



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغزور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Etude d'un modulateur et
démodulateur QPSK pour un système
de communication sous MATLAB**

*Réalisé par : - Boussekkine Chemseddine
- Belgour Nedjmeddine*

Soutenu le 15 /09/2020 Devant le jury composé de :

DR. Khalfaoui Fatima

DR. Hassad Mourad

DR. Khalfaoui Mehio

Président

Encadreur

Examineur

Université Abbes Laghrou-Khenchela

Université Abbes Laghrou-Khenchela

Université Abbes Laghrou-Khenchela

Promotion 2019/2020



REMERCIEMENTS



EN PRÉAMBULE À CE MÉMOIRE JE REMERCIE MON DIEU QUI M'A AIDÉ ET M'A DONNÉ LA PATIENCE ET LE COURAGE DURANT CES LONGUES ANNÉES D'ÉTUDES.

JE SOUHAITE ADRESSER MES REMERCIEMENTS LES PLUS SINCÈRES AUX PERSONNES QUI M'ONT APPORTÉ LEUR AIDES ET QUI ONT CONTRIBUÉ.

À L'ÉLABORATION DE CE MÉMOIRE AINSI QU'À LA RÉUSSITE DE CETTE FORMIDABLE ANNÉE UNIVERSITAIRE.

CES REMERCIEMENTS VONT TOUT D'ABORD AU CORPS PROFESSORAL ET ADMINISTRATIF DU DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL ET FACULTÉ DE SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE.

JE TIENS À REMERCIER SINCÈREMENT MON ENCADREUR DR. HASSAD MOURAD DE CE MÉMOIRE, IL ÉTAIT TOUJOURS À L'ÉCOUTE ET TRÈS DISPONIBLE TOUT AU LONG DE LA RÉALISATION DE CE MÉMOIRE, AINSI POUR L'INSPIRATION, L'AIDE ET LE TEMPS QU'ELLE A BIEN VOULU ME CONSACRER.

JE N'OUBLIE PAS MES PARENTS POUR LEUR CONTRIBUTION, LEUR SOUTIEN ET LEUR PATIENCE.

ENFIN, J'ADRESSE MES PLUS SINCÈRES REMERCIEMENT À TOUS MES PROCHES AMIS, QUI M'ONT TOUJOURS SOUTENU ET ENCOURAGÉ AU COURS DE LA RÉALISATION DE CE MÉMOIRE.



BOUSSEKKINE CHEMSEDDINE

BELGOUR NEDJMEDDINE

Dédicace



Je dédie ce travail à la source de tendresse

Mes chers parents.

*Tout en étant convaincues que mon succès est une
récompense pour tous leurs sacrifices,*

*Qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus profonde
gratitude.*

À mes sœurs .. Mes frères.

À tous ma famille.

À mes amis.

À mes camarades d'études.

À tous ceux que je connais de près ou de loin.

Boussekkine Chemseddine

Dédicace



Je dédie ce travail à la source de tendresse

Mes chers parents.

*Tout en étant convaincues que mon succès est une
récompense pour tous leurs sacrifices.*

*Qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus profonde
gratitude.*

À mes sœurs .. Mes frères.

À tous ma famille.

À mes amis.

À mes camarades d'études.

À tous ceux que je connais de près ou de loin.

Belgour Nedjmeddine

Résumé

Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire full duplex en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. 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 de fiabilité possible. La modulation a pour rôle d'adapter le spectre du signal au canal (milieu physique) sur lequel il sera émis.

Le but principal de notre étude est la modulation et la démodulation QPSK.

La technique de modulation QPSK (Quadrature Phase –shift Keying) est l'une des méthodes de modulation les plus largement utilisés dans les systèmes de communication numérique modernes, dans la mesure où il offre une efficacité élevée de la bande passante. Dans ce travail le modèle de modulateur et de démodulateur QPSK a été simulé à l'aide de MATLAB d'une part et de Simulink d'autre part.

Mots clés : Signal, canal, Modulation, Démodulation, QPSK, efficacité, séquence binaire.

Abstract

Digital transmission systems convey information between a source and a recipient using a physical medium such as cable, optical fiber or even propagation on a radio channel. The signals transported can be either directly of digital origin, as in data networks, or of analog origin (speech, image, etc.) but converted into digital form. The task of the transmission system is to convey the information from the source to the recipient as reliably as possible. The role of modulation is to adapt the spectrum of the signal to the channel (physical medium) on which it will be transmitted.

The main goal of our MASTER project is the study of QPSK modulation and demodulation.

The Quadrature Phase –shift Keying (QPSK) modulation technique is one of the most widely used modulation methods in modern digital communication systems, as it offers high bandwidth efficiency. In this work the QPSK modulator and demodulator model was simulated using MATLAB (Simulink).

Key words: Signal, channel, Modulation, Demodulation, QPSK, efficiency, binary sequence.

ملخص

تنقل أنظمة الإرسال الرقمية المعلومات بين مصدر ومستقبل مزدوج كامل باستخدام وسيط مادي مثل الكبل أو الألياف الضوئية أو حتى الانتشار عبر قناة راديو. يمكن أن تكون الإشارات المنقولة إما مباشرة من أصل رقمي ، كما هو الحال في شبكات البيانات ، أو من أصل تناظري (كلام ، صورة ، إلخ) ولكن يتم تحويلها إلى شكل رقمي. تتمثل مهمة نظام الإرسال في نقل المعلومات من المصدر إلى المستلم بأكبر قدر ممكن من الموثوقية. يتمثل دور التعديل في تكييف طيف الإشارة مع القناة (الوسط المادي) التي سيتم إرسالها عليها.

الهدف الرئيسي من دراستنا هو تعديل وإزالة التشكيل QPSK.

تعد تقنية التشكيل QPSK (تربيع الطور - مفتاح التحول) واحدة من أكثر طرق التعديل استخدامًا في أنظمة الاتصالات الرقمية الحديثة ، حيث توفر كفاءة عرض نطاق عالية. في هذا العمل تمت محاكاة نموذج QPSK ومزيل التشكيل باستخدام MATLAB من ناحية و Simulink من ناحية أخرى.

الكلمات المفتاحية: الإشارة ، القناة ، التعديل ، الإستخلاص ، QPSK ، الكفاءة ، التسلسل الثنائي.

Table des figures

Chapitre I

Généralités sur la modulation et la démodulation numérique

<i>Figure I.1: Schéma d'un système de transmission numérique</i>	2
<i>Figure I.2: Forme général d'un modulateur</i>	5
<i>Figure I.3: La séquence 1101100010 codée NRZ</i>	8
<i>Figure I.4: Format de modulation à porteuse unique</i>	9
<i>Figure I.5 : Modulations d'amplitude ASK</i>	10
<i>Figure I.6: Modulations de Fréquence FSK</i>	11
<i>Figure I.7: Modulations de Phase PSK</i>	12
<i>Figure I.8: La constellation MDP-4</i>	14
<i>Figure I. 9: Chronogramme de MDP-4</i>	16
<i>Figure I. 10: Modulateur MDP-4</i>	17
<i>Figure I. 11: Démodulateur cohérent MDP-4</i>	18
<i>Figure I. 12: Probabilité d'erreur par symbole de la MDP</i>	20

Chapitre II

Simulation de la modulation et démodulation QPSK sur le logiciel MATLAB

<i>Figure II.1: Le sous-système émetteur, canal et le récepteur</i>	31
<i>Figure II.2: Le sous-système Emetteur</i>	31
<i>Figure II.3: Le sous-système Récepteur</i>	32
<i>Figure II.4: La structure d'émetteur</i>	34
<i>Figure II.5: La structure du canal AWGN</i>	35
<i>Figure II.6: Le sous-système de compensation de fréquence grossière</i>	37

Chapitre III

Discussion et interprétations des résultats

Figure III.1: L'information avant la modulation	40
Figure III.2: Signal modulé avec la porteuse et le signal QPSK	41
Figure III.3 : L'information après la démodulation	41
Figure III.4: Le résultat du modulateur QPSK.....	42
Figure III.5 : Le résultat du démodulateur QPSK.	42
Figure III.6: Le signal reçu	43
Figure III.7 : Après filtre R_x en cosinus élevé.	43
Figure III.8 : Après la synchroniseur de symboles	44
Figure III.9 : Après la synchroniseur de porteuse.	44
Figure III.10 : Le modèle du système QPSK avec calcul du taux d'erreur	46
Figure III.11: Le résultat de BERTool.....	47

Liste des tableaux

Chapitre I

Généralités sur la modulation et la démodulation numérique

Tableau I.1: Les différents valeurs en fonction du symbole à transmettre.....	15
Tableau I.2: Le gain obtenu sur le débit binaire et sur l'efficacité spectrale	19
Tableau I.2: Les bandes FHN utilisée par QPSK	22

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I

Généralités sur la modulation et la démodulation numérique

I.1. Introduction	2
I.2. Chaîne de transmission numérique	2
I.2.1. La transmission en bande de base	3
I.3. Définition de modulation	4
I.4. Principe de modulation	5
I.5. Les intérêts de modulation	6
I.6. Les types de modulation	6
I.6.1. Modulation analogique.....	6
I.6.2. Modulation numérique	7
I.7. Le codage	7
I.7.1. Codage en ligne	7
I.7.2. L'opération de codage en ligne	8
I.7.3. Codage NRZ.....	8
I.8. L'utilité de la modulation	9
I.9. Modulation multi-porteuse	9
I.10. Modulation mono-porteuse	9
I.10.1. Modulation ASK	10
I.10.2. Modulation FSK	11
I.10.3. Modulation PSK.....	11
I.11. Démodulation	13
I.12. Modulation par déplacement de phase MDP-4	14
I.12.1. La constellation MDP-4	14

I.12.2. Chronogramme de MDP-4	16
I.12.3. Modulateur MDP-4	17
I.12.4. Démodulateur MDP-4	18
I.13. Spectre et efficacité spectrale	19
I.14. Les performances	19
I.15. Utilisation de la MDP-4	20
I.16. Conclusion	23
I.17. Références Bibliographique	24

Chapitre II

Simulation de la modulation et démodulation QPSK sur le logiciel MATLAB

II.1. Introduction	26
II.2. Modulation et Démodulation de QPSK sous MATLAB	27
II.2.1. Partie des données	27
II.2.2. Partie de modulation	28
II.2.3. Partie de démodulation.....	29
II.3. La simulation	30
II.3.1. MDP-4 sous SIMULINK	31
II.5. Conclusion	38
II.6. Références Bibliographique.....	39

Chapitre III

Discussion et interprétation des résultats

III.1. Introduction	40
III.2. Résultats et affichages de code MATLAB	40
III.2.1. Partie des données	40
III.2.2. Partie de modulation	41
III.2.3. Partie de démodulation	41
III.3. Résultats et affichages de la partie de la simulation	42
III.4. Discussion des résultats de simulation	45
III.5. Conclusion	48
III.6. Références Bibliographique	49
Conclusion générale	50

Symboles et abbreviations

CDMA	Code Division Multiple Access
BBGA	Bruit Blanc Gaussien Additif
RSB	Rapport Signal sur Bruit
ASK	Amplitude shift keying
FSK	Frequency shift keying
QPSK	Quadrature phase shift keying
PSK	Phase shift keying
TEB	Taux D'erreur Binaire
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing
MDP	Modulation par déplacement de phase
BPSK	Binary phase shift keyin
MAQ	Modulation d'amplitude sur deux porteuses en quadrature
MDA	Modulation par déplacement d'amplitude
DSP	Densité Spectrale de Puissance
MDF	Modulation par déplacement de fréquence
GMSK	Gaussian Minimun Shift keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
MDPD	Modulation par Déplacement de Phase Différentiel
DPSK	Differential Phase Shift Keying
NRZ	Non Retour à Zéro
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate

SNR	Signal to Noise Ratio
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile communication
CDMA	Code Division Multiple Access
BER	Bit Error Rate
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications

Introduction générale



Introduction générale

Les transmissions numériques sont devenues omniprésentes dans les systèmes de communications modernes et plus particulièrement dans les systèmes de la téléphonie mobile. Dans un système de communication numérique, les messages produits par la source sont convertis en une séquence binaire de bits, idéalement, on souhaiterait représenter la sortie de la source (message) par un nombre de bits binaires le plus réduit possible. [1] Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. 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 de fiabilité possible.

Ce mémoire intitulé « l'étude d'un modulateur et démodulateur QPSK pour un système de communication sous MATLAB », met en œuvre le fonctionnement et les champs d'applications de cette modulation numériques. Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre, concerne la modulation et la démodulation numérique, dans ce chapitre on a commencés par une description d'une chaine de transmission après on a développé la modulation en générale, les intérêts, les types et l'utilité de modulation, ainsi le codage NRZ après on a terminé par une explication de la MDP-4.

Le deuxième chapitre, présenté logiciel MATLAB et le simulink. Ce chapitre est consacré pour la simulation et la performance de MDP-4 en MATLAB afin de valider l'étude théorique.

Dans le troisième et le dernier chapitre, nous terminerons cette étude par la représentation et la discussion des résultats obtenu de la modulation QPSK sous le logiciel MATLAB d'un part et le simulink d'autre part .

Enfin nous terminons notre mémoire par une conclusion et des perspectives de recherches qu'il est possible de mener afin de prolonger le travail effectué durant ce mémoire.

Chapitre I

Généralités sur la modulation/la démodulation numériques

- I.1. Introduction
- I.2. Chaîne de transmission numérique
- I.3. Définition de modulation
- I.4. Principe de modulation
- I.5. Les intérêts de modulation
- I.6. Les types de modulation
- I.7. Le codage
- I.8. L'utilité de modulation
- I.9. Modulation multi-porteuse
- I.10. Modulation mono-porteuse
- I.11. Démodulation
- I.12. Modulation par déplacement de phase MDP-4
- I.13. Spectre et efficacité spectrale
- I.14. Les performances
- I.15. Utilisation de la MDP-4
- I.16. Conclusion
- I.17. Références Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la modulation/la démodulation numériques

I.1. Introduction

Les systèmes de transmission véhiculent de l'information (son, image, texte, ...) entre une source et un destinataire. Cette opération est réalisée essentiellement grâce aux techniques numériques car ils garantissent un bon stockage des informations et une meilleure immunité aux bruits.

La modulation numérique est au cœur de la grande majorité des systèmes de télécommunications modernes. Plusieurs raisons expliquent le choix de la modulation numérique dont sa plus grande capacité et sa robustesse au bruit.

I.2. Chaîne de transmission numérique

Le rôle d'une chaîne de transmission est de transmettre une information d'un émetteur à un récepteur à travers un canal de communication avec autant de fiabilité que possible. L'information transmise est passée par plusieurs étapes de la source vers le destinataire. On décrit le fonctionnement des constituants d'une chaîne de transmission numérique, de la source d'information binaire au destinataire, comme illustrées par le schéma bloc ci-dessous [2] . [3] :

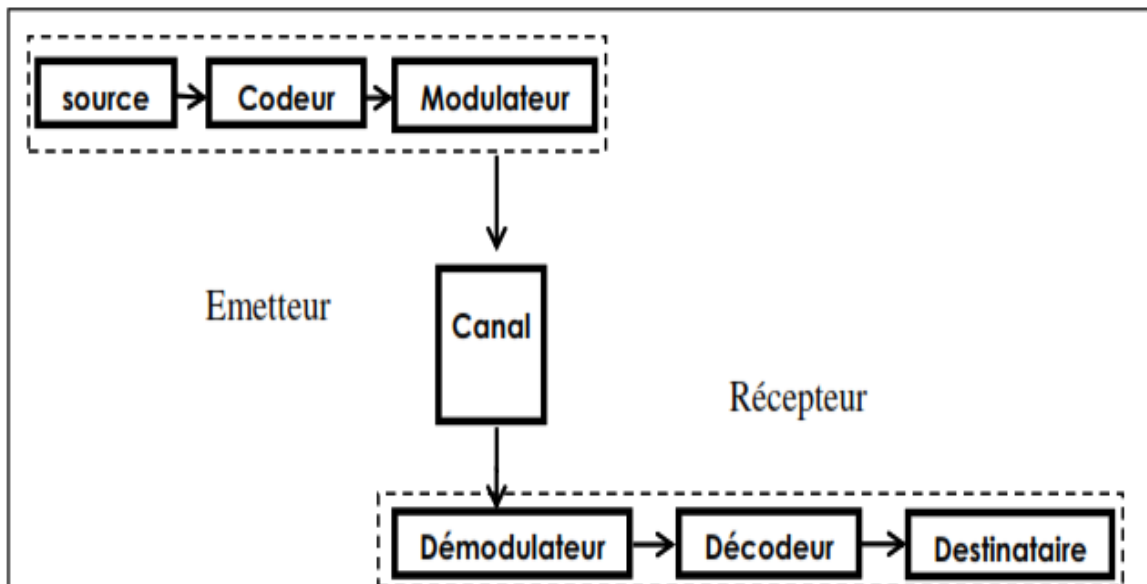


Figure I.1 : Schéma d'un système de transmission numérique.

- **La source** : Émet un message numérique sous la forme d'une suite d'éléments binaires. La source peut être une voix, une l'image, un texte, ou des données informatiques. La sortie d'une source n'est pas connue à priori par le destinataire elle est par nature aléatoire. Néanmoins certains messages déterministes, telles que les séquences pilotes, générés par l'émetteur pour servir au bon fonctionnement du récepteur.
- **Le codeur** : Supprimer des éléments binaires non significatifs (compression de données ou codage de source), ou au contraire introduire de la redondance dans l'information en vue de la protéger contre le bruit et les perturbations
- **Canal de transmission** : Le canal de transmission est le dispositif qui assure le transport de l'information (signal) entre l'émetteur et le récepteur. A cause des obstacles dans ce parcours, le signal émis subit un phénomène appelé, phénomène de multi trajets sélectif en fréquence dans la bande passante du signal
- **La modulation** : a pour rôle d'adapter le spectre du signal au canal (milieu physique) sur lequel il sera émis. Elle agit sur les paramètres d'un signal porteur (Amplitude, fréquence ou phase) afin de transmettre les données.
- Enfin, du côté **récepteur**, les fonctions de démodulation et de décodage sont les inverses respectifs des fonctions de modulation et de codage situées du côté émetteur.

I.2.1. La transmission en bande de base :

La transmission en bande de base consiste à transmettre les informations sur le support de transmission sans transformation du signal numérique en un signal analogique. Cette définition n'exclut nullement des modifications du signal pour mieux l'adapter aux caractéristiques du support de transmission.

Les principales difficultés rencontrées dans la transmission en bande de base sont dues essentiellement à la limitation de la bande passante dans les basses et hautes fréquences.

Les trois caractéristiques principales permettant de comparer entre elles les différentes techniques de transmission sont les suivantes:

- **La probabilité d'erreur P_e** par bit transmis permet d'évaluer la qualité d'un système de transmission. Elle est fonction de la technique de transmission utilisée, mais aussi du canal sur lequel le signal est transmis. Il est à noter que P_e est une valeur théorique dont une estimation non biaisée au sens statistique est le Taux d'Erreur par Bit TEB.
- **L'occupation spectrale** du signal émis doit être connue pour utiliser efficacement la bande passante du canal de transmission. On est contraint d'utiliser de plus en plus des Modulations à grande efficacité spectrale.
- **La complexité du récepteur** dont la fonction est de restituer le signal émis est le Troisième aspect important d'un système de transmission.

Dans le but d'optimiser l'occupation spectrale pour les transmissions de longues distances, on procède à un regroupement de bits appelé symboles qui seront transmis successivement, La répartition de ces symboles dans le plan complexe permet de définir principalement 3 types de modulation numérique :

- **MDA (modulation par déplacement d'amplitude).**
- **MDF (modulation par déplacement de fréquence).**
- **MDP (modulation par déplacement de phase).**

I.3. Définition de modulation

La modulation est un processus d'encodage de l'information à partir d'une source d'une manière convenant à la transmission. Il implique de traduire un signal de message de bande de base à un signal de bande passante .Le signal de bande de base s'appelle le signal de modulation et le signal de bande passante s'appelle le signal modulé.

La modulation peut être faite en modifiant certaines caractéristiques des ondes porteuses selon le signal de message. Le dispositif qui effectue cette modulation, en général électronique, est un modulateur. L'opération inverse permettant d'extraire le signal de la porteuse est la démodulation. [4]

I.4. Principe de Modulation

La modulation et la démodulation sont deux étapes dans la communication d'une information entre deux utilisateurs. Par exemple, pour faire communiquer deux utilisateurs de courriels par une ligne téléphonique, des logiciels, un ordinateur, des protocoles, un modulateur et un démodulateur sont nécessaires. La ligne téléphonique est le canal de transmission, sa bande passante est réduite, il est affecté d'atténuation et de distorsions. La modulation convertit les informations binaires issues des protocoles et des logiciels, en tension et courant dans la ligne. Le type de modulation employé doit être adapté d'une part au signal (dans ce cas numérique), aux performances demandées (taux d'erreur), et aux caractéristiques de la ligne.

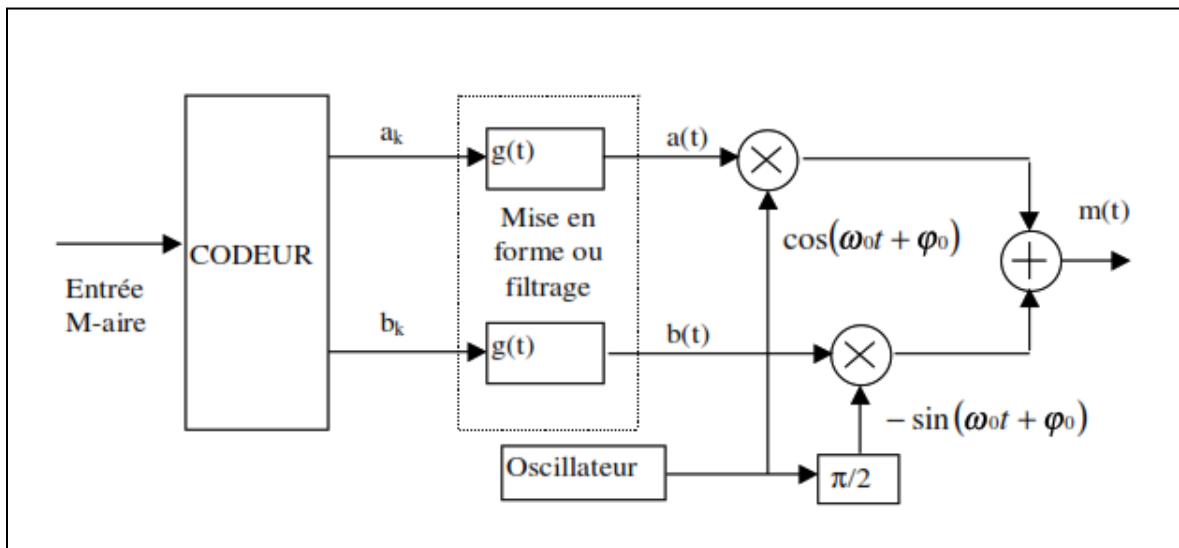


Figure I.2 : Forme général d'un modulateur

La modulation permet donc de traduire le spectre du message dans un domaine de fréquences qui est plus adapté au moyen de propagation et d'assurer après démodulation la qualité requise par les autres couches du système.

Le but des modulations analogiques est d'assurer la qualité suffisante de transmission d'une information analogique (voix, musique, image) dans les limites du canal utilisé et de l'application.

Le but des modulations numériques est d'assurer un débit maximum de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable par les protocoles et correcteurs amont et aval. Dans l'empilement des protocoles OSI (architecture standard des télécommunications numériques), la modulation est l'élément principal de la couche physique. [5]

I.5. Les intérêts de modulation

↗ **Facilite l'accès multiple** : en traduisant le spectre en bande de base des signaux provenant de différents utilisateurs pour différentes bandes de fréquence, de multiples utilisateurs peuvent être logés à l'intérieur d'une bande du spectre électromagnétique.

↗ **Augmente la portée de communication** : les signaux en bande de base de basse fréquence souffrent de l'atténuation et ne peuvent donc pas être transmis sur de longues distances. La conversion à une bande de fréquence plus élevée se traduit par une longue distance de transmission.

↗ **Réduction de la taille de l'antenne** : La hauteur de l'antenne est inversement proportionnelle à la fréquence de signal rayonné et donc le rayonnement du signal haut fréquence diminue la taille de l'antenne. [4]

I.6. Les types de modulation [6]

Il ya deux type de modulation :

I.6.1. Modulation analogique :

L'information à transmettre est analogique, à l'époque ancienne se situe le plus souvent dans la bande audio, $f_{\max} = 20$ kHz. Si on essaie de transmettre l'information analogique telle qu'elle sans traitement particulier, on doit trouver certains problèmes :

- Problème de dimension d'antenne pour Les fréquences basses à la transmission par voie hertzienne.
- Problème de sélectivité, le récepteur ne peut pas séparer deux signaux différents émis dans la même gamme de fréquence.

Ces conditions nous amènent à introduire la notion d'onde porteuse, qui est un signal sinusoïdal de fréquence très élevée par rapport à la fréquence du signal à transmettre. La fréquence de la porteuse est choisie en fonction du milieu de transmission utilisé pour avoir les meilleures conditions de propagation possibles.

Le but des modulations analogiques est d'assurer la qualité suffisante de transmission d'une information analogique (voix, musique, image) dans les limites du canal utilisé et de l'application.

I.6.2. Modulation numérique :

Dans ce type de modulation l'information à transmettre est numérique, elle offre par rapport à la modulation analogique une capacité supérieure pour le transport de volume d'informations accrues. A cela vient s'ajouter dans, de nombreux systèmes un autre facteur de complexité :

Le multiplexage, c'est à dire la technique qui permet de délivrer plusieurs signaux indépendants avec accès simultané à un système unique.

Les formats numériques sont également compatibles avec les services de données numériques, offrant une sécurité accrue des données, une meilleure qualité de transmission et une disponibilité immédiate des systèmes.

Le but des modulations numériques est d'assurer un débit maximum de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable.

I.7. Le codage

De façon générale un codage permet de passer d'une représentation des données vers une autre.

I.7.1. Codage en ligne : [7]

Dans le domaine des télécommunications, un code en ligne est un codage destiné à être utilisé dans les systèmes de communication pour transmettre des données.

Transmission de messages constitués d'éléments binaires α_k , émis à des instants kT_b , indépendants et identiquement distribués sur l'alphabet $\{0, 1\}$.

- Le codage en ligne permet d'associer à chaque élément α_k un signal continu de durée T_b

Le symbole α_k n'existe que pendant la durée T_b à partir des éléments binaires α_k que l'on souhaite transmettre, on construit le signal continu $a(t)$:

$$a(t) = \sum a_k \delta(t - kT_b)$$

I.7.2. L'opération du codage en ligne :

- Elle consiste à représenter le signal numérisé à transporter, par un autre signal qui présente des variations d'amplitude régulièrement espacées dans le temps.
- Après le codage en ligne, le signal peut être directement émis sur le canal de transmission sous la forme de variations de la tension ou du courant.
- Son principe en émission est de transformer les symboles logiques en un signal physique pour le transmettre sur le canal, on parle aussi de mise en forme des impulsions.

I.7.3. Codage non retour à zéro (NRZ) : [8]

Dans le code en ligne **NRZ**, le bit 1 est représenté par un état significatif (par exemple, une tension clairement positive), et le bit 0 par un autre état significatif (par exemple, une tension clairement négative). Il n'existe pas d'état intermédiaire.

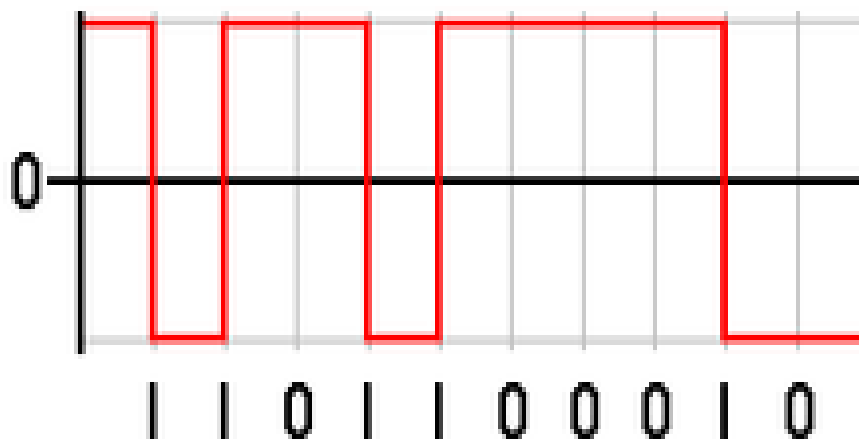


Figure I.3 : La séquence 1101100010 codée NRZ

Le codage est à deux états : le signal se trouve dans un état (par exemple à l'état haut) lorsque des 1 logiques sont transmis, et dans l'autre état (à l'état bas dans l'exemple) lorsque des 0 logiques sont transmis.

- Ces deux états correspondent à deux niveaux de tension symétriques par rapport à 0. L'exemple utilisé ci-contre n'est pas la règle générale : l'état haut ne correspond pas toujours aux 1 logiques. Notamment dans le cas de la liaison série RS-232, le 0 est codé +12 V et le 1 est codé -12 V.

I.8. L'utilité de la modulation [9]

- **Rendre possible le multiplexage** : en traduisant le spectre en bande de base des signaux provenant de différents utilisateurs pour différentes bandes de fréquence, de multiples utilisateurs peuvent être logés à l'intérieur d'une bande du spectre électromagnétique.
- **Pouvoir transmettre les ondes de basse fréquence à grande distance** : les ondes basse fréquence ne peuvent pas se propager sur la voie hertzienne à grande distance à cause de l'atténuation. La conversion à une bande de fréquence plus élevée se traduit par une longue distance de transmission.
- **Résoudre le problème de dimension d'antenne** : La longueur d'onde du signal rayonné est Proportionnelle à la hauteur de l'antenne et donc le rayonnement du signal haut fréquence diminue la taille de l'antenne.

I.9. Modulation multi-porteuse [10]

Un des problèmes majeurs en télécommunications est d'adapter l'information à transmettre au canal de propagation. Pour des canaux sélectifs en fréquence, une technique est l'utilisation de modulations multi-porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps, permet de transformer un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajet.

I.10. Modulation mono-porteuse [11] [12]

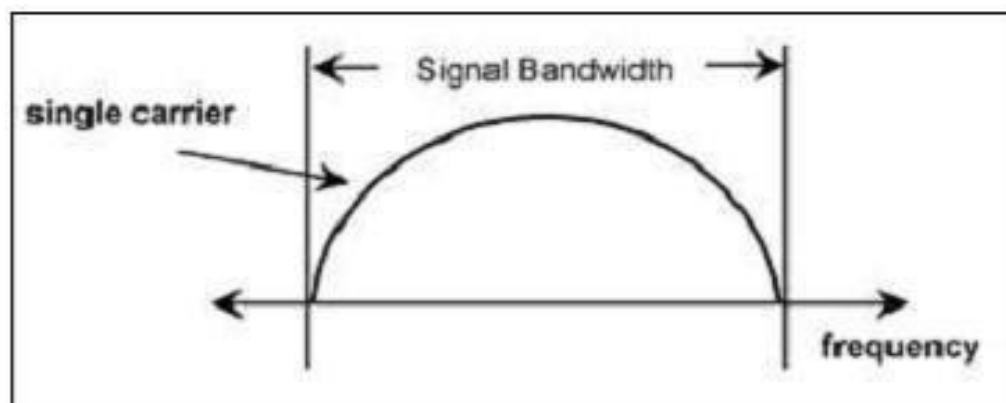


Figure I.4 : Format de modulation à porteur unique.

Dans la transmission mono porteuse les données sont transmises de façon séquentielle sur une seule bande autour d'une fréquence porteuse comme le montre la Figure I.4, Mais malheureusement cette technique introduit une interférence entre symboles lorsque on est en présence du canal multi trajets.

Les types de modulation numérique sont distingués selon la variation des paramètres du signal porteur. Les paramètres du signal porteur qui peut être modifiée au fil du temps sont l'amplitude, la phase et la fréquence.

Les trois techniques fondamentales de modulation numérique sont :

- **A déplacement d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying)**
- **A déplacement de fréquence FSK (Frequency Shift Keying)**
- **A déplacement de phase PSK (Phase Shift Keying)**

I.10.1. La modulation d'Amplitude ASK:

Dans cette technique de modulation numérique, l'amplitude est le paramètre du signal porteur qui va être modifié au fil du temps selon le signal source. Mais ce type de modulation est très sensible aux perturbations électromagnétiques qui peuvent modifier l'amplitude de la porteuse et donc du signal source lors de la démodulation. Lorsque l'on parle de modulation ASK, on peut voir les choses comme le montre la Figure I.5, sans forcément passé par l'étude mathématique :

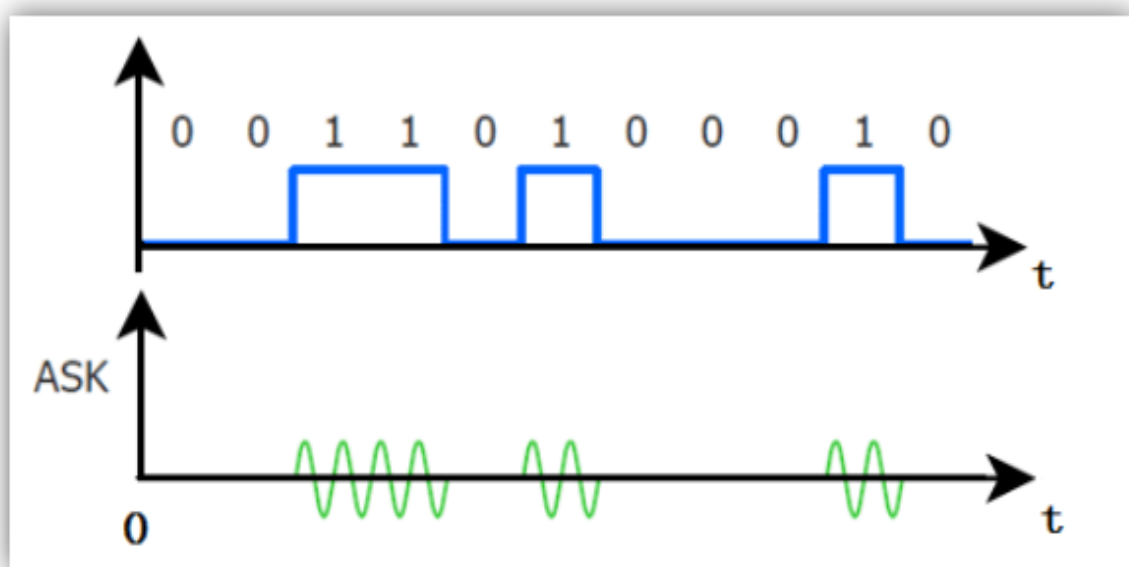


Figure I.5: Modulations d'amplitude ASK.

I.10.2. la modulation de fréquence FSK :

Dans cette technique de modulation, la fréquence de la porteuse est modifiée selon le signal source. Contrairement à la modulation numérique d'amplitude ASK, ce type de modulation est peu sensible aux perturbations électromagnétiques, car ces dernières provoquent des variations d'amplitude du signal mais pas de sa fréquence. Donc, à la démodulation le signal récupéré est identique à celui de la source. Lorsque l'on parle de modulation FSK, on peut voir les choses comme le montre la Figure I.6 :

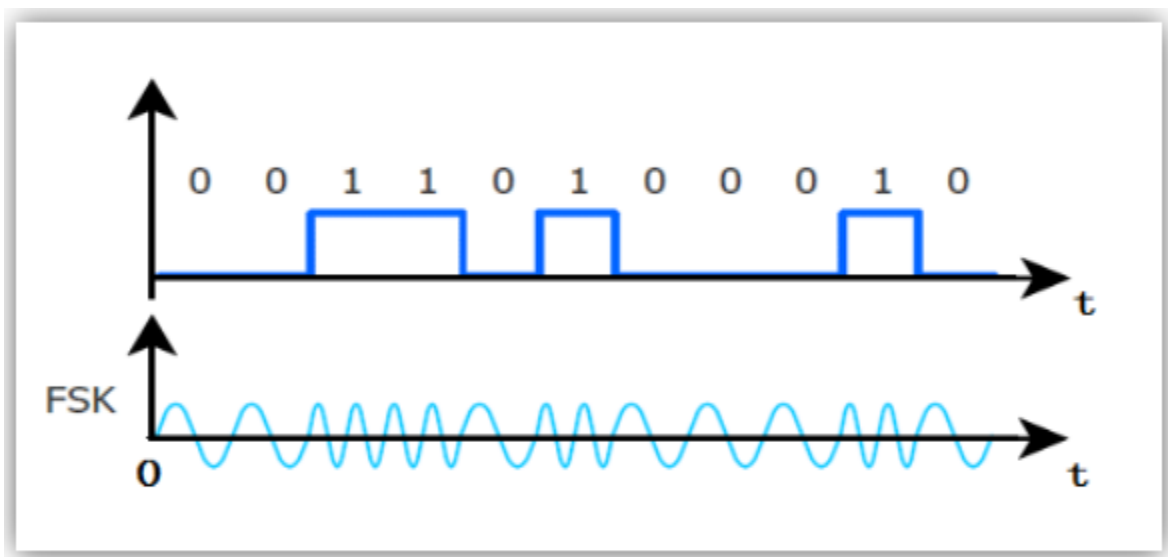


Figure I.6: Modulations de Fréquence FSK.

I.10.3. la modulation de phase PSK:

Cette modulation est principalement utilisée pour des transmissions de valeurs binaires. La porteuse est déphasée selon l'amplitude du signal source.

Pour un signal binaire, la variation de phase est de 180 degrés à chaque transition. On peut également définir 4 déphasages différents (tous les 90 degrés) pour transmettre les valeurs binaires "00", "01", "10", "11".

Dès lors le débit binaire sera 2 fois plus grand que le débit exprimé en Bauds (bit/sec).

Lorsque l'on parle de modulation PSK, on peut voir les choses comme le montre la Figure I.7 :

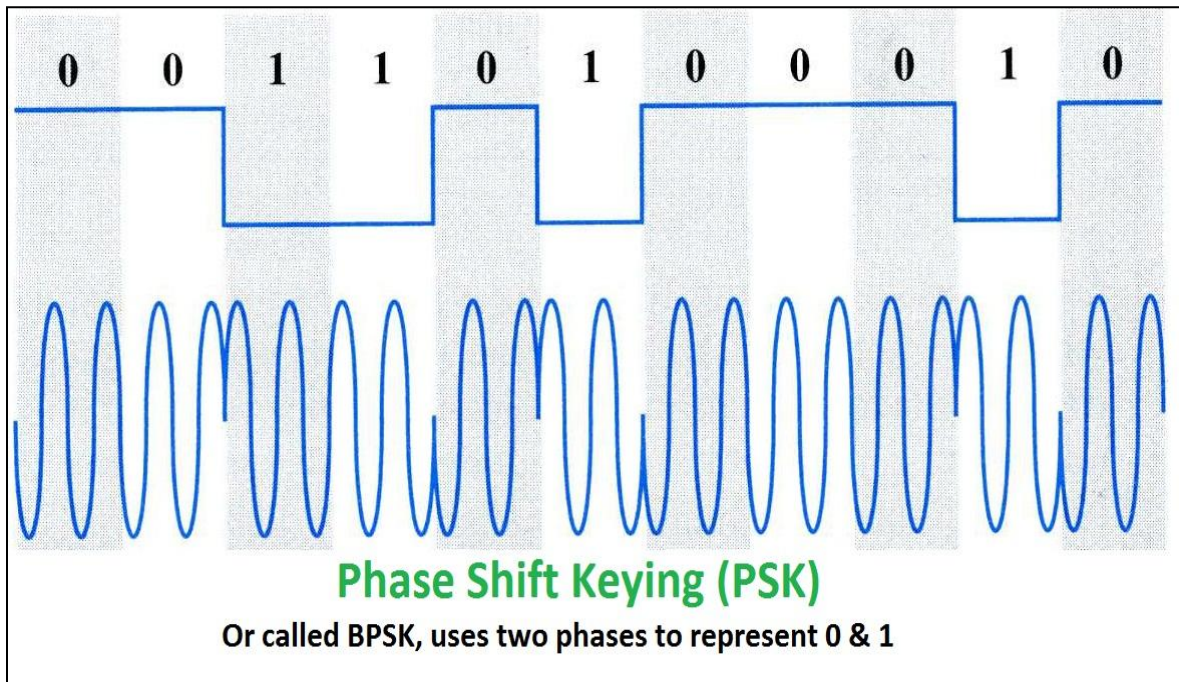


Figure I.7: Modulations de Phase PSK.

Les formes de PSK les plus utilisées sont la BPSK (ou 2-PSK : deux valeurs de phase possibles), la QPSK (ou 4-PSK : quatre valeurs de phase possibles) et la DPSK (différentiel-PSK : ou l'information est contenue non pas dans une valeur absolue de phase, mais dans le déphasage entre deux signaux successifs).

Reprenons l'expression générale d'une modulation numérique :

$$m(t) = \text{Re}[\sum C_k(t) \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)}] \quad \text{Avec} \quad C_k(t) = a_k(t) + j b_k(t)$$

Les signaux élémentaires $a_k(t)$ et $j b_k(t)$ 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 pourrait imaginer plusieurs MDP-M pour la même valeur de M où les symboles seraient disposés de façon quelconque sur le cercle ! 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 :

$$\vartheta_k = \frac{\pi}{M} + k \frac{2\pi}{M}$$

Lorsque $M > 2$

Et $\vartheta_k = 0$ ou π

Lorsque $M=2$

I.11. Démodulation

Le but de toute démodulation est de récupérer le message transmis par modulation. Il faut donc éliminer le signal de la porteuse en modifiant le moins possible le message transmis. [13]

- **Détection d'enveloppe**

La démodulation par détection d'enveloppe (ou de crête) est très utilisée dans les montages électroniques de moyenne qualité, car elle utilise très peu de composants, et son coût est donc très faible par rapport à d'autres démodulateurs plus précis. Le principe consiste à détecter les maxima du signal modulé de façon à restituer l'enveloppe du signal modulé, qui est bien sûr le message transmis. On utilise pour cela un montage détecteur de crête.

- **Détection synchrone**

La démodulation synchrone est la plus utilisée dans les montages actuels, car elle permet une meilleure restitution du message que la détection d'enveloppe. Le principe consiste à multiplier le signal modulé $S(t)$ par un signal généré par un oscillateur local de même fréquence et de même phase que la porteuse. Le filtre Passe-bas permet ensuite d'éliminer les raies créées par la multiplication, autour des fréquences f_0 et $2f_0$: le signal BF $m(t)$ est restitué.

- **Détection quadratique**

La démodulation par détection quadratique est utilisée dans les montages fonctionnant à très haute fréquence (VHF-UHF). Le principe consiste à appliquer le signal modulé $S(t)$ sur un élément non linéaire (par ex. : une diode). Pour une bonne démodulation, il faut un taux de modulation très faible.

I.12. Modulation par déplacement de phase MDP-4 [14]

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

C'est une modulation d'amplitude à deux niveaux sur chacune des porteuses en quadrature.

$$\vartheta_k = \frac{\pi}{4} + k \frac{\pi}{2}$$

Dans ce cas : $n=2, M=4$

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 :

$$\{e^{j\vartheta_k}\} \text{ ou } \vartheta_k = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$$

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

I.12.1. la constellation MDP-4 :

La constellation MDP-4 est représentée figure I.8 Elle montre que l'affectation des bits aux points de la constellation se fait en général selon un codage de Gray.

En conséquence, la représentation polaire de la porteuse module va comporter 4 points, correspondant à chacun de ces 4 états. L'amplitude de porteuse restant la même, ces 4 points vont que situer un cercle.

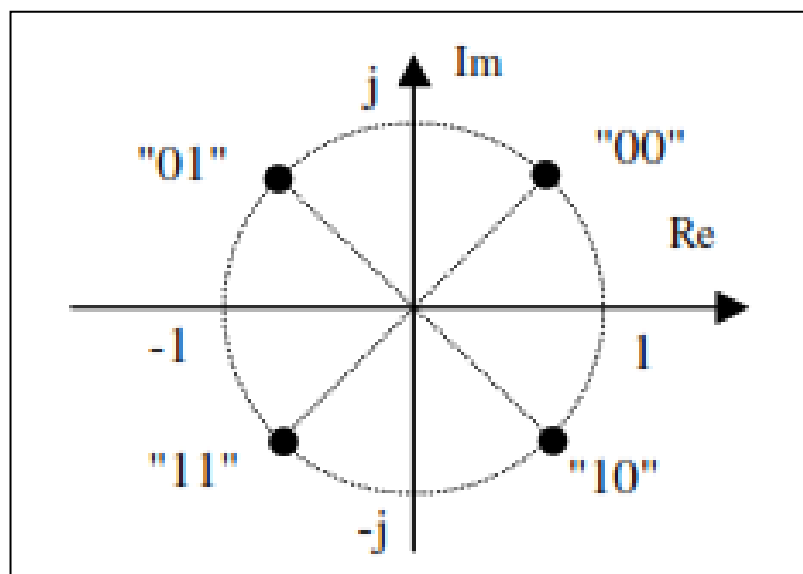


Figure I.8 : La constellation MDP-4.

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 I.1 : les 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 $T_b = \frac{T}{2}$ on obtient :

$$a_k = 1 - 2i_{2k} \quad \text{Et} \quad b_k = 1 - 2i_{2k+1} .$$

$$m(t) = A. \sum (1 - 2. i_{2k}). g(t - kT). \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - A. \sum (1 - 2. i_{2k+1}). g(t - kT) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

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

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

$$m(t) = A. (1 - 2. i_{2k}) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - A. (1 - 2. i_{2k+1}) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$m(t) = A. a_k. \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - A. b_k. \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

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 $\{ i_k \}$.

1.12.2. Chronogramme de MDP-4 :

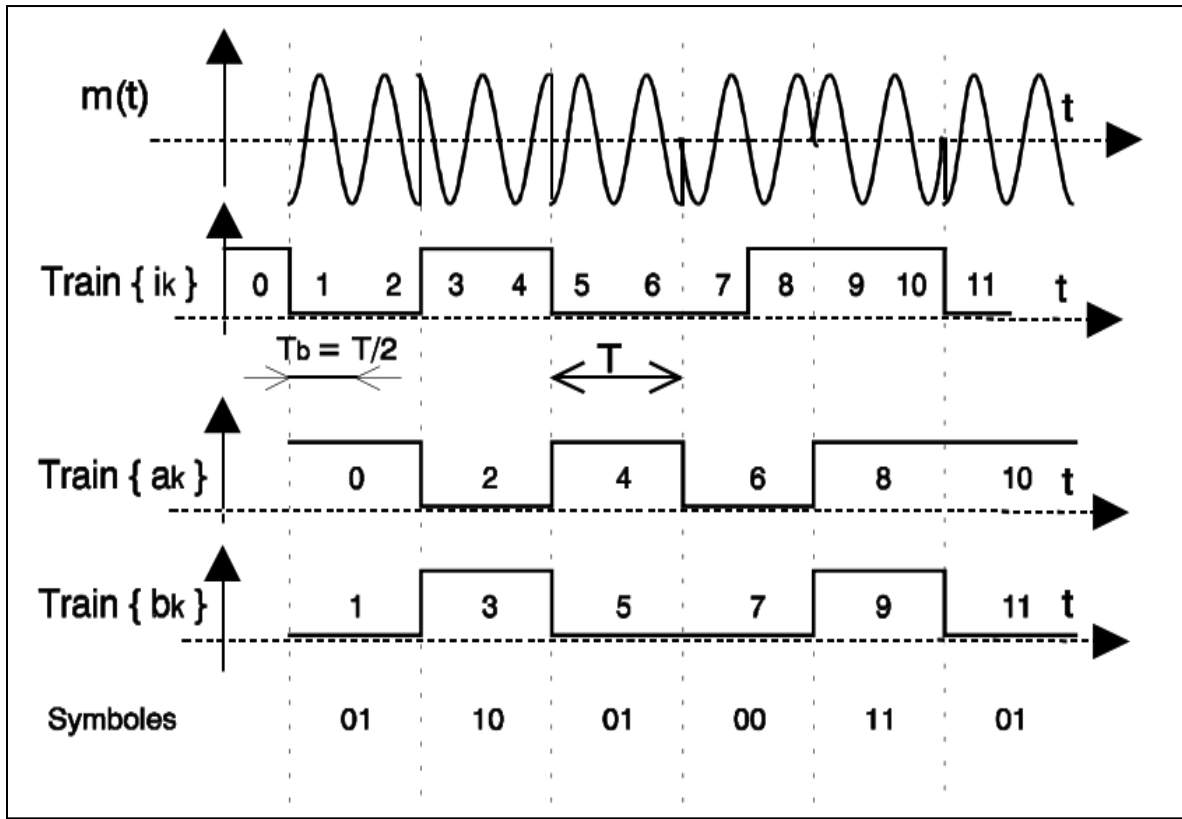


Figure I.9 : Chronogramme de MDP-4.

La figure I.9 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 $0, \pm \frac{\pi}{2},$ ou π radians 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.

I.12.3. Modulateur MDP-4 :

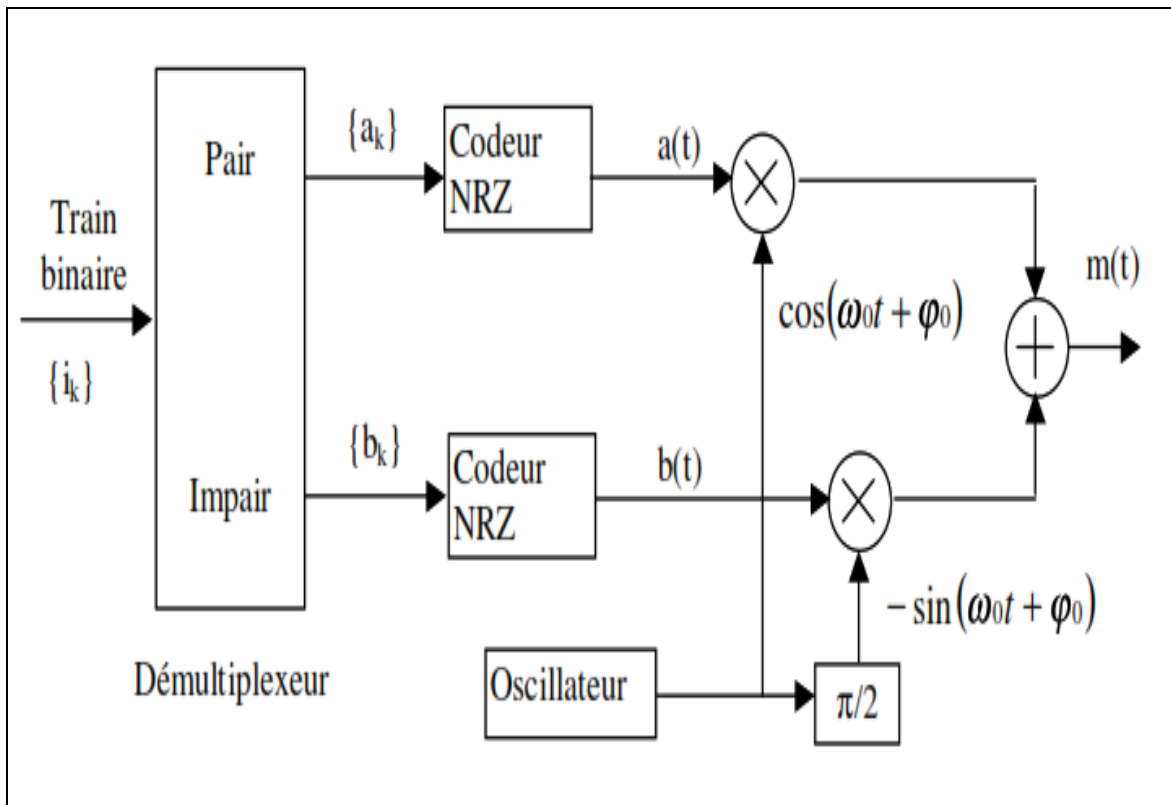


Figure I.10 : Modulateur MDP-4.

Le schéma synoptique du modulateur qui est présenté à la figure I.10 montre le démultiplexage du train binaire à l'entrée du modulateur en deux trains binaires sur les voies en phase et en quadrature. Les deux trains binaires sont alors codés en NRZ.

La suite du schéma représente la relation

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

Et fait donc appel à deux multiplieurs.

I.12.4. Démodulateur MDP-4 :

Le démodulateur MDP-4 est essentiellement constitué de deux démodulateurs MDP-2. En effet, le signal reçu (après un filtrage passe-bande éventuel) est démodulé dans deux voies parallèles par deux porteuses en quadrature. Certaines techniques permettent de synchroniser l'oscillateur local avec la porteuse à l'émission. Le signal en quadrature est généré à partir de l'oscillateur local et d'un déphaseur de $\frac{\pi}{2}$.

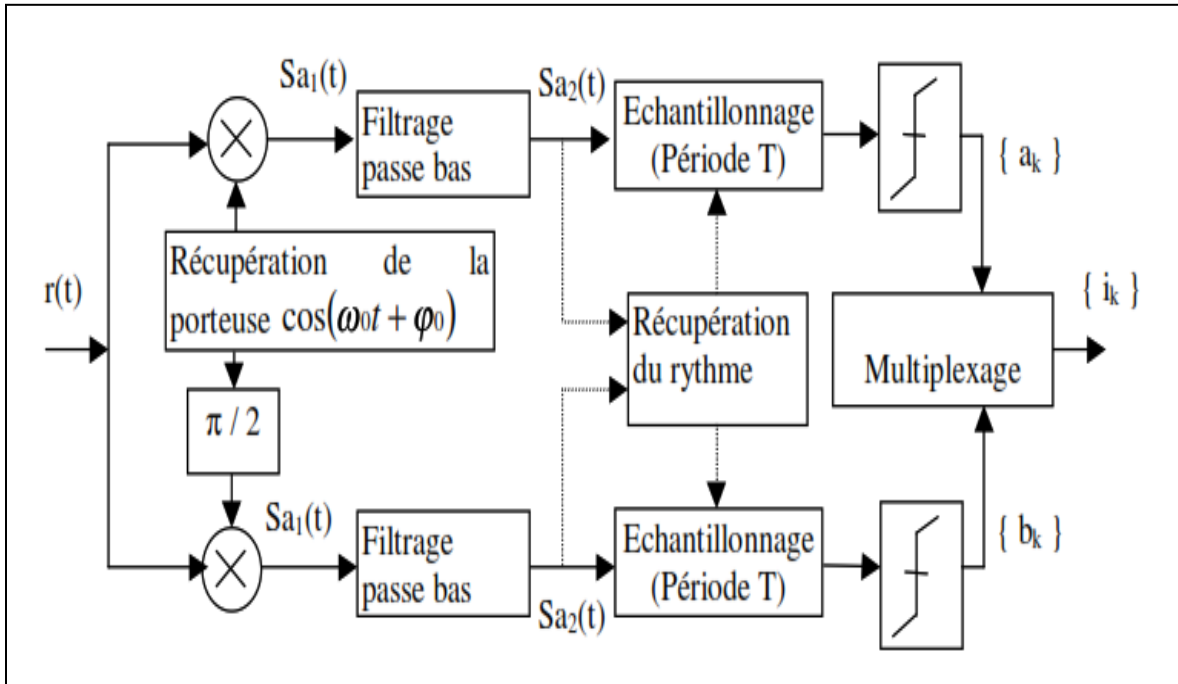


Figure I.11 : Démodulateur cohérent MDP-4.

Soit $m(t) = a_k \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b_k \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ le signal non bruité reçu par le récepteur dans l'intervalle de temps $[kT, (k+1)T[$. Pour la voie A et après multiplication avec la porteuse récupérée, on obtient :

$$Sa_1(t) = [a_k \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b_k \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)] \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Donc, après filtrage pour éliminer la composante à la fréquence $2f_0$: $Sa_2(t) = \frac{a_k}{2}$.

De la même manière on obtient pour la voie B : $Sb_2(t) = \frac{b_k}{2}$.

Le récepteur doit encore récupérer le rythme des symboles transmis, puis échantillonner les signaux $Sa_2(t)$ et $Sb_2(t)$ au milieu de chaque période. Les trains binaires $\{a_k\}$ et $\{b_k\}$ ainsi récupérés sont alors multiplexés pour obtenir le train binaire $\{i_k\}$.

I.13. Spectre et efficacité spectrale [14]

Pour une même rapidité de modulation $R = \frac{1}{T}$, le spectre du signal modulé de la MDP-M est identique à quelque soit M est égale.

Toujours pour une même rapidité de modulation, le débit binaire, $D = \frac{1}{T_b}$ de la MDP-M est multiplié par $n = \log_2 M$. Autrement dit, pour un spectre identique (et donc largeur de bande B constante), l'efficacité spectrale $\eta = \frac{D}{B}$ est multiplié par $n = \log_2 M$.

M	Modulation	Débit Binaire : D	Efficacité Spectrale : η
2	MDP-2	D	η
4	MDP-4	$2.D$	$2.\eta$
8	MDP-8	$3.D$	$3.\eta$
16	MDP-16	$4.D$	$4.\eta$

Tableau I.2 : le gain obtenu sur le débit binaire et sur l'efficacité spectrale.

Le tableau ci-dessus montre le gain obtenu sur le débit binaire et sur l'efficacité spectrale pour diverses modulations MDP-M, ceci pour une même rapidité de modulation.

I.14. Les performances [14]

L'augmentation de M réduit la distance entre symboles adjacents sur la constellation et cela dégrade naturellement les performances.

Il est possible de comparer les MDP entre elles, en utilisant la probabilité d'erreur par symbole P_e en fonction du rapport $\frac{E_b}{N_0}$. Rappelons que E_b représente l'énergie émise par bit, et, N_0 représente la densité spectrale représente l'énergie émise par bit, et, N_0 représente la densité spectrale de puissance de bruit. En fonction de ce rapport, on trouve que la probabilité d'erreur par symbole est donnée par la relation :

$$P_s(e) = \text{erfc} \left(\sqrt{\log_2 M \cdot \frac{E_b}{N_0} \sin \frac{\pi}{M}} \right).$$

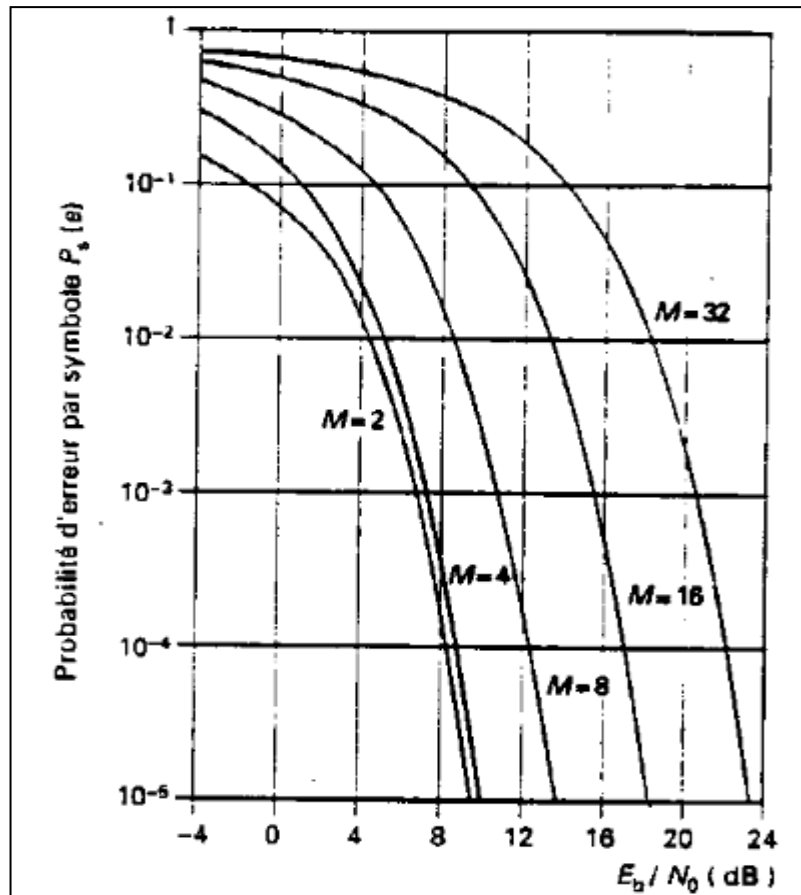


Figure I.12 : Probabilité d'erreur par symbole de la MDP.

I.15. Utilisation de la MDP-4 [15] [16] [17] [18] [19]

En générale la famille des modulations QPSK peut offrir un débit acceptable pour un rapport signal à bruit élevé dans la communication à longue distance, parce que le débit est un facteur plus important dans le modem. On utilise la MDP-4 dans :

1. la transmission par satellite :

Les transmissions par satellite sont caractérisées par une forte atténuation de l'espace et une puissance limitée de l'émetteur à bord du satellite. Ces considérations privilégient l'efficacité en puissance (l'immunité au bruit) contre l'efficacité spectrale des liaisons. Les modulations les plus souvent utilisées sont la MDP-2, la MDP-4 et la MDP-8. Avec ces modulations, l'amplificateur de puissance à bord du satellite peut être utilisé proche de sa saturation, ce qui permet d'employer efficacement la puissance disponible.

La transmission par satellite peut être regroupée en deux catégories :

- La télévision numérique
- la transmission de données par satellite

❖ La télévision numérique par satellite :

La télévision numérique n'est utilisée pour le moment que sur des deux supports de transmission : le câble et le satellite. Avec ces deux supports de transmission, on cherche surtout à augmenter la bande passante de l'information, donc le débit. On serait donc tenté de choisir des modulations à plusieurs états, mais on a vu que plus ce nombre d'état augmente ; plus, pour une transmission sur une distance de quelques centaines ou de quelques milliers de kilomètres, l'atténuation causée par le trajet (environ-200dB) peut noyer à la réception les signaux au-dessous du seuil de bruit.

Il faut donc toujours chercher un compromis entre le débit et la probabilité d'erreur pour de telles transmissions : dans le cas de diffusion par satellite, les modulations choisies sont de la famille QPSK. La bande passante de l'information est typiquement de 36 Mhz et le débit binaire est de 40 Mbit/s.

❖ La transmission de données par satellite :

Le principe de la transmission de données par satellite est la même que celle utilisée par la télévision par satellite. Cela est évident car dans les deux cas, les informations sont numériques ; les différences ne se trouvent qu'au niveau du codage ou décodage des sources. Ces deux transmissions peuvent ainsi cohabiter dans un même équipement d'émission.

2. Utilisation dans la communication avec les mobiles :

Les systèmes numériques de communication avec les mobiles se distinguent par le type d'accès qu'ils utilisent. Les types TDMA et CDMA sont les plus utilisés.

Dans l'émetteur DSSS (Direct sequence spread spectrum) - CDMA (séquence directe à spectre étalé), le signal numérique est multiplié directement au signal codé PN, le résultat module la porteuse.

Les modulations de phase sont très utilisées dans les communications à spectre étalé DSSS- CDMA. La famille des modulations QPSK est évidemment la plus commune. En effet, en comparant la constante de l'enveloppe de l'onde modulée en OQPSK aux autres modulations numériques, seule la GMSK tient la route, mais cette dernière perd beaucoup en matière de BER ; quant à la BPSK, on sait qu'elle n'offre que la moitié du débit de QPSK.

Des générateurs de signal QPSK à spectre étalé sont produits sur le marché, on les utilise dans les systèmes cellulaires numériques, le test et la conception de réseau LAN sans fil, le système de positionnement par satellite GPS .

3. Les faisceaux hertziens :

On distingue deux types de transmissions utilisant les faisceaux hertziens terrestres :

- **FH analogique** : exploité principalement par la télévision et les opérateurs en Télécommunication.
- **FH numérique** : utilisé jusqu'à maintenant dans les transmissions de données et en téléphonie.

Les bandes FHN utilisée par QPSK sont montrées par le tableau suivant :

Bande (GHz)	Débit (Mbit/s)	Puissance (mW)
2,1 – 2,3	2 / 8 / 34	250
3,8 – 4,2	2 × 34	
7,4 – 7,7	2 / 8 / 34	0,1 – 0,4
12,75 – 13,25	34	10 -160

Tableau I.3 : Les bandes FHN utilisée par QPSK.

Au début de la numérisation, les faisceaux hertziens faisaient usage de modulations simples comme la MDP-4 mais l'utilisation efficace du spectre radioélectrique disponible a nécessité le développement de faisceaux hertziens utilisant des modulations à grand nombre d'états comme la MAQ-16 et la MAQ-64.

Le problème principal dans les faisceaux hertziens numériques est la propagation par trajets multiples qui dégrade sérieusement la qualité et limite la possibilité de liaisons à grande capacité. Ce phénomène s'accroît lorsque le nombre d'états de la modulation augmente. A l'opposé des faisceaux hertziens à grande capacité se trouvent les faisceaux à faible débit (2Mbit/s) et à faible coût dans lesquels l'efficacité spectrale n'est pas primordiale. Les modulations utilisées sont en général des MDF-PC à deux ou à quatre états qui permettent d'utiliser une amplification non linéaire dans l'émetteur.

I.16. Conclusion

L'extraordinaire variété des applications que nous venons d'exposer met en évidence l'importance capitale des différentes techniques de transmission numérique sur porteuse. Un intérêt majeur des transmissions numériques réside dans la possibilité de leur insertion harmonieuse dans les réseaux intégrés numériques qui se développent de jour en jour. Un autre avantage réside dans la possibilité de conserver l'intégrité de l'information à transmettre, ce qui est tout à fait impossible avec une transmission analogique. Cependant, la simplicité d'utilisation des modulations analogiques traditionnelles fait qu'elles ne sont pas encore reléguées au musée des techniques désuètes. [20]

Les systèmes modernes de communication numérique sont complexes et requièrent des circuits de modulation et de démodulation de plus en plus sophistiqués. Nous avons examiné un certain nombre de modulations qui sont aujourd'hui utilisées. Il s'avère que le choix d'un type de modulation est toujours déterminé par les contraintes de l'application. Le développement des transmissions numériques s'est appuyé sur les progrès rapides réalisés dans le domaine des circuits intégrés de traitement des signaux. Ainsi, l'utilisation de solutions intégrées devient indispensable au fur et à mesure que le niveau de complexité des systèmes s'accroît et que le prix consenti par le consommateur diminue.

Actuellement, 4-PSK est le format de modulation courant utilisé pour les communications par satellite numérique. Pour améliorer l'efficacité de la bande passante, 8-PSK pourrait être utilisé à la place, mais une puissance plus élevée serait nécessaire ; pour améliorer l'efficacité énergétique, des codes de correction d'erreur pourraient être utilisés, mais au détriment d'une plus grande bande passante. Récemment, a proposé une classe de codes dans laquelle une constellation de 2Msignaux est utilisée pour transmettre des informations aux taux de \log_2 Mbits par symbole et a montré que des gains de codage allant jusqu'à plusieurs décibels peuvent être obtenus sur l'additif Canal de bruit gaussien blanc (AWGN) sans augmentation de l'occupation de la bande passante et une complexité ajoutée relativement petite. Ainsi, ces codes semblent particulièrement attrayants pour une application dans l'environnement limité en bande typique des systèmes de communication par satellite, à condition que le gain de performance qu'ils fournissent sur le canal AWGN ne soit pas perdu sur une chaîne satellitaire.

I.17. Références Bibliographique

[1] Mémoire Présenté Pour l'obtention du Diplôme de MAGISTER

<https://www.univsetif.dz/MMAGISTER/images/facultes/TEC/2015/2014/MEHASSOUELMustapha.pdf>

[2] Bakri Hadj Ali, « **Exploitation de l'association des techniques MIMO OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil** », mémoire Pour l'obtention du Diplôme de Magister, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2012, page 5.

[3] Basel RIHAWI : « Analyse et réduction du power ratio des systèmes de radiocommunications multi-antennes » pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Rennes I Soutenu le 20 Mars 2008

[4] « **Transmitter and Receiver Technique** »

http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf .

[5] «**Transmission d'un signal modulation et démodulation**»

http://ephz.fr/cours/pc/pc_elec/pc_tp_modulation.pdf.

[6] A.oumnad « **Modulation analogique** », page 1.

[7] Yoann Morel « **Communication numérique – Codage en ligne d'un signal** »

<http://xymaths.free.fr/Signal/Cours/III-Codage-signaux-numerique.php?pdf>

[8] Code NRZ, https://fr.wikipedia.org/wiki/Non_Return_to_Zero

[9] « **Transmitter and Receiver Technique** »

http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf

- [10] Mlle GHORZI Sihem, Mlle FEKIH Meryem «**Conception d'un système de communication sans fils multi porteuse et multi accès et application à la 4G** », mémoire pour l'obtention du diplôme de Master , page 15.
- [11] Farhi Nabila ,Helaimia Souhaila « **Etude et Simulation D'une transmission de Type OFDM pour les communication Sans Fil** » , page 25.
- [12] Bensayah Miloud , Adel Tawfik « **Etude de la Modulation OFDM** » , mémoire pour L'obtention du diplôme de licence, page 12, 13,14.
- [13] <http://ebrois.free.fr/cours/electronique/am/am.htm>
- [14] Bases De Transmissions Numériques (**les modulations numériques**), **Patrice Kadionik**
- [15] **G. Lebègue, satellite de communication,**
http://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite_de_communication#Internet_et_donn.C3.A9es_par_sa_tellite
- [16] **S. Bathi, Lecture notes for M.Sc, Data Communication Networks and Distributed Systems D51, 2004,** <http://www-dept.cs.ucl.ac.uk/staff/S.Bhatti/D51-notes/notes.html>
- [17] **P. Lecoy, Réseaux et télécommunications,** Technologie des Télécoms, Hermès, Paris, 1995.
- [18] **P. Magne, Technique de l'ingénieur – Télécommunication,** Les faisceaux hertziens numériques, E7 540, 1989
- [19] **K. Murota, K. Hirade, GMSK Modulation for digital mobile telephony,** IEEE transaction on communications, Volume: 29, pp. 1044-1050, 1981
- [20] **Interface Graphique MATLAB à Base de Modulations Numériques,** Projet De Fin D'études Pour L'obtention Du Diplôme De Master Centre Universitaire Blhadj Bouchaib D'Ain Témouchent.

Chapitre II

Simulation de la modulation et démodulation QPSK sur le logiciel MATLAB



II.1. Introduction

II.2. Modulation et Démodulation de QPSK sous MATLAB

II.3. La simulation

II.4. Conclusion

II.5. Références Bibliographique

Chapitre II : Simulation de la modulation et démodulation QPSK sur le logiciel MATLAB

II.1. Introduction

MATLAB (MATrix LABoratory) est un logiciel interactif, développé par Math Works Inc. Et destiné notamment au traitement numérique des données. Il est particulièrement performant pour le calcul matriciel car sa structure de données interne est basée sur les matrices. Il dispose également de grandes capacités graphiques pour, par exemple, la visualisation d'objets mathématiques complexes.

Matlab intègre le calcul numérique, la visualisation des résultats et la programmation dans un environnement ouvert aux développements ultérieurs. Un certain nombre de démonstrations sont accessibles en tapant « demo ». Matlab intègre dans sa version originale les outils mathématiques classiques tels que : calcul matriciel, manipulation de fonction, graphisme..., mais il est possible d'étendre Matlab par l'acquisition d'autres modules, entre autres:

- Simulink pour la simulation des systèmes complexes.
- Toolbox pour les différents types d'applications telles que : automatique, traitement d'image traitement numérique de signal, [1]

Simulink est un logiciel servant à la modélisation, simulation et analyse des systèmes dynamiques. Il comporte plusieurs bibliothèques appelées Blocksets. Dans la simulation, on a utilisé essentiellement deux Blocksets de l'environnement Simulink à savoir :

- **Communications blockset** : représente une extension du Simulink fournissant une librairie pour la conception et la simulation des éléments de la couche physique d'un système de communication. L'intégration avec Matlab et Communications Toolbox est possible pour des analyses après simulation.
- **Signal processing blockset** : est un outil pour la simulation des algorithmes de traitement des signaux numériques. Il contient des blocs qui peuvent être connectés afin de créer des modèles sophistiqués capables d'opérer pour le traitement des algorithmes de réception et de communications numériques.

II.2. Modulation et Démodulation de QPSK Sous MATLAB [2]

II.2.1. Partie des données :

Dans cette étape on déclare les données de l'information qui nous voulons de transmis et leur caractéristiques pour faire la modulation et on va voir la figure de notre signal.

Le code:

```
clc;

clear all; close all;

data=[0 1 0 1 1 1 0 0 1 1]; % information

%Number_of_bit=1024;

%data=randint(Number_of_bit,1);

figure(1)

stem(data, 'linewidth',3), grid on;

title(' Information before Transmiting ');

axis([ 0 11 0 1.5]);

data_NZR=2*data-1; % Data Represented at NZR form for QPSK modulation

s_p_data=reshape(data_NZR,2,length(data)/2); % S/P conversion of data

br=10.^6; %Let us transmission bit rate 1000000

f=br; % minimum carrier frequency

T=1/br; % bit duration

t=T/99:T/99:T; % Time vector for one bit information
```

II.2.2. Partie de modulation :

Dans cette étape on code notre information en forme NRZ puis on le divise en deux parties, en phase et quadrature, et on trouve notre signal modulée.

Le code :

```
y=[];
y_in=[];
y_qd=[];
for(i=1:length(data)/2)
y1=s_p_data(1,i)*cos(2*pi*f*t); % inphase component
y2=s_p_data(2,i)*sin(2*pi*f*t) ;% Quadrature component
y_in=[y_in y1]; % inphase signal vector
y_qd=[y_qd y2]; %quadrature signal vector
y=[y y1+y2]; % modulated signal vector
end
Tx_sig=y; % transmitting signal after modulation
tt=T/99:T/99:(T*length(data))/2;
figure(2)
subplot(3,1,1);
plot(tt,y_in,'linewidth',3), grid on;
title(' wave form for inphase component in QPSK modulation ');
xlabel('time(sec)');
ylabel(' amplitude(volt0)');
subplot(3,1,2);
plot(tt,y_qd,'linewidth',3), grid on;
```

```
title(' wave form for Quadrature component in QPSK modulation ');  
xlabel('time(sec)');  
ylabel(' amplitude(volt0)');  
subplot(3,1,3);  
plot(tt,Tx_sig,'r','linewidth',3), grid on;  
title('QPSK modulated signal (sum of inphase and Quadrature phase signal)');  
xlabel('time(sec)');  
ylabel(' amplitude(volt0)');
```

II.2.3. Partie de démodulation :

Dans cette étape nous récupérons notre information on utilise la démodulation avec la méthode de trapèze.

Le code:

```
Rx_data=[];  
Rx_sig=Tx_sig; % Received signal  
for(i=1:length(data)/2)  
%%XXXXXX inphase coherent dector XXXXXXXX  
Z_in=Rx_sig((i-1)*length(t)+1:i*length(t)).*cos(2*pi*f*t);  
% above line indicat multiplication of received & inphase carred signal  
Z_in_intg=(trapz(t,Z_in))*(2/T);% integration using trapizodial rull  
if(Z_in_intg>0) % Decession Maker  
Rx_in_data=1;  
else  
Rx_in_data=0;
```

```
end

%%XXXXXX Quadrature coherent dector XXXXXX

Z_qd=Rx_sig((i-1)*length(t)+1:i*length(t)).*sin(2*pi*f*t);

%above line indicat multiplication ofreceived & Quadphase carred signal

Z_qd_intg=(trapz(t,Z_qd))*(2/T);%integration using trapizodial rull

if (Z_qd_intg>0)% Decession Maker

Rx_qd_data=1;

else

Rx_qd_data=0;

end

Rx_data=[Rx_data Rx_in_data Rx_qd_data]; % Received Data vector

end

figure(3)

stem(Rx_data,'linewidth',3)

title('Information after Receiveing ');

axis([ 0 11 0 1.5]), grid on;
```

II.3. La simulation

La simulation de systèmes de communication est un moyen efficace et rapide pour mettre en lumière les performances et les principales difficultés de conception de ces derniers.parmis l'ensemble des logiciels de simulation, nous avons utilisé l'outil de simulation appelé Matlab/Simulink permet de modéliser des chaines de transmission, pour en analyser les performances en termes de taux d'erreur binaire (TEB)

II.3.1 MDP-4 Sous Simulink :

La structure de niveau supérieur du modèle est illustrée dans la figure suivante, qui comprend le sous-système émetteur, le sous-système canal et le sous-système récepteur.

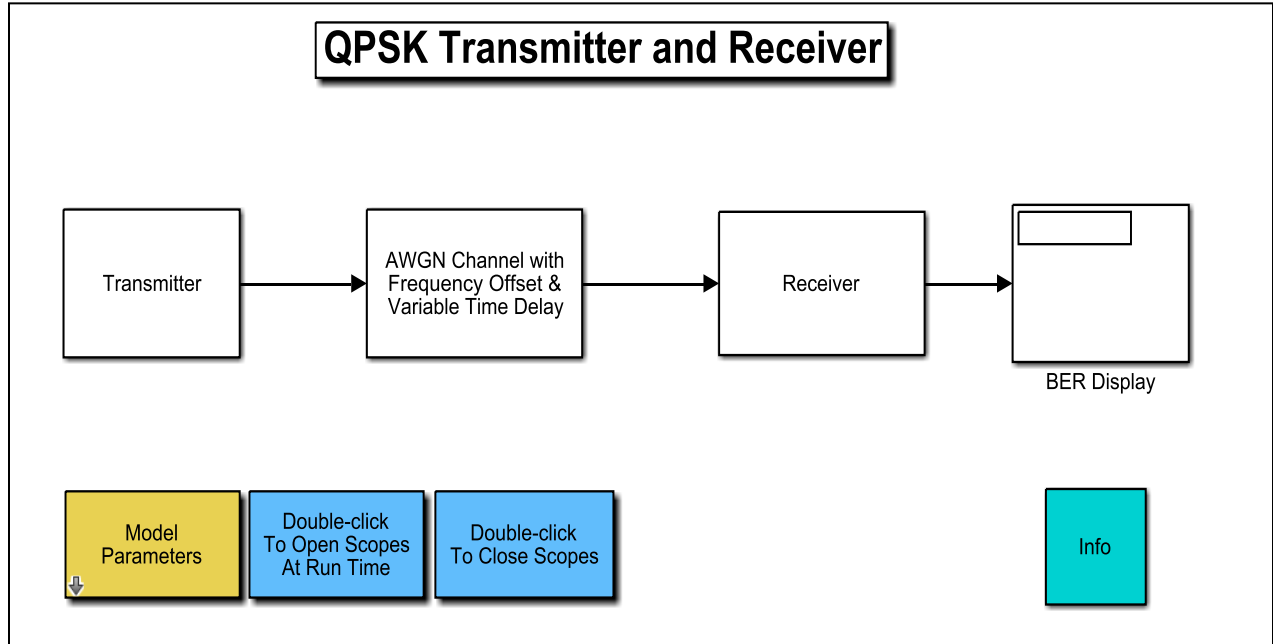


Figure II.1 : le sous-système émetteur, canal et le récepteur.

Les structures détaillées du sous-système émetteur et du sous-système récepteur sont illustrées dans les figures suivantes :

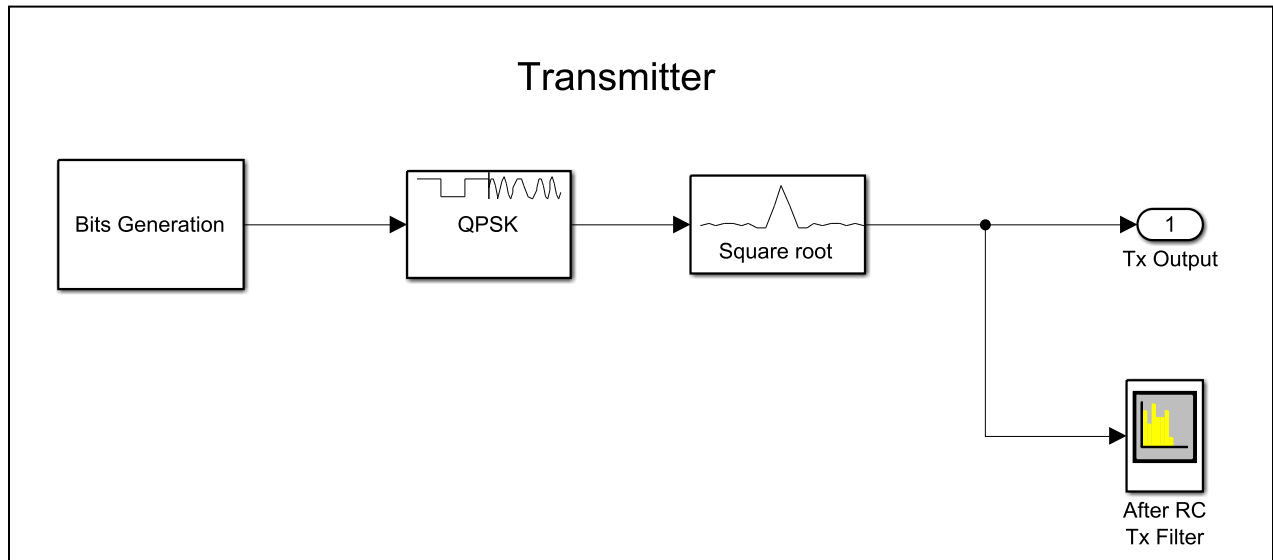


Figure II.2 : le sous-système Emetteur.

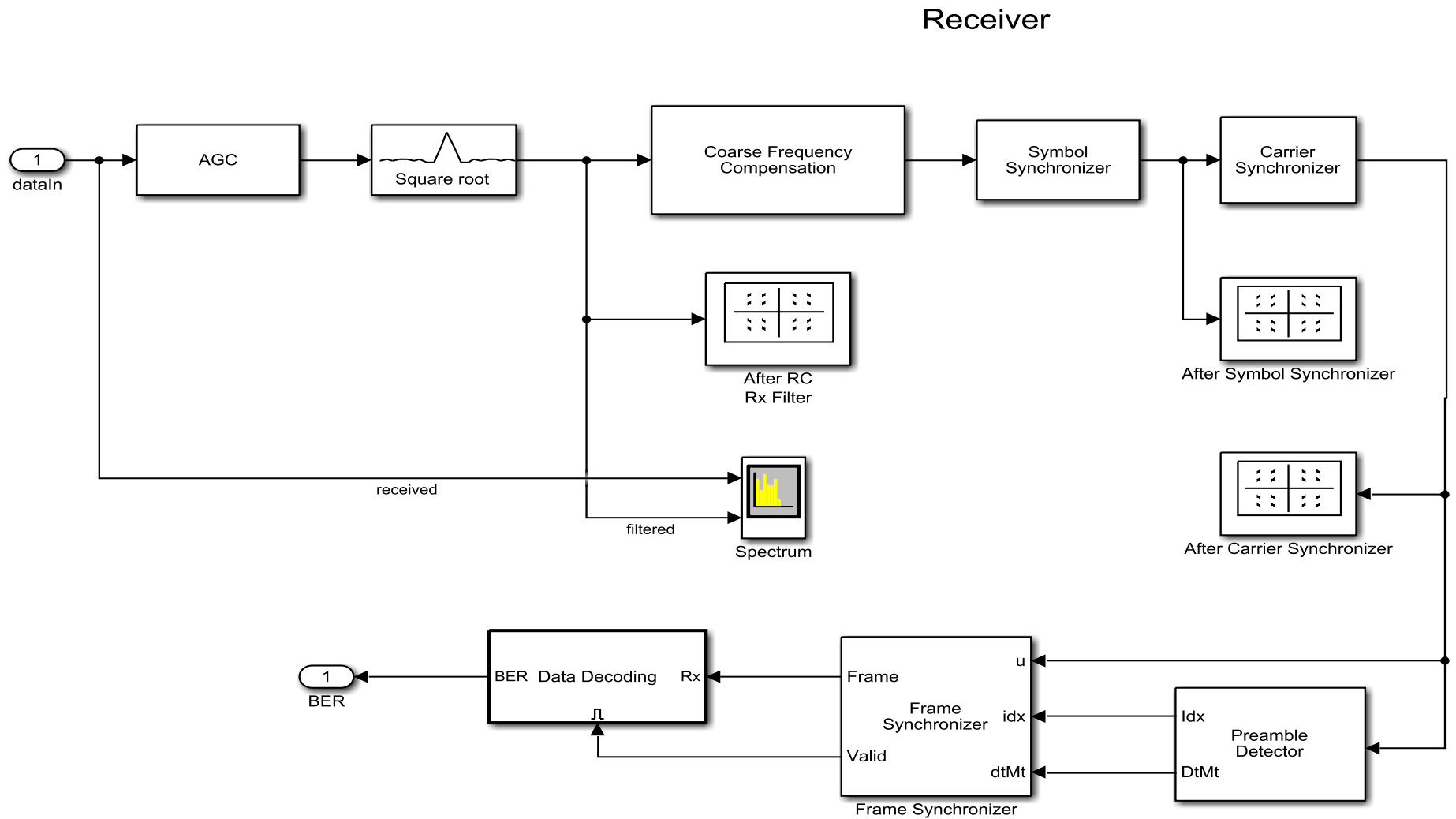


Figure II.3 : le sous-système Récepteur.

Chapitre II Simulation de la modulation et démodulation QPSK sur le logiciel MATLAB

Les composants sont décrits plus en détail dans les sections suivantes :

❖ **Émetteur**

- **Bit Génération** : Génère les bits pour chaque trame.
- **Modulateur QPSK** : Module les bits en symboles QPSK
- **Filtre de transmission en cosinus surélevé** : Utilise un facteur d'atténuation de 0,5 et sur échantillonne les symboles QPSK de deux.

❖ **Canal**

- **Canal AWGN avec décalage de fréquence et délai variable** : Applique le décalage de fréquence, une dérive de synchronisation et un bruit gaussien blanc additif au signal

❖ **Destinataire**

- **Filtre de réception de cosinus surélevé** : Utilise un facteur de réduction de 0,5
- **Compensation de fréquence grossière** : Estime un décalage de fréquence approximatif du signal reçu et le corrige
- **Synchroniseur de symboles** : Ré échantillonne le signal d'entrée en fonction d'un stroboscope de synchronisation récupéré afin que les décisions de symboles soient prises aux instants d'échantillonnage optimaux
- **Carrier Synchroniser** : Compense le décalage de fréquences résiduelles et le décalage de phase
- **Détecteur de préambule** : Détecter l'emplacement de l'en-tête de la trame
- **Frame Synchroniser** : Aligne les limites du cadre sur l'en-tête de cadre connu
- **Décodage des données** : Résout l'ambiguïté de phase causée par le synchroniseur de porteuse, démodule le signal et décode le message texte

❖ Émetteur

L'émetteur comprend le sous-système Bit Génération, le bloc QPSK Modulateur et le bloc Raised Cosine Transmit Filter. Le sous-système Bit Génération utilise une variable d'espace de travail MATLAB comme charge utile d'une trame, comme illustré dans la figure ci-dessous. Chaque cadre contient 20 messages «Hello world ###» et un en-tête. Les 26 premiers bits sont des bits d'en-tête, un code Barker de 13 bits qui a été sur échantillonné par deux. Le code Barker est sur échantillonné par deux afin de générer précisément 13 symboles QPSK pour une utilisation ultérieure dans le sous-système de décodage des données du modèle de récepteur. Les bits restants sont la charge utile. La charge utile correspond à la représentation ASCII de 'Hello world ###', où '###' est une séquence répétitive de '000', '001', '002', ..., '099'. La charge utile est brouillée pour garantir une distribution équilibrée des zéros et des uns pour l'opération de récupération de synchronisation dans le modèle de récepteur. Les bits brouillés sont modulés par le modulateur QPSK (avec mappage de Gray). Les symboles modulés sont sur échantillonnés par deux par le filtre de transmission en cosinus surélevé avec un facteur de réduction de 0,5. Le débit de symboles du système émetteur est de 50 000 symboles par seconde, et le taux d'échantillonnage après le filtre de transmission en cosinus surélevé est de 100 000 échantillons par seconde.

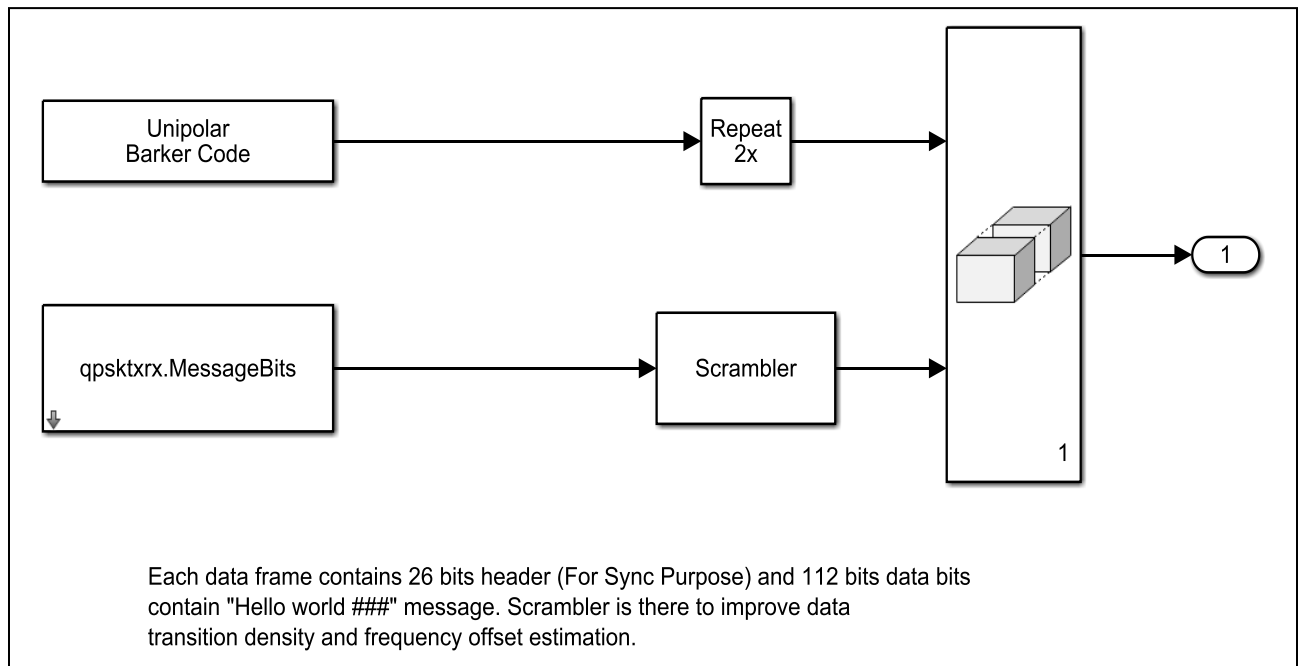


Figure II.4 : La structure d'émetteur.

❖ Canal AWGN avec décalage de fréquence et délai variable

Le sous-système Canal AWGN avec décalage de fréquence et délai variable applique d'abord le décalage de fréquence et un décalage de phase prédéfini au signal d'émission. Ensuite, il ajoute un retard variable avec un choix des deux types de retard suivants au signal:

- **Retard de rampe :** Ce type de retard est initialisé aux échantillons DelayStart et augmente linéairement à un taux d'échantillons DelayStep dans chaque trame. Lorsque le retard réel atteint une trame, le tampon de retard est plein et il maintient un retard d'une trame.
- **Retard triangulaire :** Ce type de retard change linéairement dans les deux sens entre les échantillons MinDelay et les échantillons MaxDelay à un taux d'échantillons DelayStep dans chaque image

L'utilisation de plusieurs caractéristiques de retard vous permet d'étudier leurs effets sur les performances du récepteur, en particulier sur le bloc Synchroniseur de symboles. Le signal retardé est traité via un canal AWGN. Le schéma du sous-système de canal AWGN avec décalage de fréquence et délai variable est présenté ci-dessous.

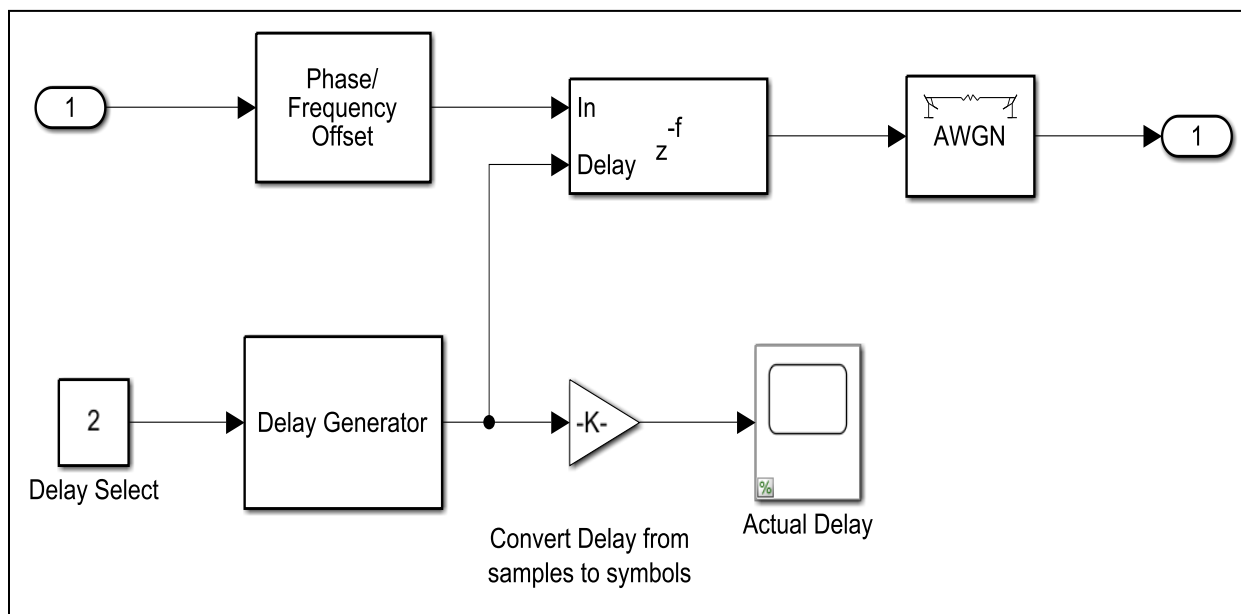


Figure II.5 : La structure du Canal AWGN

❖ Récepteur

- **Filtre de réception de cosinus surélevé**

Le filtre de réception en cosinus surélevé fournit un filtrage adapté pour la forme d'onde transmise avec un facteur d'atténuation de 0,5.

- **AGC**

L'amplitude du signal reçu affecte la précision du synchroniseur de porteuse et de symbole. Par conséquent, l'amplitude du signal doit être stabilisée pour garantir une conception de boucle optimale. La puissance de sortie de l'AGC est réglée à une valeur garantissant que les gains équivalents des détecteurs d'erreur de phase et de synchronisation restent constants dans le temps. L'AGC est placé avant le filtre de réception en cosinus surélevé afin que l'amplitude du signal puisse être mesurée avec un facteur de suréchantillonnage de deux, améliorant ainsi la précision de l'estimation.

- **Compensation de fréquence grossière**

Le sous-système de compensation de fréquence grossière corrige le signal d'entrée avec une estimation approximative du décalage de fréquence. Le diagramme suivant montre le sous-système, dans lequel le décalage de fréquence est estimé en calculant la moyenne de la sortie de l'algorithme basé sur la corrélation du bloc Compensateur de fréquence grossière. La compensation est effectuée par le bloc Phase / Fréquence Offset. Il y a généralement un décalage de fréquence résiduel même après la compensation de fréquence grossière, ce qui provoquerait une rotation lente de la constellation. Le bloc Carrier Synchronizer compense cette fréquence résiduelle.

La précision du compensateur de fréquence grossière diminue avec sa valeur de décalage de fréquence maximale. Idéalement, cette valeur doit être réglée juste au-dessus de la plage de décalage de fréquence attendue. Par exemple, ce modèle introduit un décalage de fréquence de 5 kHz et le compensateur de fréquence grossier est configuré avec un décalage de fréquence maximum de 6 kHz.

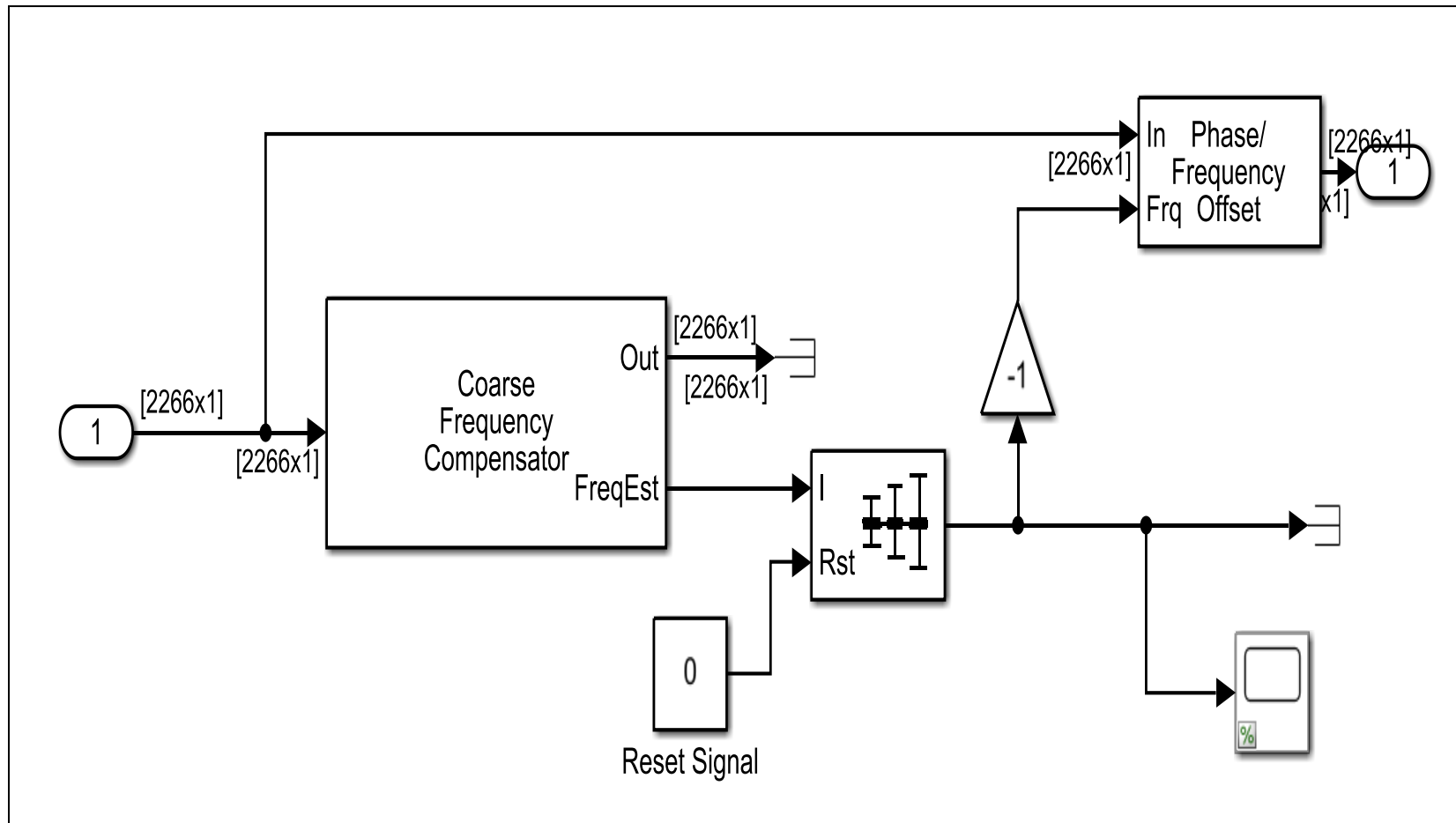


Figure II.6 : Le sous-système de compensation de fréquence grossière.

II.4. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre était d'étudier un modèle de l'une des modulations les plus couramment utilisées schémas dans les systèmes de communication par satellite, QPSK Modulateur et démodulateur. Il a été conçu, simulé et testé à l'aide de MATLAB Simulink.

Logiciel MATLAB est le plus efficace et facile au même temps pour faire les modulations numérique, car il ajoute plusieurs d'information à notre crédit cognitif pour présenter notre projet.

II.6. Références Bibliographique

- [1] Sebastian Prot, Kent Palmkvist, TSTE91 System Design Communications System Simulation Using Simulink Electronic Systems.
- [2] Michael Rice, "**Digital Communications - A Discrete-Time Approach**", Prentice Hall, April 2008.

Chapitre III

Discussion et Interprétations des Résultats



III.1. Introduction

III.2. Résultats et affichages de code MATLAB

III.3. Résultats et affichages de La partie de la simulation

III.4. Discussion des résultats de simulation

III.5. Conclusion

III.6. Références Bibliographique

Chapitre III : Discussion et Interprétations des Résultats

III.1. 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.

III.2. Résultats et affichages de code MATLAB :

III.2.1. Partie des données :

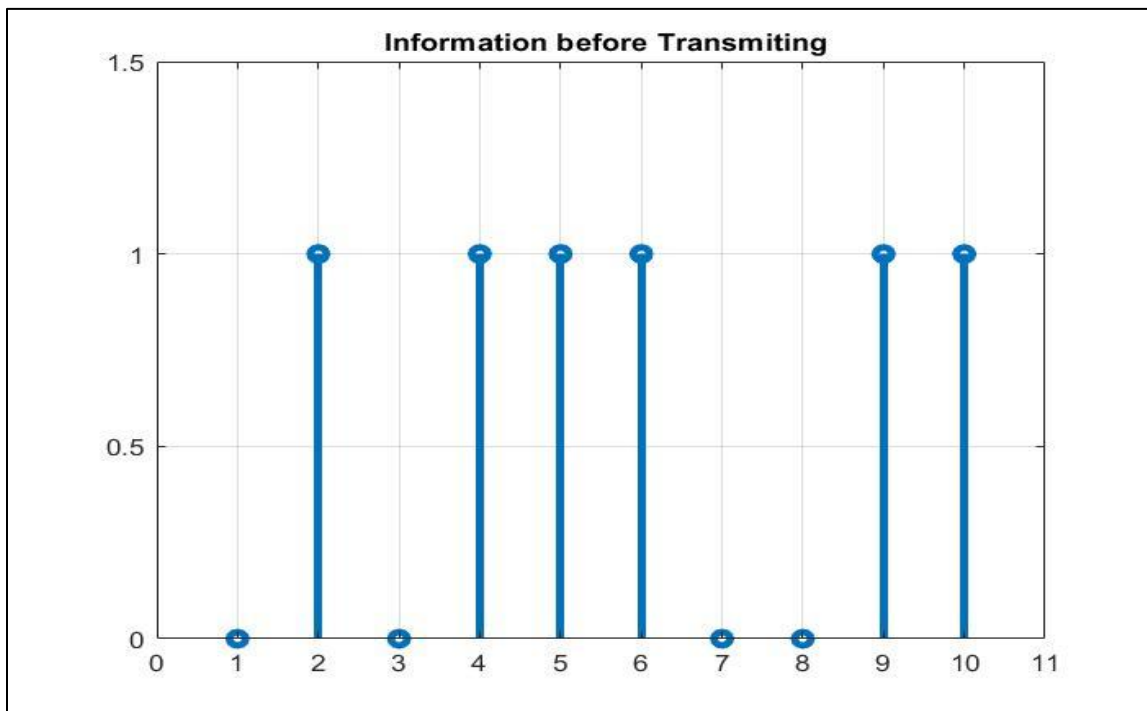


Figure III.1 : l'information avant la modulation.

III.2.2. Partie de modulation :

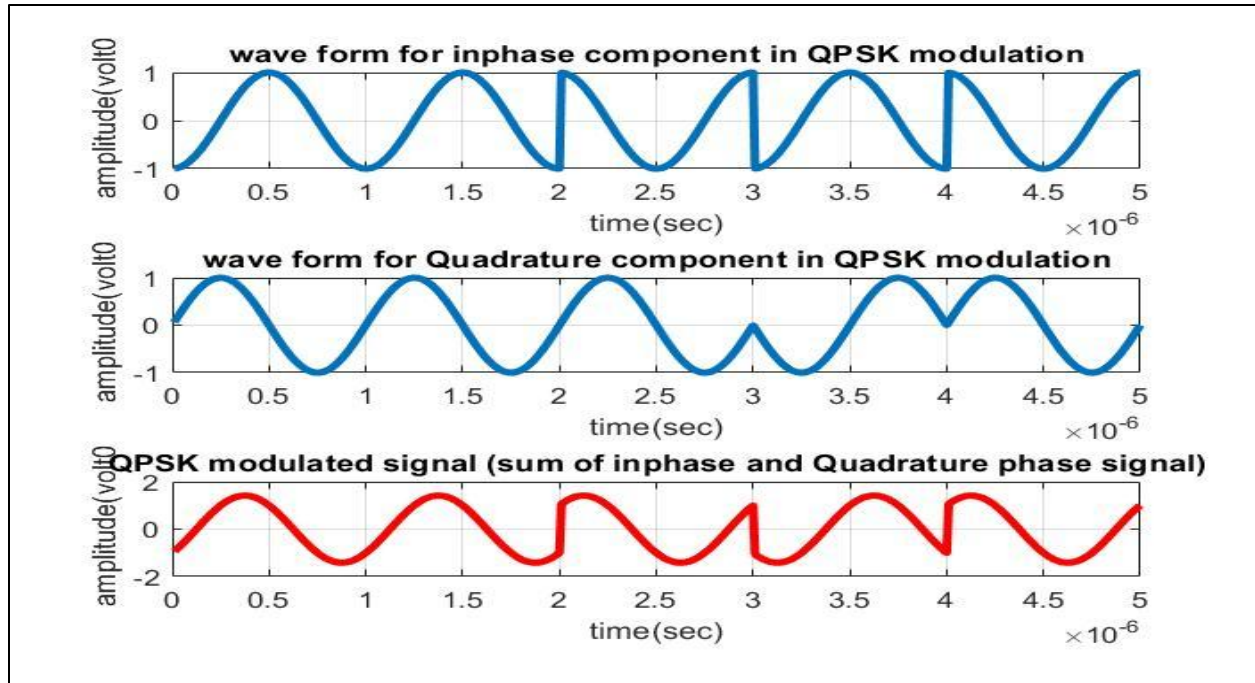


Figure III.2 : Signal modulé avec la porteuse et le signal QPSK.

III.2.3. Partie de démodulation :

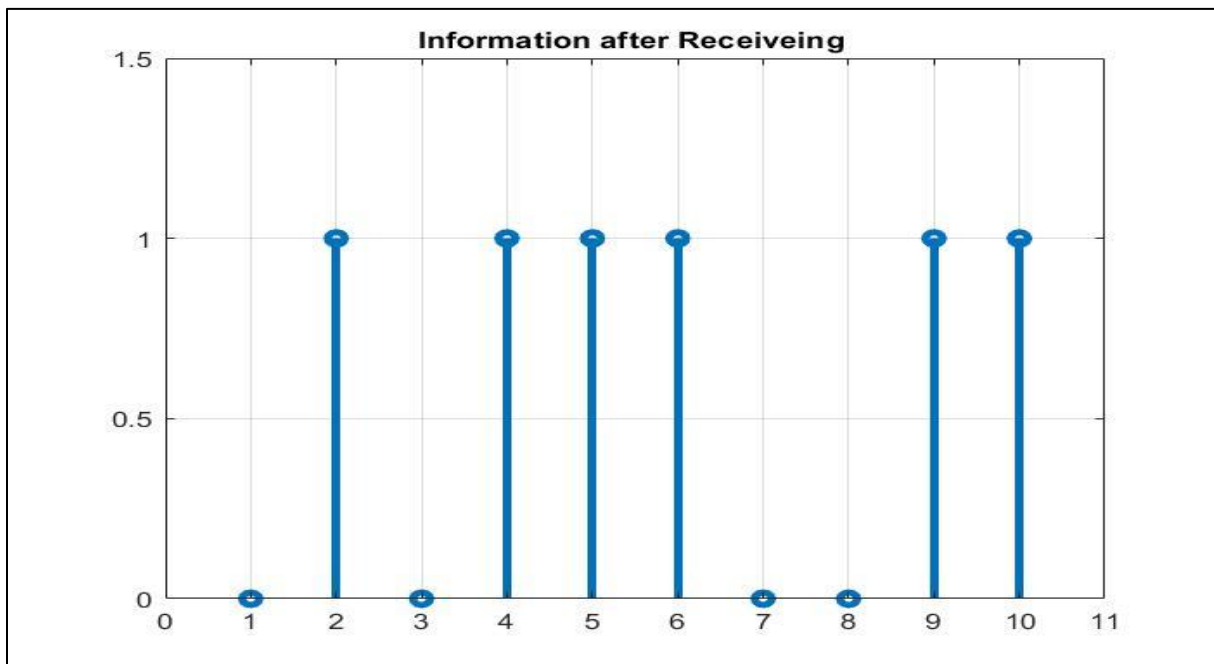


Figure III.3 : l'information après la démodulation.

III.3. Résultats et affichages de La partie de la simulation

Lorsqu'on exécute la simulation, elle affiche le taux d'erreur binaire et de nombreux résultats graphiques.

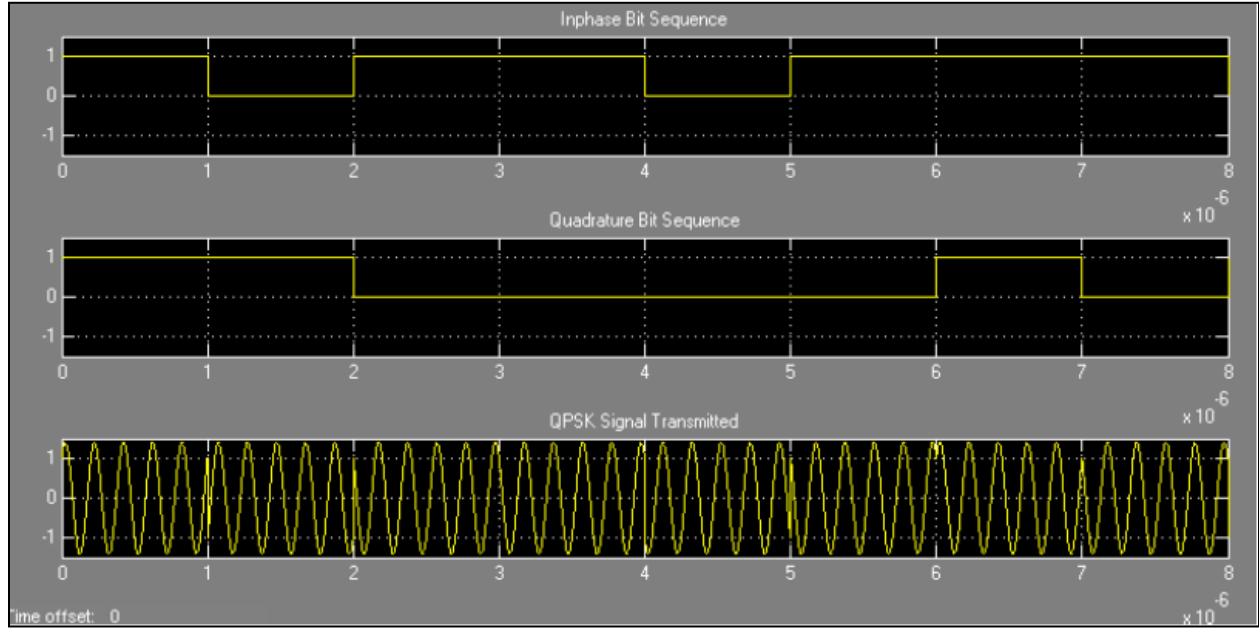


Figure III.4: Le résultat du modulateur QPSK.

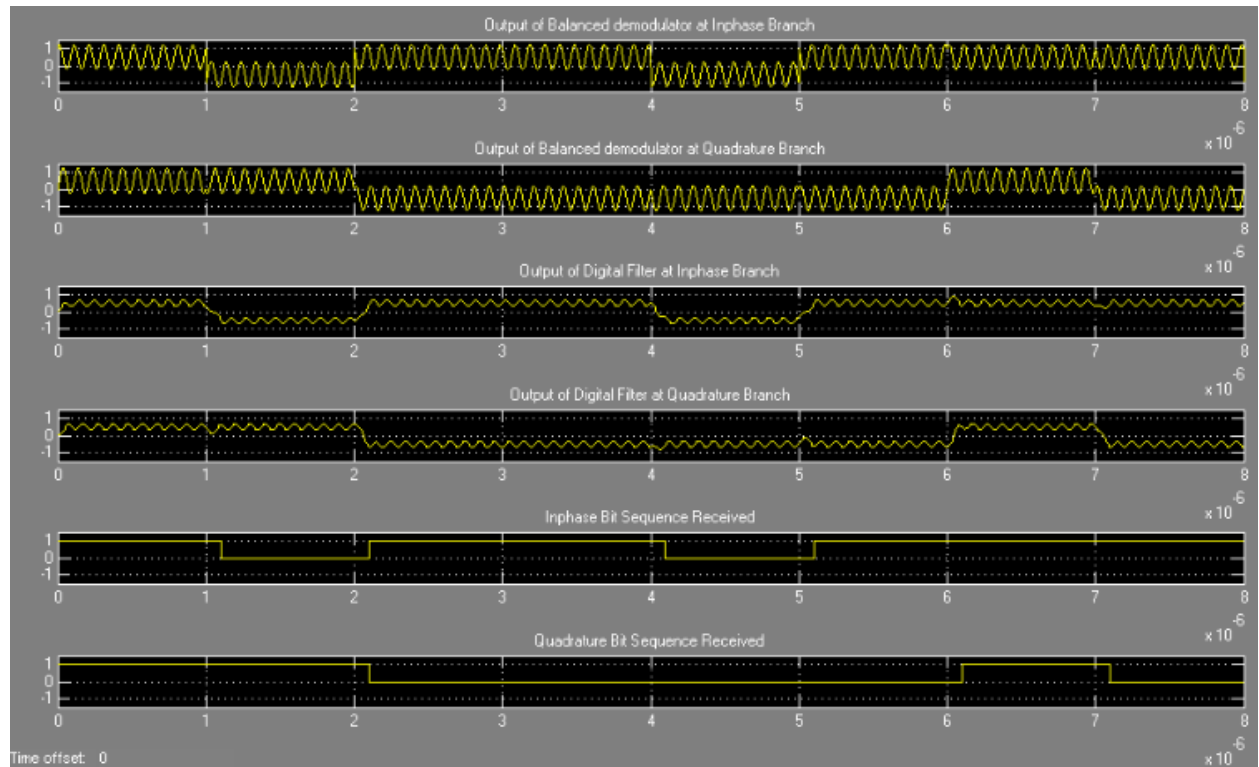


Figure III.5: Le résultat du démodulateur QPSK.

Ces portées suivantes illustrent le spectre du signal reçu avant et après filtrage, ainsi que la constellation du signal après filtrage, après récupération de synchronisation et après compensation fine de fréquence.

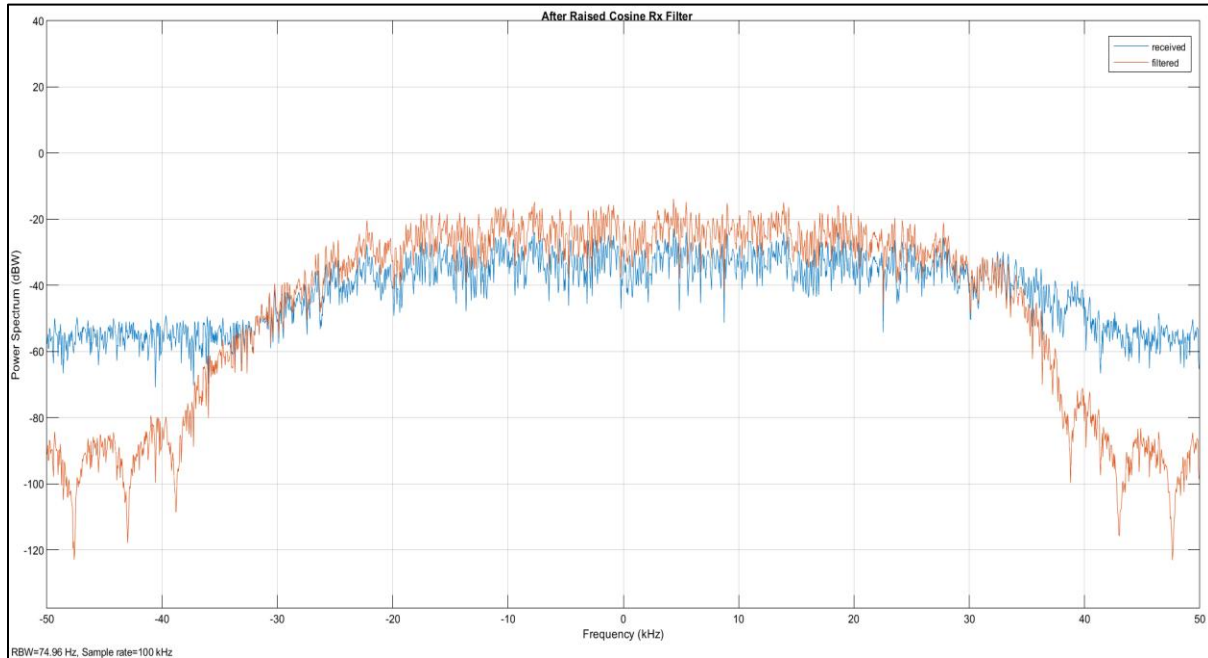


Figure III.6: Le signal reçu.

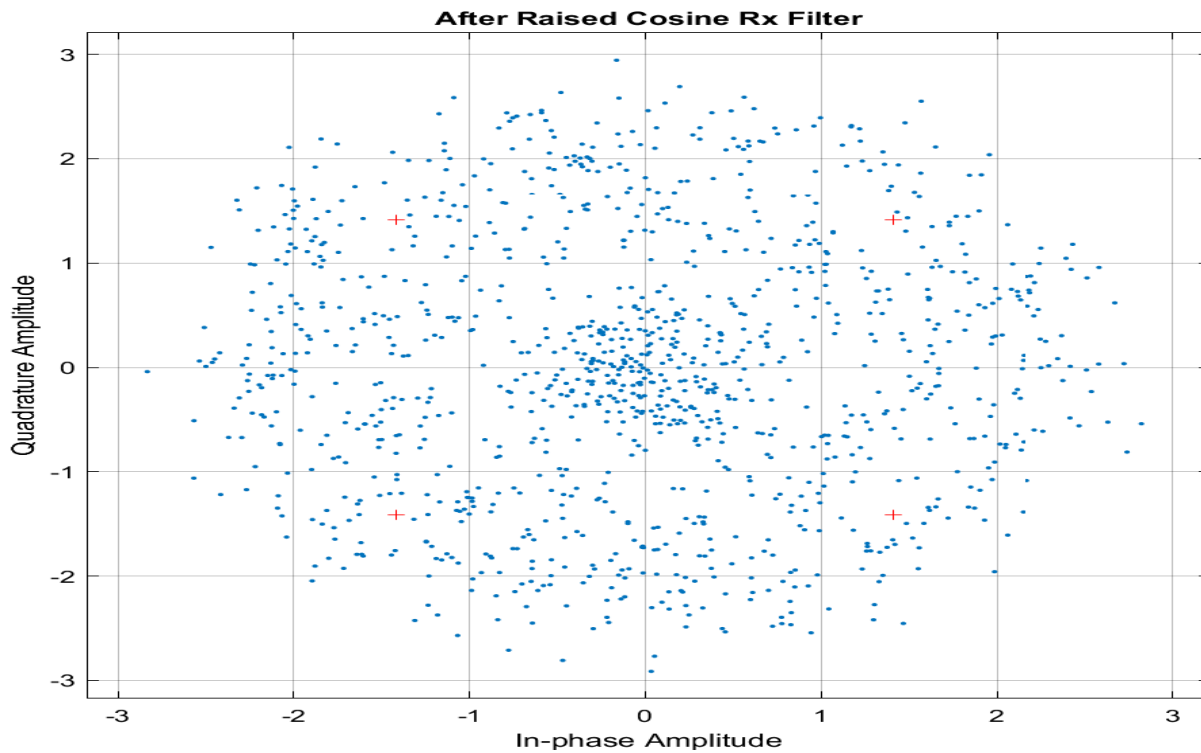


Figure III.7: Après filtre R_x en cosinus élevé.

Dans ce qui suit sont les diagrammes de constellation à la sortie des blocs Synchroniseur de symboles et Synchroniseur de porteuse respectivement.

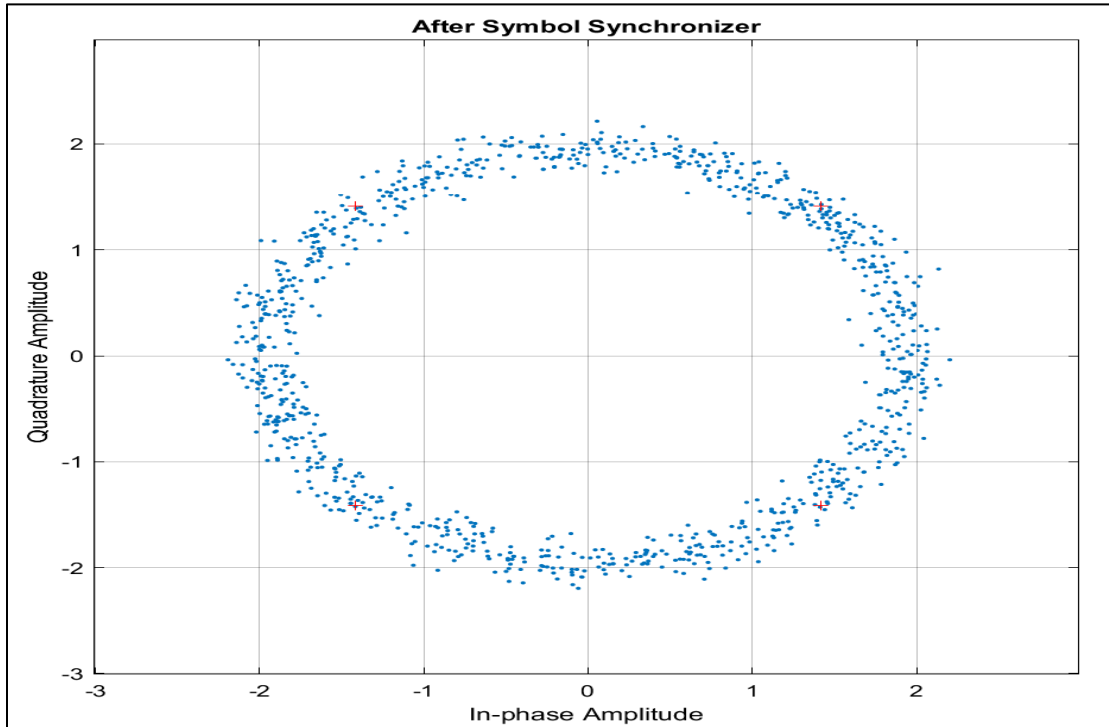


Figure III.8 : Après le synchroniseur de symboles.

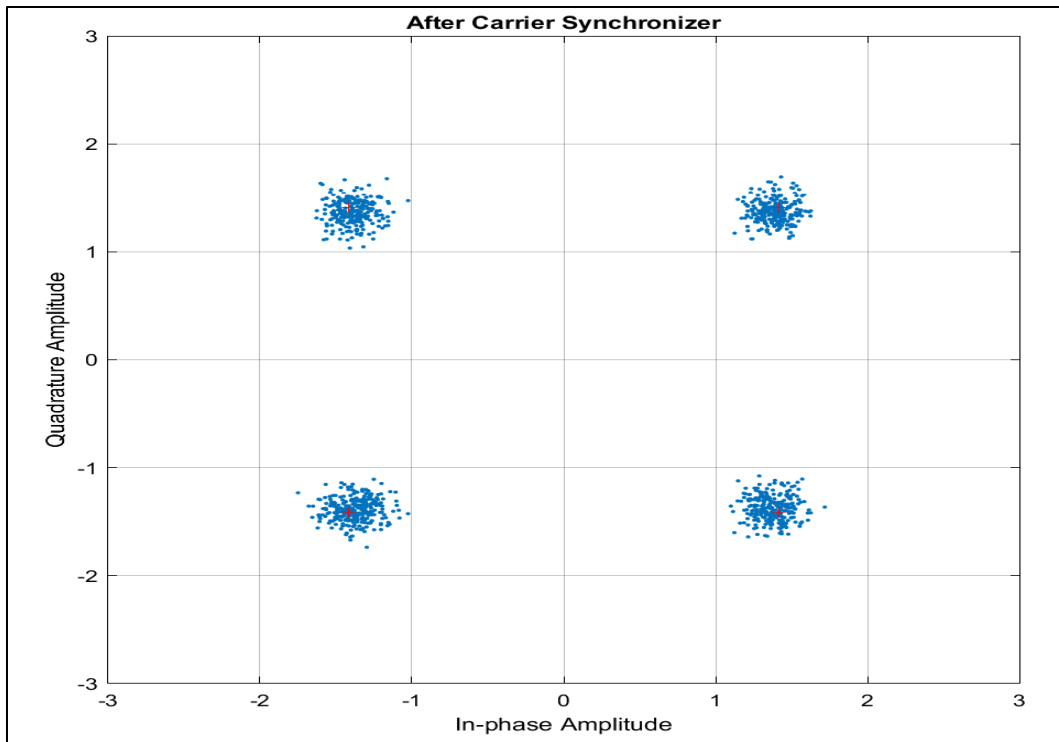


Figure III.9: Après le synchroniseur de porteuse.

III.4. DISCUSSION DES RÉSULTATS DE SIMULATION [1] [2] [3] [4]

Le modèle de modulateur et démodulateur QPSK a été simulé à l'aide de la boîte à outils Matlab Simulink comme nous l'avons mentionné précédemment. Nous avons consacré cette section à la discussion des résultats de la simulation. Premièrement, le modulateur QPSK a généré des signaux de forme d'onde à la portée «Outputs QPSK Transmitter»; Séquences de bits en phase et en quadrature qui sont les données. Le signal QPSK selon l'état des bits I et Q a été montré sur la figure III.4 . On peut noter que les phases générées lorsque 11, 01, 10 et 00 ont été envoyés sont $\pi / 4$, $3\pi / 4$, $7\pi / 4$ et $5\pi / 4$, respectivement. Ces résultats correspondent aux études théoriques de QPSK.

De l'autre côté, le démodulateur QPSK a reçu le signal QPSK et l'a traité pour extraire les données en phase et en quadrature qui étaient envoyées auparavant. Sur la figure III.4, les signaux de forme d'onde que nous obtenons sur la portée «Outputs QPSK Receiver» montraient la sortie du démodulateur symétrique, la sortie du filtre numérique et la séquence de bits reçue dans chaque branche en phase et en quadrature. Nous pouvons noter que la séquence de bits dans chaque branche est identique à la séquence de bits que nous avons envoyée.

Après cela, le modulateur et le démodulateur ont été connectés sous un canal, les signaux de forme d'onde résultant du modulateur de la figure III.5 sont restés le même résultat sur la figure III.4, ainsi que les séquences de bits reçues aux branches en phase et en quadrature dans le démodulateur correspondaient aux séquences de bits au niveau des branches en phase et en quadrature du modulateur.

Pour obtenir le diagramme de constellation du système QPSK, la portée du «nuage de points en temps discret» a été connectée au modulateur QPSK. Nous avons remarqué que le diagramme de constellation du système QPSK comme le montre la figure III.8 contient quatre points formant un cycle, ainsi que ces points satisfont le code Gray.

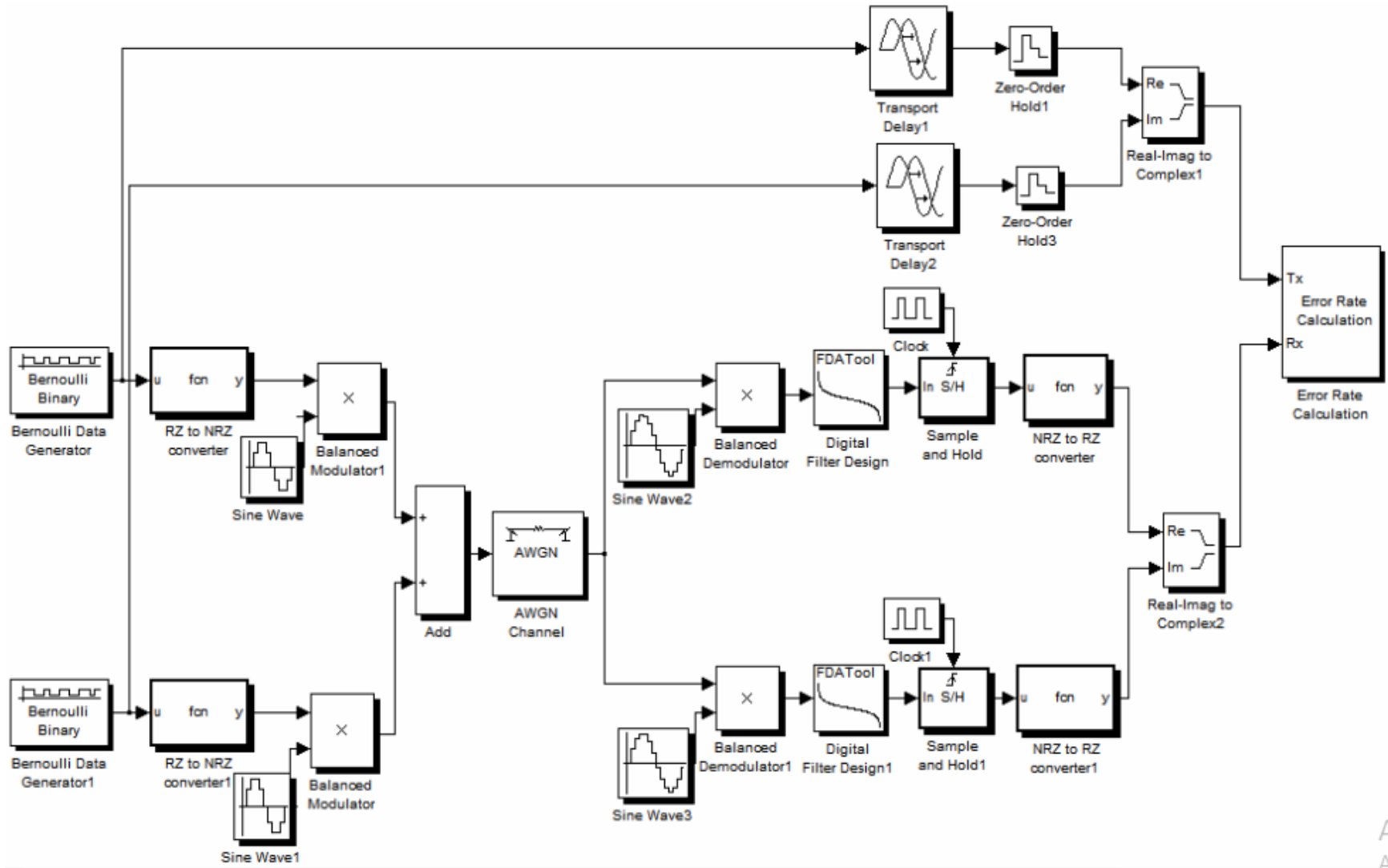


Figure III.10 : Le modèle du système QPSK avec calcul du taux d'erreur.

Pour vérifier l'effet de l'interférence inter symbole pour le système, on peut générer le motif de l'œil de notre modèle à l'aide de la portée «Discrete - time eye diagram» qui était connectée au démodulateur QPSK comme indiqué dans la figure III.10.

Le paramètre le plus important dans les systèmes de communication numérique est le BER, pour générer la courbe BER.

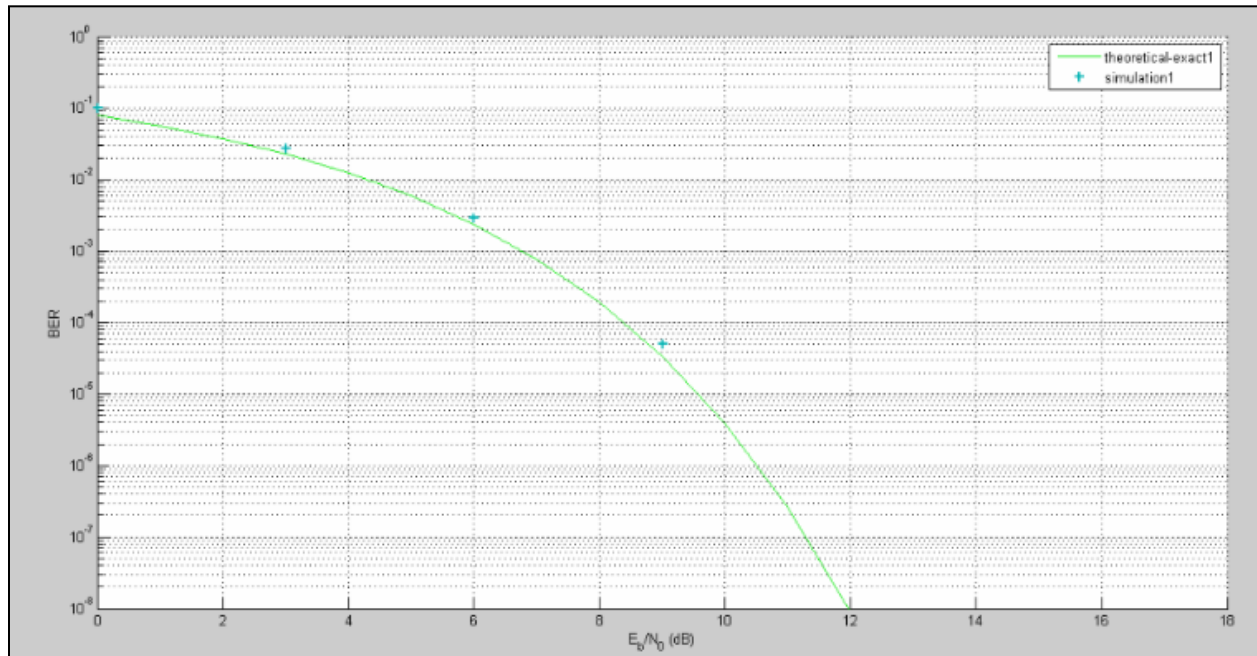


Figure III.11: Le résultat de BERTool.

On peut noter sur la figure III.11 que la simulation pointe selon le système proche de la courbe théorique (Figure I.12 dans le chapitre I).

III.7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats de simulation d'un modèle QPSK et l'influence de différents paramètres sur les performances de ce système nous constatons finalement que la grande valeur BER indique une faible qualité de la communication en plus des erreurs sont détectées. Alors que la grande valeur SNR indique la meilleure communication que le signal devient plus fort par rapport au bruit. Le résultat de la simulation démontrée de BER contre SNR est très proche en termes de comparaison au résultat théorique. [4]

La modulation de phase QPSK offre un très bon compromis quant à la bande passante, le débit, et l'immunité au bruit. Elle est donc réservée à des applications longue distance, diffusion. Les critères de choix d'une modulation sont les plus importants avant les opérations de la transmission numérique, d'abord la constellation qui suivant les applications mettra en évidence une faible énergie nécessaire à la transmission des symboles ou une faible probabilité d'erreur, puis l'occupation spectrale du signal modulé, et enfin la simplicité de réalisation (avec éventuellement une symétrie entre les points de la constellation).

III.8. Références Bibliographique

- [1] G. James, “Digital Phase Modulation: A Review of Basic Concepts,” Chief Scientist Transcript International, Inc., 2003.
- [2] M. Ian, “The role of Matlab and Simulink in teaching communications,” Faculty of Electrical Engineering and Computers University of Porto, Portugal, 2009.
- [3] V. Václav, “Error Performance of BPSK and QPSK in a Satellite Communications,” Department of Electrical and Electronic Technology, FEEC, BUT, Czech Republic, 2005.
- [4] Z. Sharef and A. Alaradi, “Performance Evaluation for WiMAX 802.16e OFDMA Physical Layer,” Fourth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, 2012. <http://dx.doi.org/10.1109/CICSyN.2012.71>

Conclusion générale



Conclusion générale

Les systèmes modernes de communication numérique sont complexes et requièrent des circuits de modulation et de démodulation de plus en plus sophistiqués. Il s'avère que le choix d'un type de modulation est toujours déterminé par les contraintes de l'application. Le développement des transmissions numériques s'est appuyé sur les progrès rapides réalisés dans le domaine des circuits intégrés de traitement des signaux. Ainsi, l'utilisation de solutions intégrées devient indispensable au fur et à mesure que le niveau de complexité des systèmes s'accroît et que le prix consenti par le consommateur diminue.

De plus, les signaux subissent différents traitements (modulation, amplification, démodulation) qui vont entraîner des déformations. Il est d'usage de caractériser le bruit par sa puissance. De ce fait, l'influence du bruit sur un signal est donnée par le rapport signal sur bruit qui est le rapport de la puissance du signal non bruité sur la puissance de bruit (SNR : Signal to Noise Ratio). Cette quantité est fréquemment exprimée en décibels. Plus le SNR dB est élevé, meilleure sera la qualité du signal reçu.

D'une part la modulation QPSK a été proposée comme celle qui offre un débit très important dans un canal de transmission à longue distance par rapport aux autres modulations, tout en gardant la fiabilité.

D'autre part, devant l'évolution de la nouvelle technologie de la modulation, non seulement celle de la famille de la modulation QPSK tient une place plus importante dans les communications sans fils mais elle reste aussi la plus utilisée dans les communications filaires, telles la modulation OQPSK et la modulation $\pi/4$ -QPSK. Cette dernière est utilisée par une demi-douzaine de normes internationales de communication mobile, tout en sachant que la norme CDMA mettant en œuvre la QPSK est devenue la norme du système de téléphonie cellulaire de troisième génération. Mais, en général on trouve largement l'application du QPSK dans la communication par satellite.

Par contre, d'après notre étude et d'après le résultat de notre simulation, leurs principaux défauts sont la présence de saut de phase lors du passage de symbole 00 vers 11 et l'impossibilité de récupérer la phase absolue de la porteuse en réception par PLL, d'où la nécessité des modulations différentielles $\pi/4$ -DQPSK ou GMSK.