes OFDM-CDMA aux erreurs de synchronisation en réception radio mobile ‘‘thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble,France .2006.
- [25] : C.Panazio ,’’ Etude fréquentielle de l’étalement de spectre et impact sur la conception d’un récepteur de radiocommunications universel ‘‘thèse de doctorat présenté au conservatoire national des arts et métiers ,Paris, France ,2005.
- [26] : R. Gold, ‘‘Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing,’’ IEEE Trans. On Information Theory, vol. 13, pp. 619–621, October 1967.
- [27] : E. H. Dinan, B. Jabbari, ‘‘Spreading codes for direct sequence CDMA and wideband CDMA cellular networks,’’ IEEE Communications Magazine, pp. 48- 54, September 1998.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN ELECTRONIQUE**

OPTION : Système de télécommunication numérique

Proposé et dirigé par : Pr. Dj. Chikouche

Etudié par : Ibtissem .Dellioua

THEME :

« Etude d'un système DS-CDMA pour différents codes d'étalement »

Résumé

Les systèmes de transmission DS-CDMA sont de nos jours d'une importance croissante dans le domaine des communications cellulaires sans fil en raison de leur intégration dans la plupart des normes terrestres et satellitaires pour les réseaux des télécommunications de la troisième génération. L'objectif de ce travail de master consiste à étudier les performances du système DS-CDMA en fonction des paramètres les plus influents.

Mots clés : CDMA, DSSS, DS-CDMA, TDMA, FDMA, M-PDM, TEB, RSB ; AWGN.

ABSTRACT:

DS-CDMA Transmission systems are nowadays increasingly important in the field of cellular wireless communications due to their integration in most terrestrial and satellite standards for telecommunications networks of the third generation. The objective of this master thesis is to study the performance of DS-CDMA system based on the most influential parameters.

Key word: CDMA, AWGN, PSK, DSSS, BER, RAKE.

ملخص

هي في الوقت الحاضر ذات أهمية متزايدة في مجال الاتصالات اللاسلكية DS-CDMA الإرسال أنظمة الخلوية بسبب اندماجها في معظم المعايير الأرضية والفضائية لشبكات الاتصالات السلكية واللاسلكية من الجيل وفقا للمعاملات الأكثر تأثيرا. DS-CDMA الثالث. والهدف من هذا العمل هو دراسة أداء نظام الكلمات المفتاحية. أنظمة الإرسال. الشبكات اللاسلكية. الاتصالات