

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'électronique



Mémoire de Master

Filière Electronique.
Spécialité Réseaux et Télécommunication.

présenté par
Baiker Maram

Conception et réalisation d'une application pour simulation de différents types de modulation.

Proposé par : Amirouche Nesrine.

Remerciements

Je commence par rendre grâce à ALLAH qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail, m'a inspiré les bons pas et les justes reflexes et m'a donné la capacité d'écrire et réfléchir, la force, la patience d'aller jusqu'au bout. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti. Merci Allah

Il me serait impossible de citer nommément toutes les personnes qui m'aidé, encouragé et soutenu afin que ce travail puisse voir le jour. Que toutes ces personnes trouvent ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté (science et technologie département électronique) des Sciences Economiques, Juridiques et sociales, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

La première personne que je tiens à remercier est ma promotrice & l'encadrante Mm Amirouche Nesrine, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Mes remerciements vont à mes chers parents, aussi pour mon oncle Boussoufa Fares et ma grande mère Teta pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Aussi je tiens également à remercier vivement Mr Ali Ben Ali et son fils Mr Mohamed Ali. Leurs conseils m'ont aidé à surmonter beaucoup de difficultés. Je les remercie chaleureusement pour leurs pédagogies, leurs patiences, leurs disponibilités et leurs dévouements.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous et à toutes.

Dédicaces

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères, Baiker Badie et Baiker Chakib

A ma chère grande mère Teta,

A qui je souhaite une bonne santé.

A mon cher oncle Boussoufa Fares et sa famille,

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A Mr Ali Ben Ali et son fils Mr Mohamed Ali,

Pour leurs aides et leurs soutiens dans les moments difficiles.

A mon médecin Mm Kebbal.

A toute ma famille.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Salutations à moi-même et à mon âme que je me suis battue pour atteindre ce qu'elle est maintenant.

Baiker Maram

ملخص: في هذا المشروع، تحدثت عن أساسيات التشكيل التمثيلي والرقمي حيث قمت بذكر مبادئ كل نوع من التعديل بمزاياه وعيوبه، ومن تلك الأساسيات اخترت تطوير تطبيق للتشكيل الرقمي خصيصا لطلاب الاتصالات و المبتدئين في هذا المجال من الدراسة لتسهيل فهمها عليهم وتبسيط مفاهيمها، لانهم وجدوا صعوبة كبيرة في فهمها عن طريق matlab قمت باستخدام عدة لغات البرمجة مثل C ++ تحت برنامج Wxwidget، JAVA تحت برنامج Netbeans و استوحيت افكار تطبيقات معقدة في matlab لتطوير واجهة رسومية مبسطة اكثر من matlab حيث انني تعاملت مع العديد من الصعوبات في البرمجة و قمت بوضع تجاربي الخاصة في البرمجة وهذا من اجل ان اراد شخص اخر تطوير هذه الواجهة ستكون لديه فكرة عن مشاكل البرمجة التي سيواجهها و يتجنب ضياع الوقت

كلمات المفاتيح: برمجة, c++, ,modulation, java,

Résumé : Dans ce projet j'ai exposé les bases de la modulation analogique et numérique, où j'ai mentionné les principes de chaque type de modulation, ainsi que ses avantages et inconvénients. J'ai choisi de développer une application pour la modulation numérique spécifiquement pour les étudiants en télécommunication et les débutants dans ce domaine d'études, afin de les aider à comprendre et à simplifier leurs concepts, j'ai utilisé plusieurs langages de programmation, tels que C ++ sous Wxwidget, JAVA sous Netbeans et je me suis inspiré des idées d'interface graphique sous matlab très compliqué pour développer une application plus simple que matlab, j'ai traité les difficultés de programmation et développé mes propres expériences en programmation

Mots clés : java, interface graphique, modulation, c++

Abstract: In this project i expose about the basics of analog and digital modulation, where I mentioned the principles of each type of modulation, as well as its advantages and disadvantages. I chose to develop an application for digital modulation specifically for telecommunication students and beginners in this field of study, to help them understand and simplify their concepts, I used several programming languages, such as C ++ under Wxwidget, JAVA under Netbeans and I was inspired by applications ideas in matlab very complicated to develop a graphical interface simpler than matlab, I treated the programming difficulties and developed my own experiences in programming

Keywords: java, interface graphique, modulation, c++

Listes des acronymes et abréviations

AM: Modulation d'amplitude

FM: Modulation de fréquence

PM: Modulation de phase

RMS: root mean square

GSM: Global System for Mobile Communications

Wifi: Wireless Fidelity

LTE: Long Term Evolution

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

PWM: Pulse Width Modulation

ASK: Amplitude Shift Keying

FSK: Frequency Shift Keying

QAM: QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION

OOK: On-Off Keying

AT&T: American Telephone & Telegraph

QT: QuickTime

CDDL: Common Développement and Distribution License

XML: Extensible Markup Language

HTML: Hypertext Markup Language

VHF : Very High Frequency

TNT : Télévision Network

3G : Third Generation

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Modulation analogique	3
1.1 Introduction	3
1.2 Signaux analogique	3
1.2.1 Caractérisation d'un signal analogique	3
1.2.2 Synoptique d'une chaine de transmission analogique	5
1.3 La modulation analogique	6
1.3.1 Généralité	6
1.3.2 Modulation d'amplitude AM	7
1.3.3 Modulation d'angle FM et PM	10
1.4 Conclusion	15
Chapitre 2 : Modulation numérique	16
2.1 Introduction	16
2.2 Caractérisation d'un signal numérique	16
2.3 Principe d'une chaine de transmission numérique	17
2.4 La modulation numérique	19
2.4.1 Modulation par déplacement d'amplitude (ASK)	20
2.4.2 Modulation par déplacement de Fréquence (FSK)	23
2.4.3 Modulation par déplacement de Phase (PSK)	26
2.5 Conclusion	29
Chapitre 3 : Développement de l'application	30
3.1 L'état de l'art	30
3.1.1 Scilab	31
3.1.2 GNU Octave	32
3.1.3 Matlab	32
3.2 Pourquoi le C++ et le JAVA	33
3.2.1 Le C++	33
3.2.2 Le JAVA	35
3.2.3 Les difficultés en C++ et en JAVA	36
3.3 Pourquoi Matlab	39
3.4 De la théorie de l'application	40

3.5 Conclusion	41
Chapitre 4 : Test de la modulation	42
4.1 Introduction	42
4.2 Test de la modulation ASK et de la modulation OOK	42
4.2.1 Théoriquement	42
4.2.2 Pratiquement	44
4.3 Test de la modulation BPSK	46
4.3.1 Théoriquement	46
4.3.2 Pratiquement	46
4.4 Conclusion	47
Conclusion générale	48

Liste des figures

Figure 1.1. Signal analogique périodique et non périodique	3
Figure 1.2. Signal analogique périodique	4
Figure 1.3. Synoptique d'une chaine de transmission	5
Figure 1.4. Un schéma fonctionnel du système de communication analogique	5
Figure 1.5. Les trois types de base de modulation analogique	6
Figure 1.6. Modulation d'amplitude	7
Figure 1.7. Signal modulé en amplitude	8
Figure 1.8. Modulation d'amplitude à une seule fréquence	9
Figure 1.9. Modulation de fréquence	11
Figure 1.10. Modulateur FM	12
Figure 1.11. Modulation de phase	14
Figure 2.1. Signal binaire en modulation numérique	16
Figure 2.2. Le train d'impulsion	17
Figure 2.3. Principe d'une chaine de transmission numérique	18
Figure 2.4. Le bit de parité	19
Figure 2.5. Les différents types de modulation numérique	20
Figure 2.6. Le signal modulé en ASK	20
Figure 2.7. Technique modulation OOK	21
Figure 2.8. Modulateur ASK	21
Figure 2.9. Diagramme de constellation ASK	22
Figure 2.10. Le signal modulé en FSK	23
Figure 2.11. Technique modulation FSK	24
Figure 2.12. Modulateur FSK	24
Figure 2.13. Diagramme de constellation FSK	25
Figure 2.14. Le signal modulé en PSK	26
Figure 2.15. Technique modulation PSK	27
Figure 2.16. Modulateur type BPSK	27
Figure 2.17. La représentation schématique de l'onde de sortie modulée en BPSK	28
Figure 2.18. Diagramme de constellation BPSK	28
Figure 3.1. Le développement du programme en C++	37
	38
	38

Figure 3.2. Résultat d'exécution du programme en C++	
Figure 3.3. Le développement du programme en JAVA	
Figure 3.4. Résultat d'exécution du programme en JAVA	39
Figure 3.5. Application Modulation numérique	40
Figure 4.1. La modulation du signal ASK et OOK	43
Figure 4.2. Résultat de la modulation type OOK	44
Figure 4.3. Résultat de la modulation type ASK	45
Figure 4.4. La modulation du signal BPSK	46
Figure 4.5. Résultat de la modulation type BPSK	47

Introduction générale

Aujourd'hui, l'informatique et les télécommunications sont intimement liées et même indissociables. C'est évident pour l'internaute qui connecte le modem de son ordinateur sur sa ligne téléphonique pour accéder, via le réseau mondial de données, aux informations disponibles sur les serveurs de la planète. Même l'utilisateur du téléphone fixe ou mobile imagine bien que, pour lui fournir les services à valeur ajoutée qui lui sont proposés (par exemple, établir une communication à l'aide d'une carte prépayée, accéder en temps réel au crédit restant sur son forfait, etc.), les opérateurs de télécommunications doivent mettre en œuvre des techniques informatiques sophistiquées. Ces exemples montrent aussi que l'informatique et les télécommunications s'enrichissent mutuellement et que ces deux domaines ne pourraient vivre aujourd'hui l'un sans l'autre, même si leur liaison a connu des moments tumultueux.

Les logiciels de télécommunication sont des applications logicielles destinées à améliorer et informatiser les communications. Ils permettent d'échanger des données à travers le monde entier (voix, vidéo, documents), via des ordinateurs reliés sur le même réseau. Ces applications peuvent être conçues pour des ordinateurs fixes ou des appareils embarqués.

Avec cet évolution d'applications de télécommunications, on a le cas de trouvé beaucoup de difficultés à expliquer et à comprendre la modulation analogique ou numérique pour les débutants dans ce domaine d'études.

Donc dans ce projet j'envisage de développer une application qui permet de simuler une modulation numérique de manière simple à fin de faciliter la compréhension du processus de modulation.

Pour la bonne compréhension du travail que nous avons développé au cours de ce projet nous avons organisé ce mémoire en quatre chapitres.

- Le premier chapitre et le deuxième chapitre présentent la théorie de la modulation analogique et la modulation numérique avec une explication générale de ses types de chaque modulation et avec ses avantages et inconvénients.
- Le chapitre trois, j'ai développé une interface graphique avec différents langages de programmations comme le langage C++ et JAVA sous Wxwidget et Netbeans avec pleins de difficultés et

problèmes de développement des commandes spécial pour le traitement du signal.

Aussi, dans ce chapitre j'ai trouvé une solution de manques de ces commandes en Matlab

- le dernier chapitre, j'ai testé cette interface graphique comparée avec la théorie de la modulation numérique

Chapitre 1 Modulation Analogiques

1.1 Introduction

La communication analogique implique le transfert d'une forme d'onde analogique contenant l'information entre deux utilisateurs.

Des exemples typiques où les informations analogiques sont transmises de cette manière sont :

- Diffusion radio
- Talkie-walkie, radio cellulaire
- Diffusion télévisée

Ces signaux ont tous des caractéristiques uniques que les opérateurs doivent

Comprendre pour être en mesure de construire des systèmes de communication qui peuvent mettre en œuvre cette communication avec haute-fidélité et à faible coût.

1.2 Signaux analogiques

1.2.1 Caractérisation d'un signal analogique

Un signal analogique évolue de façon continue en fonction du temps. Il peut-être périodique ou non périodique:

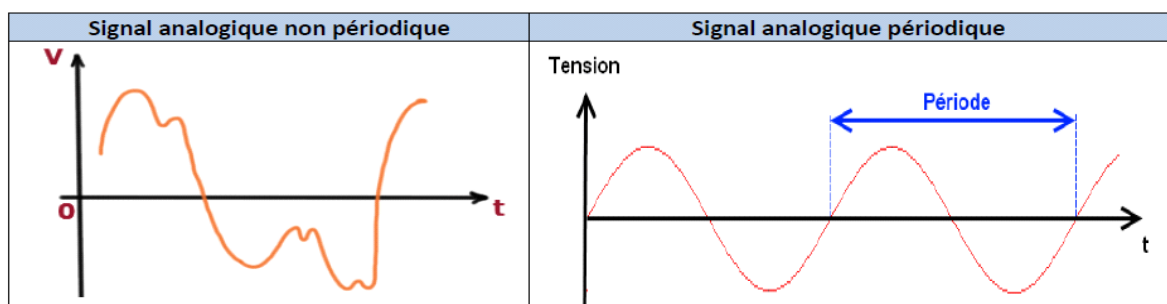


Figure 1.1. Signal analogique périodique et non périodique

a. Caractérisation d'un signal analogique périodique

· La période (t) :

La période représente la durée d'une variation, en secondes (s).

· La fréquence (f) :

La fréquence correspond au nombre d'oscillations d'un phénomène périodique par unité de temps ($f = 1/t$), en hertz (Hz).

Exemple ®Signal sinusoïdal

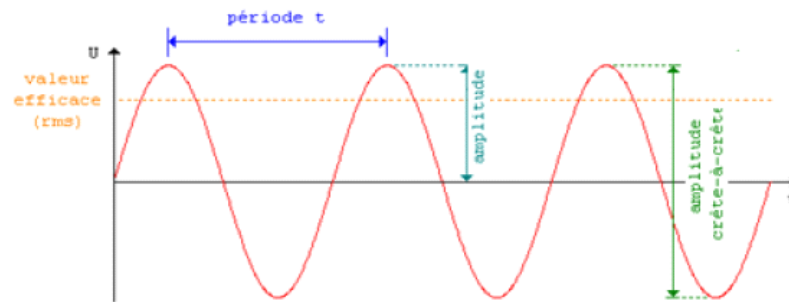


Figure 1.2. Signal analogique périodique.

- L'amplitude est l'écart maximal par rapport à la valeur moyenne du signal
- La valeur efficace (ou rms: root mean square) correspond à la valeur de la tension continue qui produirait le même effet

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1.1)$$

· **Le déphasage :**

Le déphasage ϕ correspond au décalage temporel entre deux signaux de même période.

Pour faciliter son analyse, on convertit cette durée de décalage en angle en considérant que la période correspond à 1 tour [1] :

- en radians : $\phi = \Delta t \times 2\pi T$; (1.2)

- en degrés : $\phi = \Delta t \times 360T$; (1.3)

b. Caractéristique d'un signal sinusoïdal :

La modulation consiste à transformer un signal sinusoïdal connu appelé porteuse par le signal à transmettre, ce signal est entièrement défini par trois caractéristiques qui sont :

- son amplitude A
- sa fréquence f
- sa phase θ

Le signal sinusoïdal s'écrit de la manière suivante [2] :

- en temporel : $v(t) = A \sin(2\pi ft + \theta)$ (1.4)

- en fréquentiel : $V(f) = A/2^{j\theta}$, $V(kf) = 0, \forall k \in N, k \geq 2$ (1.5)

1.2.2 Synoptique d'une chaîne de transmission analogique

Une chaîne de transmission analogique représente l'ensemble des éléments nécessaires à la transmission d'une information de nature analogique. Elle est composée d'un émetteur, d'un canal de propagation et d'un récepteur.

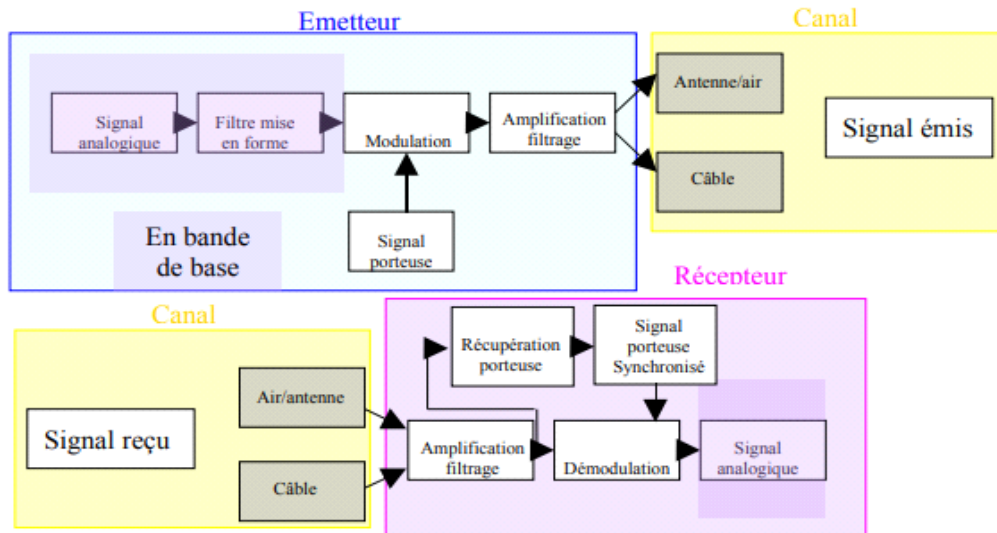


Figure 1.3. Synoptique d'une chaîne de transmission

Le système de communication conventionnel a un modulateur produisant un signal qui est transmis sur un canal (une propagation par câble ou radio) et un démodulateur qui prend ce signal et construit une estimation de la transmission du signal message transmis. La figure 1.4 est un schéma fonctionnel de ce système

Où $r_c(t)$ est : la sortie du canal

$Y_c(t)$ Est : la forme d'onde observée avec le récepteur

$\hat{m}(t)$ Est : l'estimation du signal de message transmis.

Le bruit ajouté par un récepteur radio est généralement une combinaison de distorsion du signal et addition de bruit interférant. C'est ce bruit qui rend la restitution du signal difficile en télécommunication [3].

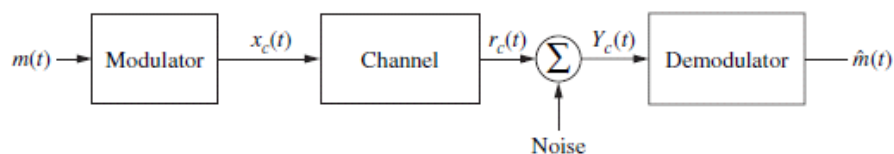


Figure 1.4. Un schéma fonctionnel du système de communication analogique.

1.3 La Modulation Analogique

1.3.1 Généralité

En ce qui concerne la modulation analogique, nous donnerons d'abord une définition détaillée de la modulation analogique, puis les types de modulation analogique.

La modulation analogique fait référence au processus de transfert d'un signal analogique en bande de base basse fréquence, tel qu'un signal audio ou de télévision sur un signal de porteuse de fréquence supérieure, telle qu'une bande de fréquence radio. Le signal en bande de base est toujours analogique pour cette modulation [4].

Il existe trois propriétés d'un signal de porteuse amplifié, fréquence et phase, de sorte qu'il existe trois types de base de modulations analogiques.

Modulation d'amplitude (AM)

Modulation de fréquence (FM)

Modulation de phase (PM)

Chacune de ces modulations a des propriétés particulières en ce qui concerne [5] :

- La complexité du modulateur-démodulateur et donc le coût.
- L'encombrement spectral de la porteuse modulée.
- La consommation de l'émetteur, donnée importante pour un équipement mobile.
- La résistance du signal modulé aux parasites.

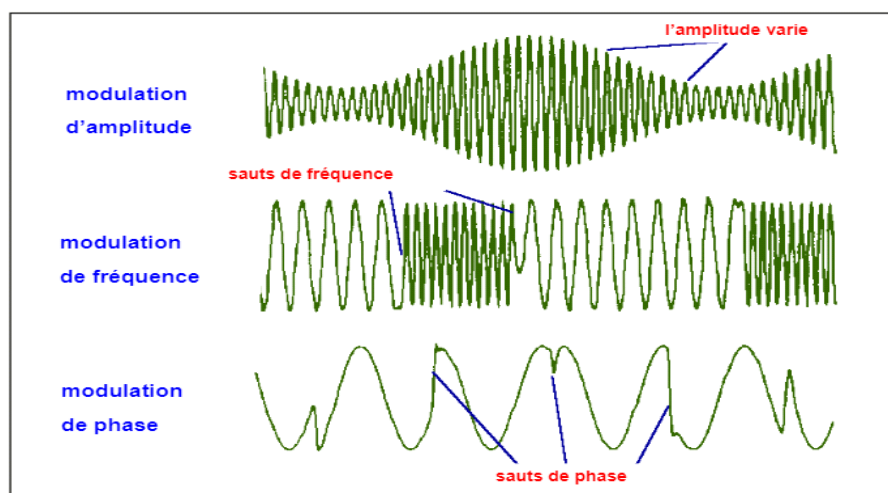


Figure 1.5. Les trois types de base de modulation analogique.

1.3.2 Modulation d'amplitude AM

a. Définition

La modulation d'amplitude est le processus de modification de l'amplitude du signal de porteuse analogique proportionnellement à l'amplitude du signal d'information analogique. En AM, l'amplitude (v) du signal de porteuse varie proportionnellement au signal d'information, tandis que la fréquence (f) et la phase (φ) du signal de porteuse restent inchangées.

L'amplitude de la porteuse est simplement modifiée en fonction de l'amplitude du signal d'information. Lorsque l'amplitude du signal d'information est augmentée, l'amplitude du signal de la porteuse est également augmentée et inversement [6].

En modulation d'amplitude (AM), le signal d'information fait varier l'amplitude de l'onde sinusoïdale de la porteuse.

La valeur instantanée de l'amplitude de la porteuse change en fonction des variations d'amplitude et de fréquence du signal modulant.

Une ligne imaginaire appelée enveloppe relie les pics positifs et négatifs de la forme d'onde de la porteuse.

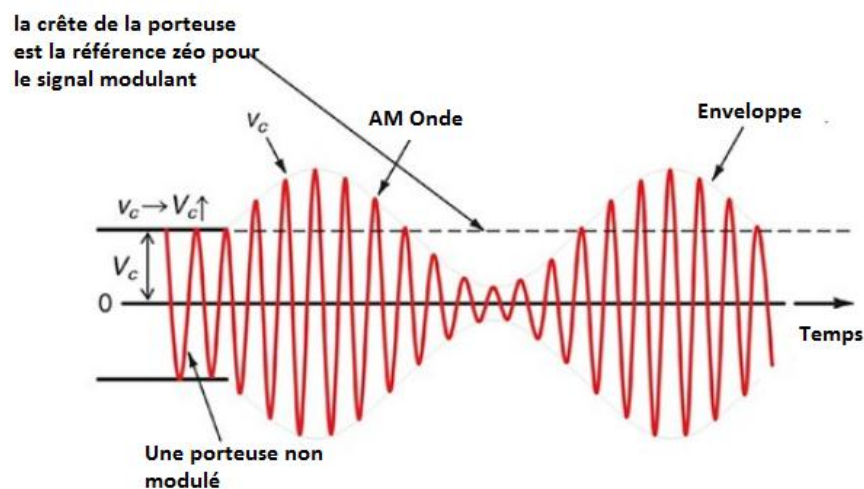


Figure 1. 6. Modulation d'amplitude.

En mode AM, il est particulièrement important que la valeur de crête du signal modulant soit inférieure à la valeur de crête de la porteuse $V_m < V_C$

Avec V_C : Valeur de crête de la porteuse.

V_m : Valeur de crête du signal modulant.

La distorsion se produit lorsque l'amplitude du signal modulant est supérieure à l'amplitude de la porteuse [7].

b. Principe de la modulation AM avec porteuse

La Modulation d'amplitude consiste à modifier l'amplitude de la porteuse par une fonction linéaire du signal à transmettre [6].

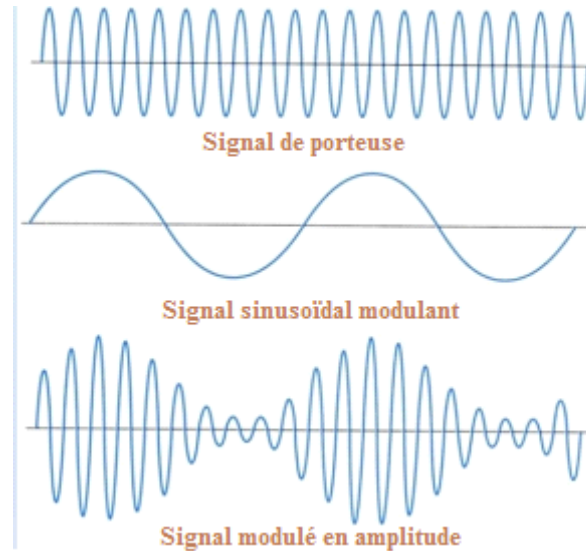


Figure 1.7. Signal Modulé en amplitude.

Pour produire un signal modulé en amplitude, il faut :

- Signal de porteuse : $V_c(t) = V_c \sin 2\pi f_c t$ (1.6)

- Signal sinusoïdale modulant : $V_m(t) = V_m \sin 2\pi f_m t$ (1.7)

Signal modulé en amplitude est donc : $V_{AM}(t) = (V_c \sin 2\pi f_c t)(1 + m \sin 2\pi f_m t)$ (1.8)

c. Schéma générale d'un modulateur AM

La figure [1.8] montre la génération am à l'aide d'un modulateur AM non linéaire.

Le signal d'information / de modulation modulera l'amplitude du signal porteuse pour produire un signal modulé en haute fréquence à l'aide d'un circuit modulateur AM

La forme du signal modulé AM est appelée enveloppe AM

Cette "enveloppe" contient le signal d'information [6].

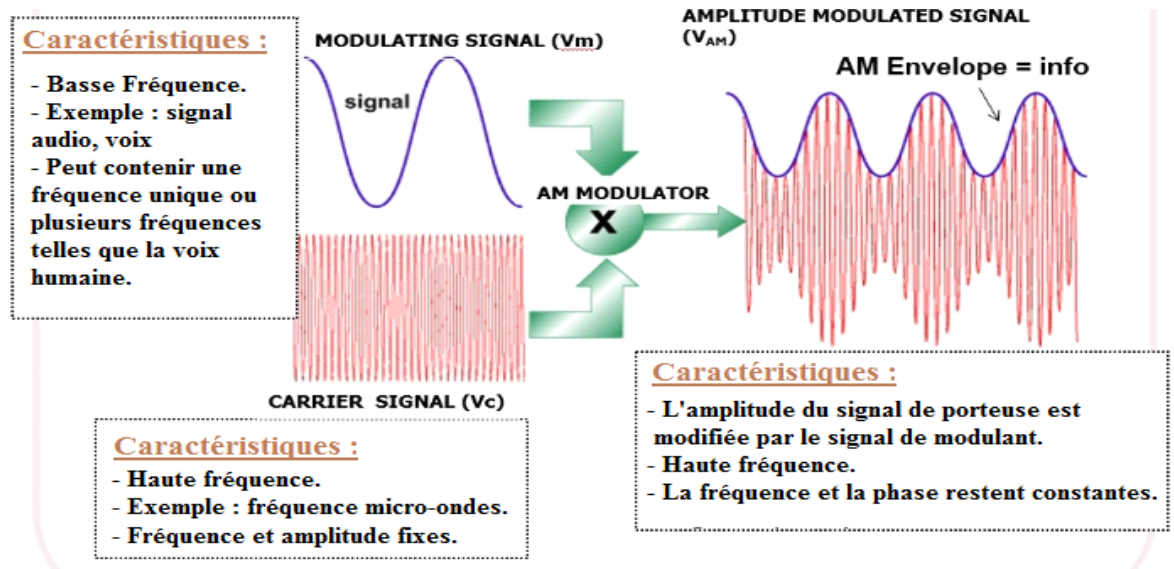


Figure 1. 8. modulation d'amplitude à une seule fréquence

d. Avantages et inconvénients de la modulation d'amplitude

Nous avons ici les différents avantages et inconvénients de la modulation d'amplitude.

Avantage :

- Il peut être démodulé à l'aide d'un circuit comportant moins de composants.
- Il est facile à mettre en œuvre.
- Les récepteurs AM ne coûtent pas cher et ne requièrent aucun composant spécialisé.

Inconvénients :

- Il n'est pas efficace en termes d'utilisation de la bande passante, nécessitant une largeur de bande égale à deux fois la fréquence audio la plus élevée.
- Pas efficace en termes d'utilisation d'énergie.
- Soumis à des niveaux de bruit élevés car la plupart du bruit est basé sur l'amplitude et que les détecteurs AM y sont sensibles.

e. Applications de la modulation d'amplitude

Avec l'amélioration de la technologie, l'utilisation des ondes de modulation d'amplitude est devenue un peu moins répandue, même si elle peut toujours jouer un rôle important dans;

- Transmission à diffusion: La radiodiffusion AM est encore largement utilisée pour la diffusion de bandes d'ondes longues, moyennes ou courtes. Le signal reçu est simple à décomposer en un signal en bande de base et le coût d'équipement pour l'utilisateur est donc très faible et il est facile à fabriquer.
- Air band Radio: L'utilisation de la modulation de fréquence dans l'industrie aérospatiale est

très répandue. Les transmissions VHF (Très Haute Fréquence) effectuées par l'équipement embarqué utilisent toujours la modulation AM. Le contact radio entre le sol et le sol utilise également des signaux AM.

- Modulation d'amplitude en quadrature: La modulation AM est utilisée dans la transmission de données de presque tout, des transmissions à courte portée, telles que Wi-Fi, aux communications cellulaires, etc. La modulation d'amplitude en quadrature est obtenue en mélangeant deux porteuses de phase par 90° [8].

1.3.3 Modulation d'angle FM et PM

a. Introduction

La modulation d'amplitude repose sur la variation de l'amplitude de la porteuse en fonction de l'information à transmettre. Le signal est ainsi très sensible au bruit et à l'atténuation (ex : tunnel).

Dans La modulation de phase et de fréquence (où l'amplitude est fixe), l'information est portée par la variation de la phase ou de la fréquence. C'est de deux types de modulations sont aussi dénommés **Modulation Angulaire** [2].

Modulation de fréquence FM et modulation de phase PM sont les deux formes de modulation d'angle.

En effet, chaque fois que la fréquence d'une porteuse varie, la phase varie également et inversement.

Par conséquent, FM et PM doivent toutes les deux apparaître chaque fois qu'une des formes de modulation d'angle est effectuée.

La différence entre FM et PM réside dans quelle propriété de la porteuse (la fréquence ou la phase) est modifiée directement par le signal modulant et quelle propriété est modifiée indirectement.

- si la fréquence varie directement en fonction du signal modulant FM
- si la phase varie directement en fonction du signal modulant PM [6].

b. Modulation FM

Définition

FM est le processus de modification de la fréquence du signal de porteuse analogique proportionnellement à l'amplitude du signal d'information analogique.

En modulation de fréquence, l'amplitude et la phase de la porteuse restent constantes tandis

que la fréquence de la porteuse varie en fonction du signal modulant.

La quantité de changements de fréquence de la porteuse est proportionnelle à l'amplitude du signal d'information. L'augmentation de l'amplitude du signal modulant implique l'augmentation de la fréquence de la porteuse et inversement

Pour la modulation de fréquence, la fréquence de la porteuse est modifiée en fonction du signal modulant [6].

Toutefois, la porteuse est définie à une fréquence fixe, appelé fréquence porteuse. On ne peut pas, à proprement parler modifier la porteuse du signal.

Principe de la modulation FM :

Comme dans le cas de la modulation d'amplitude, nous allons nous intéresser à la modulation de fréquence d'un signal d'information de nature sinusoïdale [6].

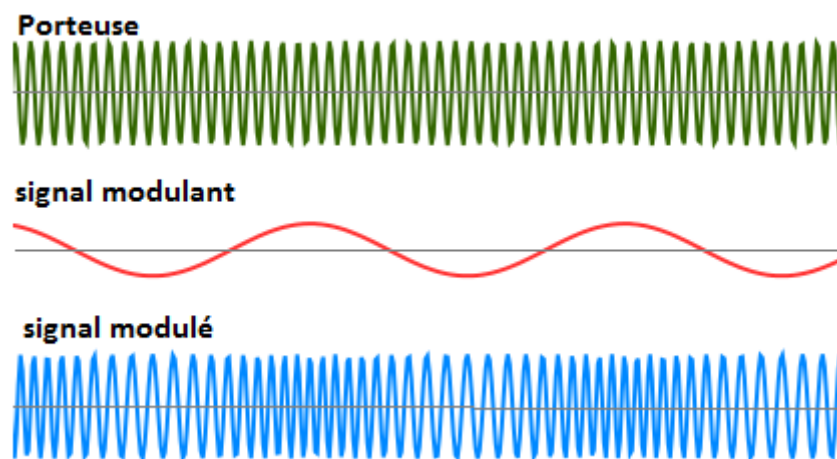


Figure 1.9. : Modulation de Fréquence.

Pour produire un signal modulé en fréquence, il faut :

- Une porteuse sinusoïdale : $v_c(t) = V_c \sin(2\pi f_c t)$ (1.9)

- Signal modulant : $v_m(t) = V_m \sin 2\pi f_m t$ (1.10)

- Le signal modulé s'écrit donc : $v_{FM} = V_c \cos[2\pi f_c t + m_f \sin 2\pi f_m t]$ (1.11)

Schéma générale d'un modulateur FM :

Il existe de nombreux circuits utilisés pour produire des signaux FM et PM. Il existe deux types de circuits modulateurs de fréquence: les circuits directs et les circuits à modulation de phase.

Un modulateur de fréquence est un circuit qui fait varier la fréquence porteuse en fonction du

signal modulant.

La porteuse est générée par des circuits d'oscillateur à cristaux liquides et d'oscillateur LC [9].

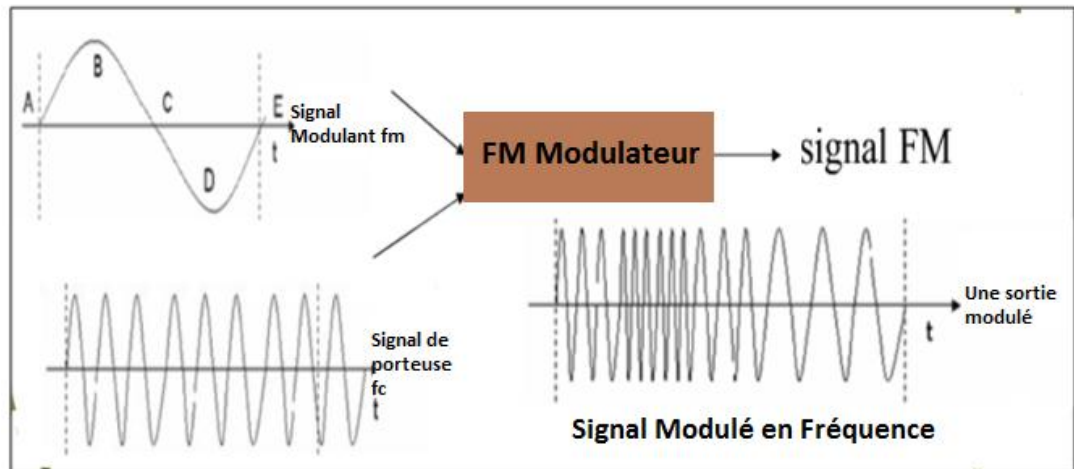


Figure 1.10. Modulateur FM.

Avantages et inconvénients de la modulation de fréquence

Avantages

- L'amplitude de l'onde modulée en fréquence reste inchangée.
- Diminution importante du bruit, donc augmentation du rapport signal / bruit.
- Le bruit peut réduire en augmentant la déviation.
- L'attribution de fréquence permet d'obtenir une bande de garde qui réduit les interférences de canaux adjacents. 5. Utiliser en très haute fréquence (VHF).

Inconvénients :

- L'onde FM ne peut pas couvrir une grande surface.
- Les équipements de transmission et de réception pour FM sont complexes et coûteux.
- Un canal beaucoup plus large, généralement 200 kHz, est nécessaire pour la modulation de fréquence.

Applications de la modulation de fréquence :

- Radio FM : La radio FM utilise un indice de modulation, $m > 1$, appelé FM à large bande. Comme son nom l'indique, la bande passante est beaucoup plus grande que pour la AM. Dans les émissions de radio nationales utilisant la modulation de fréquences, l'écart de fréquence de la porteuse D_{fc} est choisi pour être de 75 kHz et la bande de base des informations est la plage haute-fidélité de 20 Hz à 15 kHz.

BW (Bande Passante) de radio FM = $2 (75k + 15k) = 180kHz$

- Son de télévision: Dans les émissions télévisées terrestres, les informations vidéo sont transmises au format AM. Toutefois, les informations sonores sont transmises en mode FM afin de réduire les interférences possibles entre les signaux vidéo et sonores. Dans ce cas, l'écart maximal de la porteuse D_{fc} , est choisi comme étant égal à 50 kHz et la bande de base des informations correspondent à nouveau à la plage haute-fidélité de 20 Hz à 15 kHz. Par conséquent, la bande passante requise pour le son TV est la suivante:

$$BW \text{ du son TV} = 2 (50k + 15k) = 130kHz$$

- Télévision par satellite : Certaines émissions de télévision par satellite diffusent un signal vidéo analogique en mode FM. Cela aide à obtenir un signal acceptable au niveau de la station de réception. Dans ce cas, l'écart maximal de la porteuse D_{fc} , est choisi d'environ 10 MHz, avec une bande de base vidéo d'environ 5 MHz. Par conséquent, la bande passante requise pour la télévision par satellite est la suivante:

$$BW \text{ de la télévision par satellite} = 2 (10 + 5) = 30 \text{ Mhz [10].}$$

c. Modulation PM

Définition

Le terme définition de modulation de phase ou PM est un type de modulation destiné à transmettre des signaux de communication. Il change le signal du message à transmettre en fonction du signal de la porteuse en raison des différences dans la phase immédiate. La modulation de phase (PM) est une forme de modulation qui représente l'information sous forme de variations de la phase instantanée d'une onde porteuse. Une modification en phase en fonction de la basse fréquence donnera une modulation de phase. Les particules ne sont pas largement utilisées pour les transmissions radio. En effet, il a tendance à nécessiter du matériel de réception plus complexe et des problèmes d'ambiguïté peuvent se poser pour déterminer si, par exemple, le signal a changé de phase de $+ 180^\circ$ ou de -180° [11].

Principe de la modulation PM

On a ses équations pour produire un signal modulé en phase [6] :

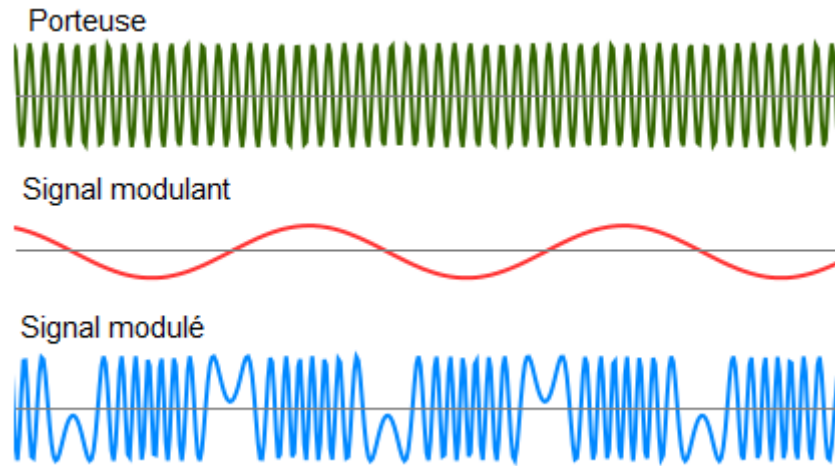


Figure 1.11. Modulation de phase.

Pour produire un signal modulé en fréquence, il faut :

- Une porteuse sinusoïdale : $v_c(t) = V_c \sin(2\pi f_c t)$ (1.12)

- Signal modulant : $v_m(t) = V_m \sin 2\pi f_m t$ (1.13)

- Le signal modulé : $v_{PM}(t) = V_c \cos[2\pi f_c t + m_p \sin 2\pi f_m t]$ (1.14)

Avantages et inconvénients de la modulation de phase

Les avantages de la modulation de phase sont les suivants.

- La modulation de phase (PM) est un contraste simple à la modulation de fréquence (FM).
- Il est utilisé pour déterminer la vitesse d'une cible en supprimant les données Doppler. Cela nécessite une porteuse constante, ce qui est réalisable lors de la modulation de phase mais pas dans la modulation de fréquence (FM).
- Le principal avantage de cette modulation est la modulation du signal car elle permet à un ordinateur de communiquer à haute vitesse à l'aide d'un système téléphonique.
- Lorsque les informations sont transmises sans intrusion, les vitesses peuvent être observées.
- Un autre avantage de la modulation de phase (PM) est l'amélioration de l'immunité au bruit.

Les inconvénients de la modulation de phase sont les suivants.

- La modulation de phase nécessite deux signaux par une variation de phase entre eux. Grâce à cela, les deux modèles sont nécessaires comme référence et signal.
- Ce type de modulation nécessite un matériel plus complexe en raison de sa technique de

conversion.

- L'ambiguïté de phase arrive si nous dépassons l'indice π en radian de modulation (180°).
- L'indice de modulation de phase peut être amélioré en utilisant un multiplicateur de fréquence.

Applications de modulation de phase

Les applications de la modulation de phase sont les suivantes.

- Cette modulation est très utile pour la transmission d'ondes radio et constitue un élément essentiel de plusieurs systèmes de codage de transmission numérique.
- La modulation de phase est largement utilisée pour la transmission d'ondes radio et fait partie intégrante de nombreux schémas de codage de transmission numérique prenant en charge une vaste gamme de technologies sans fil telles que le GSM, la télévision par satellite et le Wi-Fi.
- La modulation de phase est utilisée dans les synthétiseurs numériques pour générer des signaux et des signaux
- PM est utilisé pour la génération de signaux et de formes d'onde dans les synthétiseurs numériques tels que Yamaha DX7 pour la mise en œuvre de la synthèse à modulation de phase et Casio CZ pour la synthèse du son, connue sous le nom de distorsion de phase [12].

1.4 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre en générale les techniques de la modulation analogique, ses avantages, son inconvénient et ses applications.

Nous présenterons dans le chapitre suivant certaines techniques de la modulation numérique.

Chapitre 2 Modulation numérique

2.1 Introduction

Les communications en large bande sont maintenant quasi-exclusivement numériques: Wifi, Bluetooth, TNT, 3G, LTE (4G), Wi MAX, Radio Numérique. Le principe de la modulation d'amplitude, de fréquence ou de phase doit être adapté à des signaux en bande de base numérique. Le principe général est que le signal numérique en bande de base reçu au niveau de l'émetteur est modulé pour produire un signal de haute fréquence, puis démodulé au niveau du récepteur pour être reconstitué à nouveau sous la forme d'un signal en bande de base. Généralement le signal entre l'émetteur et le récepteur correspond à une transmission hertzienne de haute fréquence qui est possible grâce à l'exploitation d'antennes. Par exemple, pour le Wifi les fréquences de modulation sont (en simplifiant) de 2,4 GHz ou 5 GHz, et pour le WiMAX elles sont situées entre 2 GHz et 66 GHz [13].

2.2 Caractérisation d'un signal numérique

On distingue deux niveaux [1] :

- niveau haut : H (*High*), $NH1 = 1$
- niveau bas : L (*Low*), $NL0 = 0$

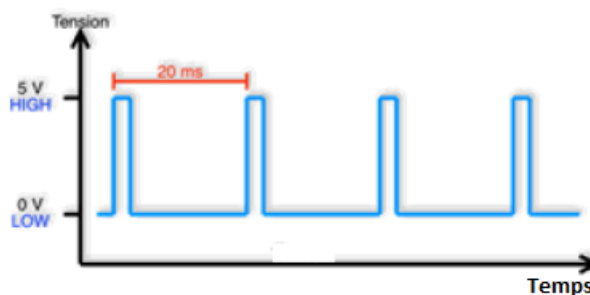


Figure 2.1. Signal binaire en modulation numérique

- **Le chronogramme**

Le chronogramme est un diagramme utilisé pour représenter les signaux en fonction du temps.

- **Le train d'impulsions**

Le train d'impulsions est un signal ayant deux états stables dont les changements d'états dans le temps constituent l'information utile (par exemple un codeur incrémental).

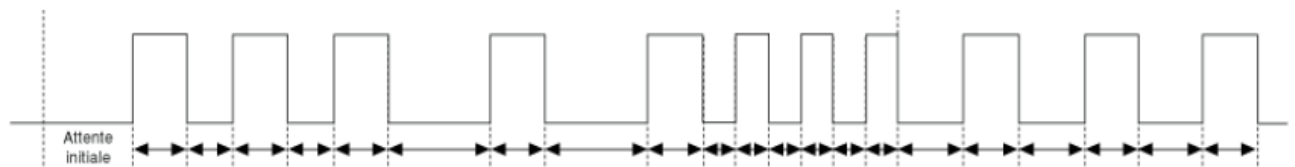


Figure 2.2. Le train d'impulsion

- **La modulation par largeur d'impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM)**

L'information utile est le temps au niveau haut par rapport à la période. L'information est caractérisée par le rapport cyclique.

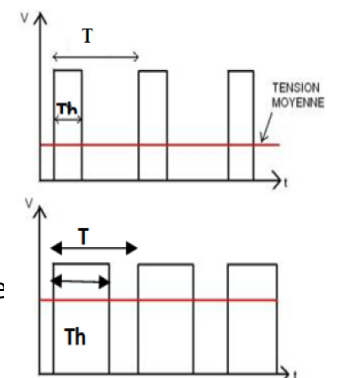
Le rapport cyclique correspond au ratio entre la durée du

Phénomène sur une période et la durée de cette même période.

$$a = \frac{Th}{T} \quad (2.1)$$

Il est compris entre 0 et 1 mais est souvent exprimé en pourcentage

(Si $\alpha=0.2$ alors $\alpha=20\%$)



2.3 Principe d'une chaîne de transmission numérique

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 d'un système de transmission est de véhiculer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

Le schéma synoptique d'un système de transmission numérique est donné à la figure 2.3.

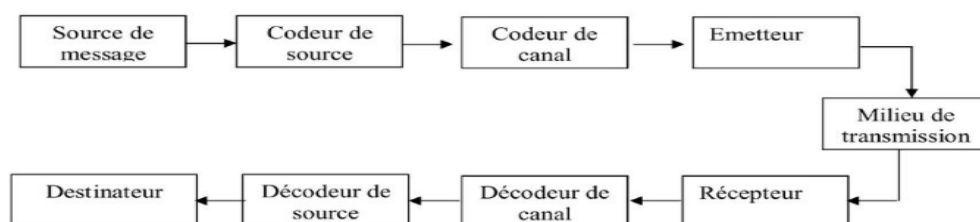


Figure2.3. Principe d'une chaîne de transmission numérique.

a. La source de message :

Pour réaliser une transmission numérique, le message à transmettre doit être sous forme numérique. Si la source délivre un message analogique tel que le signal de parole (sortie d'un microphone) ou le signal d'image (sortie d'une caméra), il faut le numériser en échantillonnant le message analogique puis en quantifiant les échantillons obtenus. Chaque échantillon quantifié est ensuite codé sur 'n' bits.

b. Le codage de source :

Consiste à supprimer la redondance contenue dans les messages de la source d'information. Il peut être avec ou sans pertes d'information. La compression avec pertes vise les signaux numérisés (image, audio ou vidéo).Après numérisation et codage, la source de message numérique est caractérisée par son débit binaire D. défini comme le nombre d'éléments binaires émet par unité de temps. D est égale à :

$$D = \frac{1}{T} (\text{bit} / \text{s})$$

(2.2)

Avec T est la durée d'un bit.

c. Le codage de canal

Le codage de canal, encore appelé codage détecteur-Correcteur d'erreurs Consiste à insérer dans le message des éléments binaires dits de redondance, suivant une loi donnée.

Exemple: Le bit de parité (paire ou impaire)

Le contrôle de parité permet de vérifier l'intégrité (la justesse) des données envoyées (ou reçues) en comptant le nombre de bits à 1 et en collant le résultat directement à la suite des bits envoyés. Cette méthode ne permet pas de correction, uniquement la détection d'erreur dans la transmission. Elle est utilisées dans les liaisons série, transmissions hertzienne longue distance et dans les premières mémoires pour ordinateurs [14].

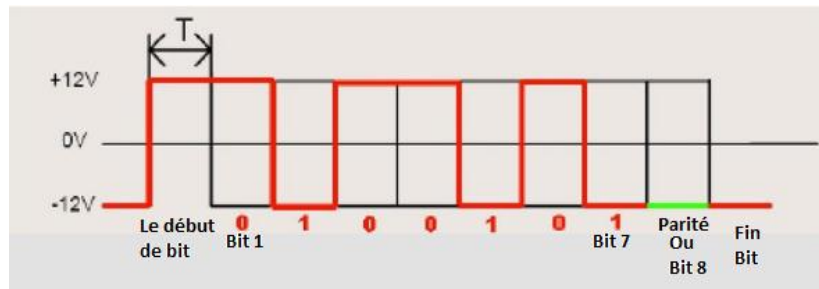


Figure.2.4. Le bit de parité

2.4 La Modulation Numérique

En modulation numérique, le signal d'information utilisé est numérique, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un signal qui ne peut prendre que des valeurs spécifiques. Les signaux numériques sont généralement représentés en binaire à l'aide d'une série de 0 et de 1. Plus le nombre de 0 et de 1 utilisés pour représenter le signal dans un intervalle de temps donné est grand, plus le nombre de valeurs que le signal peut prendre est grand. Par exemple, dans notre exemple pour une station de radio, le signal audio original devrait être "découpé" en un certain nombre de petits intervalles de temps et, pour chaque intervalle de temps, une valeur "autorisée" approximative pour le signal devrait être choisi. En découpant le signal en très petits intervalles de temps et en utilisant un grand nombre de «valeurs autorisées» pour représenter les données, le son peut être rendu naturel.

Il existe également différents types de modulation numérique :

- **Amplitude Shift Keying (ASK) or On-Off Keying (OOK)**
Modulation par déplacement d'amplitude (ASK)
- **Frequency Shift Keying (FSK) et Phase Shift Keying (PSK)**
Modulation par déplacement de fréquence (FSK) et Modulation par déplacement de phase (PSK)
- **QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION (QAM)**
Modulation d'amplitude en quadrature (QAM)

La modulation d'amplitude en quadrature est un type de modulation dans laquelle l'amplitude et la phase sont modulées, et comme il existe plusieurs combinaisons différentes, ce type de modulation peut représenter de nombreuses valeurs différentes pour le signal.

Contrairement à la modulation analogique, dans la modulation numérique, la porteuse

est modifiée à des intervalles de temps spécifiques. Étant donné que la modulation numérique ne peut transmettre que des valeurs spécifiées, les informations sont techniquement moins parfaites que la version d'origine (on parle souvent de «faible fidélité» du signal d'origine). Cependant, il est plus facile d'isoler le bruit des signaux numériques. Le multiplexage (envoi de plusieurs signaux différents en utilisant le même support) est également plus facile lorsque la modulation est numérique [15].

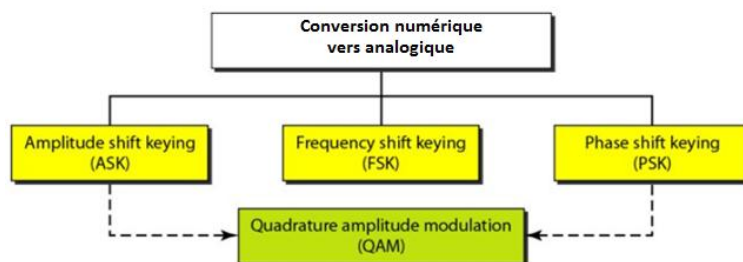


Figure.2.5 Les différents type de modulation numérique

2.4.1 Modulation par déplacement d'Amplitude (ASK)

Lors de la modulation par décalage d'amplitude, l'amplitude du signal est modulée pour représenter les informations. Le type de modulation le plus simple est appelé modulation par activation / désactivation, le signal de porteuse étant activé pour représenter un 1 et désactivé pour représenter un 0 [15].

ASK utilise les niveaux logiques dans les données pour contrôler l'amplitude de l'onde porteuse.

'1' pour haute amplitude (allumer)

'0' pour faible amplitude (éteindre)

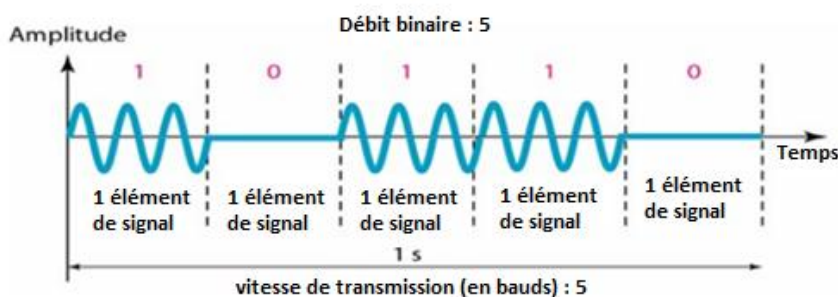


Figure.2.6 Le signal modulé en ASK

a. Principe de la ASK

Lorsque l'amplitude instantanée du signal de porteuse est modifiée proportionnellement

au signal de message $m(t)$. Nous avons la porteuse modulée qui sera donnée par $m(t) = \cos w_c t$ où $\cos w_c t$ est le signal de la porteuse. Comme l'information est un signal tout ou rien, la sortie est également un signal tout ou rien où la porteuse est présente lorsque l'information est 1 et la porteuse est absente lorsque l'information est 0. Ce schéma de modulation s'appelle donc On-Off Keying (OOK) qui est représenté dans la figure 2.7 [16].

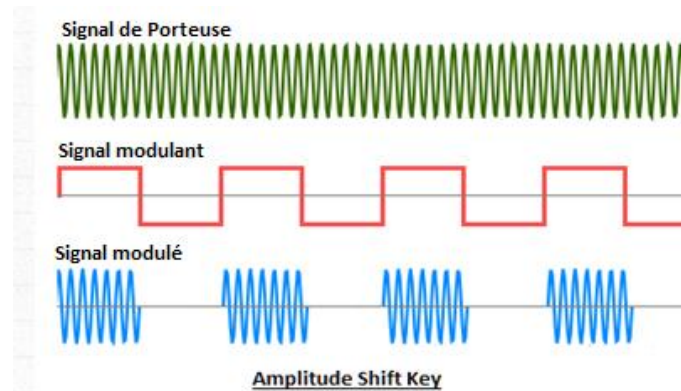


Figure.2.7 Technique modulation OOK

b. Modulateur ASK :

Le schéma bloc du modulateur ASK comprend le générateur de signal de porteuse, l'entrée de la séquence binaire du signal de message et du filtre à bande limitée. Vous trouverez ci-dessous le schéma fonctionnel du modulateur ASK.

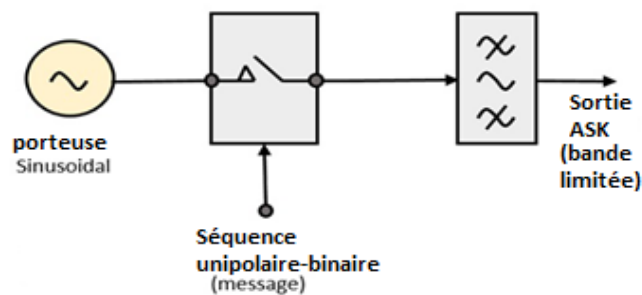


Figure.2.8 Modulateur ASK

Le générateur de porteuse envoie une porteuse haute fréquence continue. La séquence binaire du signal de message ne fait que l'entrée unipolaire soit haute ou basse. Le signal haut ferme le commutateur, permettant une onde porteuse. Par conséquent, la sortie sera le signal de porteuse à l'entrée haute. Lorsqu'il y a une faible entrée, l'interrupteur s'ouvre, ne laissant apparaître aucune tension. Par conséquent, le rendement sera faible. Le filtre limiteur de bande façonne l'impulsion en fonction des caractéristiques

d'amplitude et de phase du filtre limiteur de bande ou du filtre de mise en forme d'impulsion [17].

c. Diagramme de constellation de la ASK

Un diagramme de constellation est une représentation vectorielle de la modulation.

On a un Axe I (In phase) « support d'amplitude» de la porteuse

Amplitude du « 1 » logique

Amplitude du « 0 » logique [19]

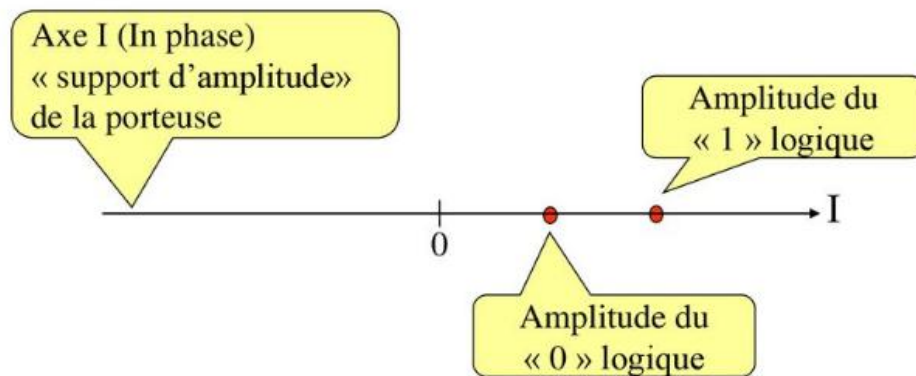


Figure.2.9 Diagramme de constellation ASK

d. Les avantages et les inconvénients de l'ASK

Les points suivants résument les avantages de la ASK [18] :

- Elle offre une efficacité élevée de la bande passante.
- Elle a une conception simple du récepteur.
- La modulation ASK peut être utilisée pour transmettre des données numériques sur fibre optique.
- Les processus de modulation ASK et de démodulation ASK sont peu coûteux.
- Sa variante OOK est utilisée aux fréquences radio pour transmettre les codes morse.

Les points suivants résument les inconvénients de la ASK :

- Elle offre une efficacité énergétique inférieure.
- La modulation ASK est très sensible aux interférences de bruit. Cela est dû au fait

que le bruit affecte l'amplitude. D'où une autre technique de modulation alternative telle que la BPSK qui est moins susceptible d'erreur que la ASK est utilisée

- ASK sensible aux erreurs

e. Utilisation de la ASK

La ASK est utilisée dans [16] :

- Les télécommandes infrarouges.
- Utilisé dans les émetteurs et les récepteurs à fibres optiques.

2.4.2 Modulation par déplacement de Fréquence (FSK)

Dans la modulation par décalage de fréquence, la fréquence de l'onde est modulée, tandis que dans la modulation par décalage de phase, la phase de l'onde est modulée.

FSK Utilise les niveaux logiques dans les données pour contrôler la fréquence de la porteuse.

Data = "1" pour haute fréquence

Data = "0" pour basse fréquence

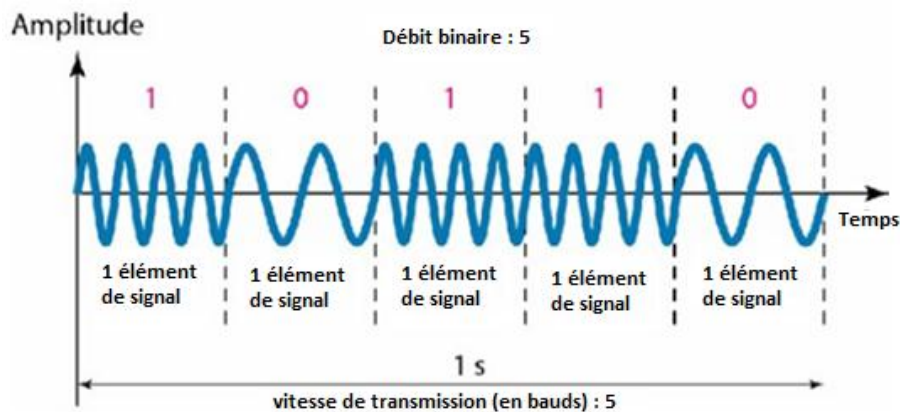


Figure.2.10 Le signal modulé en FSK

a. Principe de la FSK

Lorsque les données sont transmises en faisant varier la fréquence instantanée de la porteuse, nous avons le cas de la touche de décalage de fréquence (frequency shift key).

Dans cette modulation, la porteuse a deux fréquences prédéfinies, W_{c1} et W_{c2} . Lorsque le bit d'information est égal à 1, la porteuse avec W_{c1} est transmise, c'est-à-dire $\cos w_{c1}$ et lorsque le bit d'information, vaut 0, la porteuse avec W_{c0} est transmise, c'est-à-dire

$\cos w_{c0}$ [16].

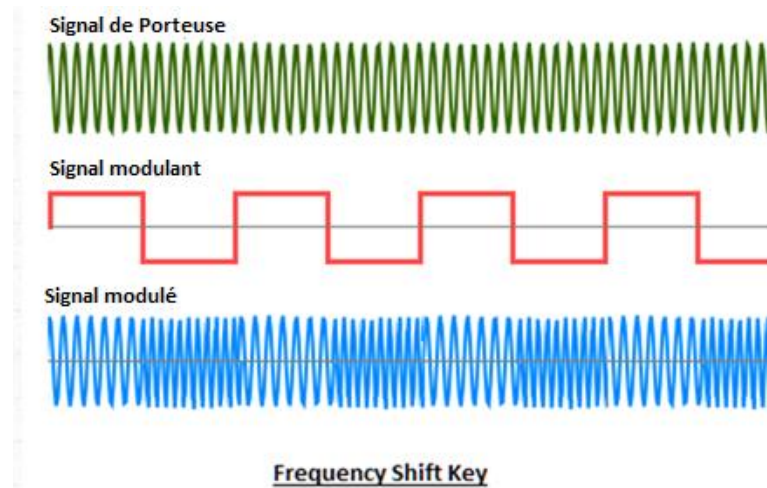


Figure.2.11 Technique modulation FSK

b. Modulateur FSK

Le schéma block du modulateur FSK comprend deux oscillateurs avec une horloge et la séquence binaire en entrée. Voici son schéma fonctionnel.

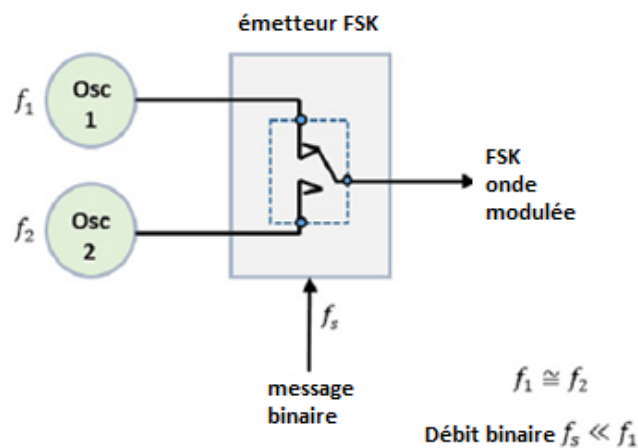


Figure.2.12. Modulateur FSK

Les deux oscillateurs, produisant des signaux de fréquence supérieure et inférieure, sont connectés à un commutateur avec une horloge interne. Pour éviter les discontinuités brusques de phase du signal de sortie lors de la transmission du message, une horloge est appliquée en interne aux deux oscillateurs.

La séquence d'entrées binaires est appliquée à l'émetteur afin de choisir les fréquences en fonction de l'entrée binaire [17].

c. Diagramme de constellation de la FSK

Pour la constellation de modulation FSK on a un Axe I (In phase) qui est le « support d'amplitude » de la porteuse [19]

Et on a : « 1 » logique, et « 0 » logique qui sont représenté dans la figure suivante :

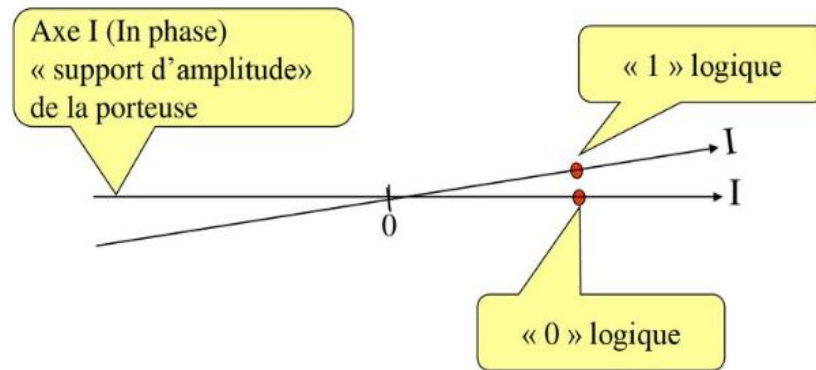


Figure.2.13. Diagramme de constellation FSK

d. Les avantages et les inconvénients de la FSK

Voici les avantages de la FSK [18]

- Elle a une probabilité d'erreur plus faible.
- Elle fournit un rapport signal sur bruit élevé.
- Elle a une plus grande immunité au bruit grâce à une enveloppe constante. Par conséquent, il est robuste contre les variations d'atténuation dans le canal.
- Les implémentations d'émetteur et de récepteur FSK sont simples pour les applications à faible débit de données.

Voici les inconvénients de la FSK

- Elle utilise une plus grande largeur de bande que d'autres techniques de modulation telles que ASK et PSK. Par conséquent, l'utilisation de la bande passante n'est pas efficace.
- La performance BER (Bit Error Rate) ou le taux d'erreur dans le canal AWGN (Bruit additif blanc gaussien) est moins bonne comparée à la modulation PSK.

e. Utilisation de la FSK

De nombreux modems utilisaient la FSK dans les systèmes de télémétrie [16].

2.4.3 Modulation par déplacement de Phase (PSK)

PSK est un processus de modulation numérique qui transmet des données en modifiant (modulant) la phase d'un signal de référence à fréquence constante (l'onde porteuse).

Dans ce type de modulation :

- La phase de la porteuse est décalée pour représenter les données.
- PSK à deux niveaux (PSK binaire) – le cas de BPSK.
- Utilise deux phases (0 et 180 °) pour représenter les deux chiffres binaires.
- Le signal transmis résultant pour un temps de bit est:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{binary 0} \end{cases} = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ -A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

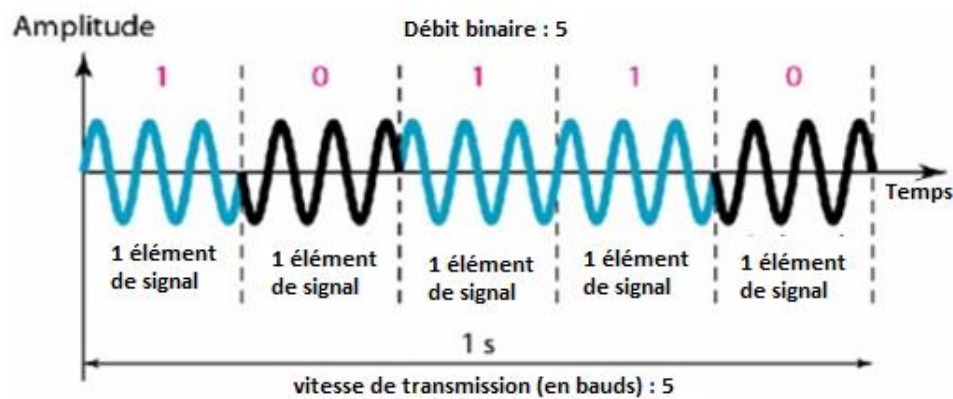


Figure.2.14 Le signal modulé en PSK

a. Principe de PSK (BPSK)

La phase instantanée de la porteuse est décalée pour cette modulation. Si le signal de bande de base $m(t) = 1$ porteuse en phase est transmis. Si $m(t) = 0$, une porteuse déphasée est transmise, à savoir $\cos(\omega_c t + \pi)$.

Si le déphasage est effectué dans 4 quadrants différents, une information de 2 bits peut être envoyée à la fois. Ce schéma est un cas particulier de modulation PSK appelé QPSK ou Quadrature Phase Shift Key [16].

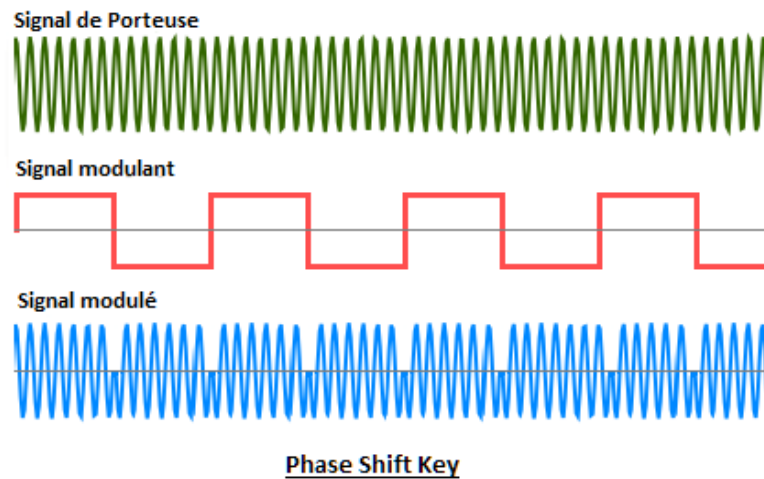


Figure.2.15. Technique modulation PSK

b. Cas de BPSK Modulateur

Le schéma fonctionnel de la modulation par décalage de phase binaire comprend le modulateur d'équilibrage qui a la porteuse sinusoïdale comme entrée et la séquence binaire comme autre entrée. Voici la représentation schématique.

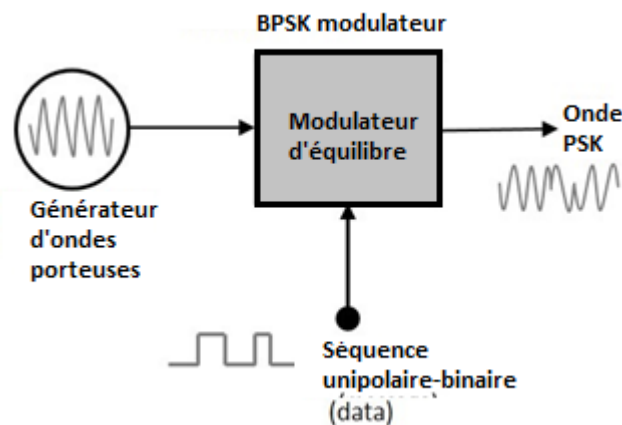


Figure.2.16. Modulateur type BPSK

La modulation de BPSK est effectuée à l'aide d'un modulateur d'équilibre, qui multiplie les deux signaux appliqués à l'entrée. Pour une entrée binaire nulle, la phase sera 0° et pour une entrée haute, l'inversion de phase est de 180° .

Vous trouverez ci-dessous la représentation schématique de l'onde de sortie modulée BPSK avec son entrée donnée [17].

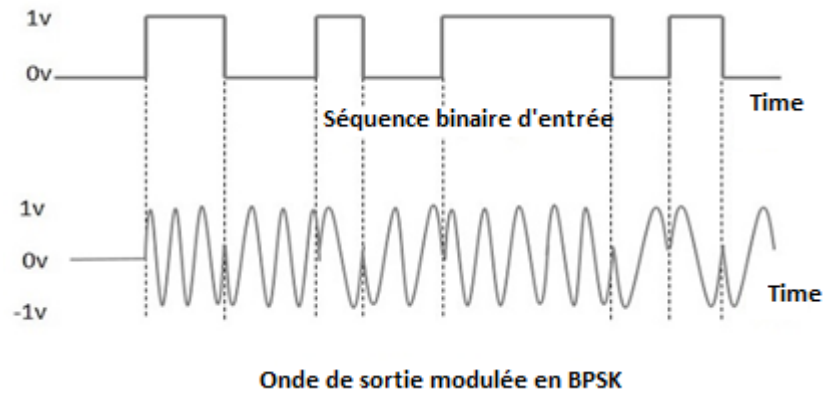


Figure.2.17. la représentation schématique de l'onde de sortie modulée en BPSK

L'onde sinusoïdale de sortie du modulateur sera la porteuse d'entrée directe ou la porteuse d'entrée inversée (déphasée de 180 °), qui est la fonction du signal de données.

c. Diagramme de constellation BPSK

BPSK constellation représente comme ceci :

Axe I (In phase) « support d'amplitude» de la porteuse

Amplitude du « 1 » logique

Amplitude du « 0 » logique [19].

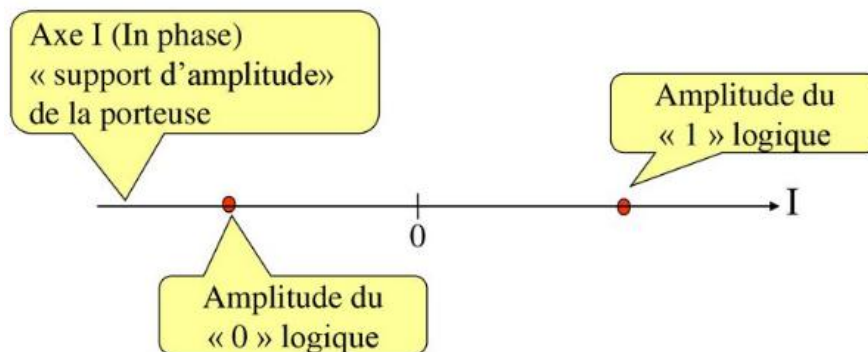


Figure.2.18. Diagramme de constellation BPSK

d. Les avantages et les inconvénients du la PSK

Voici les avantages de la PSK [18]

- Elle transporte les données sur le signal RF plus efficacement que les autres types de modulation. Par conséquent, il s'agit d'une technique de modulation plus économe en énergie par rapport à la ASK et la FSK.

- Elle est moins sujet aux erreurs que la modulation ASK et occupe la même bande passante qu'elle ASK.
- Un débit de transmission de données plus élevé peut être obtenu à l'aide de modulations PSK de haut niveau telles que QPSK (représente 2 bits par constellation), 16-QAM (représente 4 bits par constellation), etc.

Voici les inconvénients de PSK

- L'efficacité de la bande passante est moindre.
- Les données binaires sont décodées par estimation des états de phase du signal. Ces algorithmes de détection et de récupération sont très complexes.
- Les schémas de modulation PSK à plusieurs niveaux (QPSK, 16 QAM, etc.) sont plus sensibles aux variations de phase.

2.5 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre en générale les techniques de la modulation numérique, ses avantages, ses inconvénients et ses applications.

Nous présenterons dans le chapitre suivant le développement de l'application de la modulation numérique.

Chapitre 3 Développement de l'application

3.1 L'état de l'art

L'évolution des techniques informatiques – en particulier celle des logiciels – dans les télécommunications est issue d'innovations provenant non seulement des laboratoires du domaine de l'informatique (universités, laboratoires publics, laboratoires de constructeurs informatiques), mais également des laboratoires des opérateurs et des constructeurs de télécommunications. Le langage C et le système d'exploitation Unix, universellement connus, sont deux exemples de systèmes qui ont été développés dans les années 1970 par les laboratoires (Bell Labs) de l'opérateur A.T. &T. (American Telephone & Telegraph).

L'informatique peut être utilisée de deux façons complémentaires dans le domaine des télécommunications :

– d'une part, en tant que composante des réseaux et des services (logiciels on-line) ; on parle alors de technologies logicielles qui concernent en particulier les protocoles, les systèmes répartis, les bases de données et les systèmes d'information, les techniques de sûreté de fonctionnement ainsi que les techniques de sécurité.

– d'autre part, en tant qu'outil d'aide au développement et compréhension du fonctionnement de ces réseaux et services (logiciels off-line) ; elle s'intéresse alors aux langages et aux méthodes de développement [20].

Dans la télécommunication on a beaucoup de logiciels de modulation et traitement de signal qui traite ce Domain la

Nous vous présentons une liste non exhaustive de différentes langages et applications qui permettent de simuler une modulation numérique, dont nous donnons certaines caractéristiques en Annexe A

3.1.1 Scilab

On trouve par exemple le Scilab qui est un langage de programmation associé à une riche collection d'algorithmes numériques couvrant de nombreux aspects des problèmes de calcul scientifique.

Du point de vue logiciel, Scilab est un langage interprété, ceci accélère généralement le processus de développement, parce que l'utilisateur accède directement à un langage de haut niveau, avec un riche ensemble de fonctionnalités offertes par la bibliothèque. Le langage Scilab est destiné à être étendu afin que des types de données « utilisateurs » puissent être

définis par d'éventuelles opérations de surcharge. Les utilisateurs de Scilab peuvent développer leurs propres modules afin de résoudre leurs problèmes particuliers. Le langage Scilab peut compiler et lier dynamiquement d'autres langages tels que Fortran et C : de cette façon, des bibliothèques externes peuvent être utilisées comme si elles faisaient partie des fonctionnalités intégrées de Scilab. Scilab s'interface également avec LabVIEW, une plate-forme et un l'environnement de développement pour le langage de programmation visuel de National Instruments.

Du point de vue de la licence, Scilab est un logiciel gratuit et open source, sous licence Cecill [2]. Le logiciel est distribué avec le code source, de telle sorte que l'utilisateur dispose d'un accès aux aspects les plus internes de Scilab. La plupart du temps, l'utilisateur télécharge et installe une version binaire de Scilab, car le consortium Scilab fournit les versions exécutable pour Windows, Linux et Mac OS. L'aide en ligne est disponible dans de nombreuses langues.

Du point de vue scientifique, Scilab est livré avec de nombreuses fonctionnalités. Au tout début de Scilab, les fonctionnalités se sont concentrées sur l'algèbre linéaire. Mais, rapidement, leur nombre s'est élargi pour couvrir de nombreux domaines de l'informatique scientifique.

Scilab offre de nombreuses fonctionnalités graphiques, y compris un ensemble de fonctions de traçage, qui créent des tracés 2D et 3D ainsi que des interfaces utilisateur. L'environnement Xcos fournit un modéleur et un simulateur hybride de systèmes dynamiques [21].

3.1.2 GNU Octave

On a le logiciel **GNU Octave** qui est un logiciel libre de calcul numérique comparable à MATLAB et à Scilab. Ce n'est pas un logiciel de calcul formel. Le logiciel est développé puis maintenu pour le projet GNU par John W. Eaton.

Octave dispose d'un moteur de rendu graphique intégré (basé sur OpenGL et FLTK) pour créer les graphiques et les diagrammes, pour les enregistrer et les imprimer. Alternativement, le rendu graphique peut se faire avec le logiciel tiers gnuplot.

Des fonctionnalités de tracé graphique simples en couleurs (2D, surfaces, etc.) sont disponibles directement dans le langage. Elles permettent des superpositions de courbes, leur mise à jour en temps réel et la juxtaposition de graphiques dans des grilles simples. Cette possibilité est utile pour suivre la convergence d'algorithmes d'analyse numérique ou d'automatique ainsi que pour représenter un espace des phases simple [22].

3.1.3 Matlab

Finalement on a le logiciel/langage Matlab (MATrix LABoratory) qui est le plus utilisé dans la télécommunication, c'est un logiciel pour effectuer des calculs numériques. Il a été conçu initialement pour faciliter le traitement des matrices, mais il est maintenant utilisé dans tous les domaines des sciences qui nécessitent de faire des calculs.

a. Intérêts

- Programmation infiniment plus rapide pour le calcul et pour l'affichage
- Une librairie très riche
- Possibilité d'inclure un programme en C/C++
- Langage interprété : Pas de compilation donc pas d'attente pour compiler
- Possibilité d'exécuter du code en dehors du programme
- Code facile à comprendre et très lisible
- Une aide très bien faite [23].

Mais avec tous ces avantages de ces logiciels on a des difficultés à comprendre la modulation de manière très simple et pas compliqué alors notre but est de réaliser une interface graphique qui fait la modulation de manière simple sans complexe pour cette raison on a choisi le C et le Java comme langages de programmation pour développer mon application.

3.2 Pourquoi le C++ et le Java

Pour le développement de l'application j'ai choisi le C et le Java pour les raisons suivantes:

3.2.1 Le C++

Le C++ est un langage de programmation, c'est à dire un langage permettant à un humain de spécifier les opérations qu'un ordinateur doit effectuer dans un programme. Il existe un grand nombre de langages divers et variés, chacun étant adapté à des tâches particulières. Le C++ est l'évolution du langage C, un langage plus simple et surtout beaucoup plus anciens.

Tout comme son ancêtre, qui est encore beaucoup utilisé, il est très apprécié afin de mettre en place et de réaliser des programmes complexes travaillant au niveau système. Ces langages permettent tous les deux d'utiliser directement les fonctions des systèmes d'exploitation. Le langage C++ est donc utilisé, avec le C, pour écrire des programmes bas niveau qui interagissent directement avec le système, ou des programmes ayant des contraintes de rapidité et

d'efficacité assez importantes.

Le C++ est compilé la plupart du temps, ceci signifie qu'il est traduit par un compilateur dans un code binaire directement compréhensible par l'ordinateur. Par opposition à ce code binaire, aussi appelé code objet (à ne pas confondre avec le concept de programmation orienté objet), on appelle le texte tapé et lisible par l'humain le code source. Le code objet n'est pas lisible par un humain, en revanche le code source l'est. Cependant, seul le code objet est exécutable par la machine. Un compilateur n'est donc rien d'autre qu'un traducteur du code source vers le code objet [24].

a. Avantages du C++

- Il est très répandu. Comme nous l'avons vu, il fait partie des langages de programmation les plus utilisés sur la planète. On trouve donc beaucoup de documentation sur Internet et on peut facilement avoir de l'aide sur les forums.
- Il est rapide, très rapide même, ce qui en fait un langage de choix pour les applications critiques qui ont besoin de performances. C'est en particulier le cas des jeux vidéo, mais aussi des outils financiers ou de certains programmes militaires qui doivent fonctionner en temps réel.
- Il est portable : un même code source peut théoriquement être transformé sans problème en exécutable sous Windows, Mac OS et Linux. Vous n'aurez pas besoin de réécrire votre programme pour d'autres plates-formes !
- Il existe de nombreuses bibliothèques pour le C++. Les bibliothèques sont des extensions pour le langage, un peu comme des plug-ins. De base, le C++ ne sait pas faire grand-chose mais, en le combinant avec de bonnes bibliothèques, on peut créer des programmes 3D, réseaux, audio, fenêtrés, etc.
- Il est multi-paradigmes (ouch !). Ce mot barbare signifie qu'on peut programmer de différentes façons en C++. L'une des plus célèbres est la Programmation Orientée Objet (POO). C'est une technique qui permet de simplifier l'organisation du code dans nos programmes et de rendre facilement certains morceaux de codes réutilisables [25].

b. Coté interfaces Graphique

Il est possible en C++ de réaliser des interfaces graphiques portables c'est-à-dire fonctionnant

à la fois sous Linux, sous Windows et sous Mac OS.

On parle alors de toolkits [26].

Citons par exemple :

- **wxWidgets**, disponible sous la licence "wxWindows license" qui autorise la création de programmes commerciaux sans pour autant payer de licence, et bien évidemment de créer des logiciels libres ;
- **Qt**, disponible de manière gratuite pour l'utilisation dans des projets openSources mais son utilisation dans des projets commerciaux nécessite l'achat d'une licence ;
- **gtkmm**, tout comme wxWidgets, il est possible de concevoir des applications propriétaires ou openSources ;
- **GTK+**, il est possible de concevoir des applications open source ou propriétaires avec GTK+, il a été initialement créé pour les besoins de GIMP puis a été réutilisé pour réaliser le gestionnaire de fenêtre GNOME.

3.2.2 JAVA

Le Java C'est un langage de programmation orienté objet, développé par Sun Microsystems. Il permet de créer des logiciels compatibles avec de nombreux systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Macintosh, Solaris). Java donne aussi la possibilité de développer des programmes pour téléphones portables et assistants personnels. Enfin, ce langage peut être utilisé sur internet pour des petites applications intégrées à la page web (applet) ou encore comme langage serveur (jsp) [27].

a. Avantages Java

- Excellente portabilité
- Langage puissant
- Langage orienté objet
- Langage de haut niveau
- JDK très riche
- Nombreuses librairies tierces

- Très grande productivité
- Applications plus sûres et stables
- Nombreuses implémentations, JVM et compilateurs, libres ou non
- IDE de très bonne qualité et libres : Eclipse et Netbeans par exemple [28]

b. Coté interface graphique

NetBeans est un environnement de développement intégré (IDE) pour Java, placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL (Common Développement and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme Python, C, C++, XML et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages web) [29].

NetBeans est lui-même développé en Java, ce qui peut le rendre assez lent et gourmand en ressources mémoires.

Il y a d'autres outils pour créer des interfaces graphiques en Java comme JBuilder, JFormDesigner et Jigloo mais moi personnellement j'utilise le Netbeans.

3.2.3 Les difficultés en C++ et en Java

Les Langage C++ et Java sont rarement utilisés pour le traitement du signal, je devais donc développer mes propre code et fonctions à ces fins. Vue le temps imparti pour le PFE, j'ai eu des difficultés à développer ces commandes.

Aussi dans les interfaces graphique Netbeans il n'y a pas les éléments pour afficher le signal de sortie d'où la nécessité de créer des éléments spéciaux pour l'affichage des signaux.

Malheureusement sa prendre beaucoup de temps et avec le délai qu'on a pour le pfe ça sera impossible.

a. Mes projets sous WxWidget et Netbeans

- **Sous WxWidget : Le développement en C++**

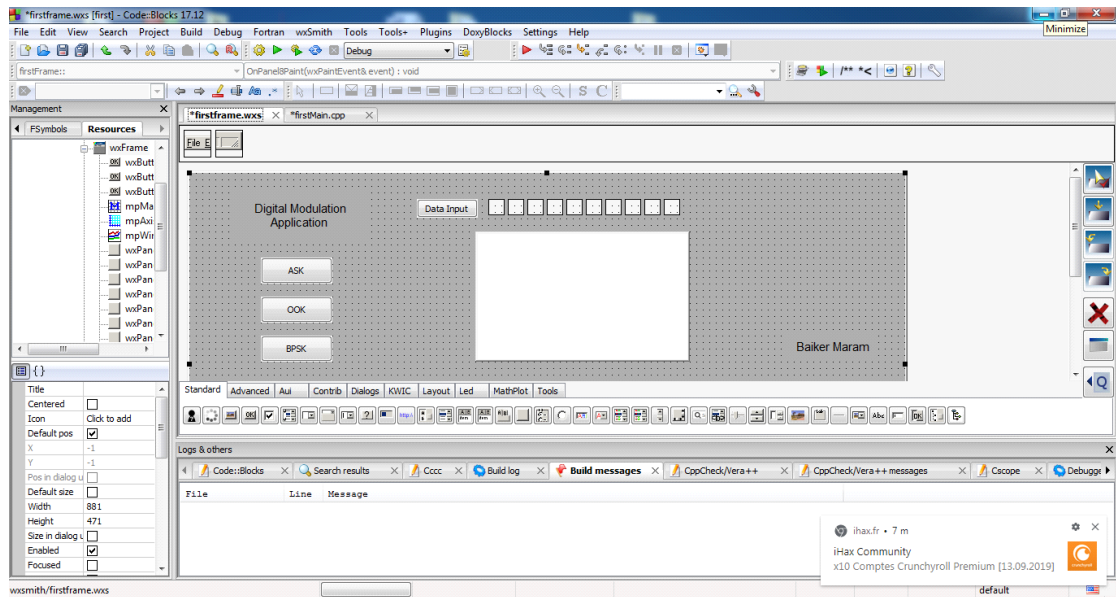


Figure 3.1. Le développement du programme en C++

La figure [3.1] représente Mon développement du programme de la modulation numérique en C++ sous WxWidget. Une interface graphique qui contient les trois types de modulation numérique (ASK, OOK et BPSK) qu'on veut moduler et le Data l'information binaire à transmettre

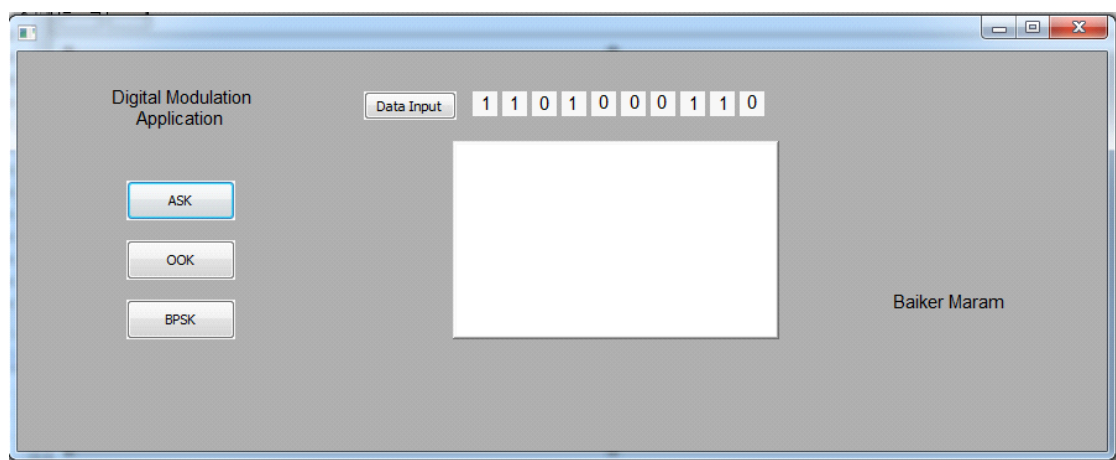


Figure 3.2. Résultat d'exécution du programme en C++

Pour le résultat de l'exécution du programme donné en figure [3.2].

Et comme vous pourrez voir l'élément Math plot est vide pour afficher le signal binaire et le signal modulé et ça c'est à cause d'erreur en commande Math plot en C++ est n'a pas reconnu le programme qui affiche le signal (manque de commande de traitement de signal)

- **Sous Netbeans : Le développement en JAVA**

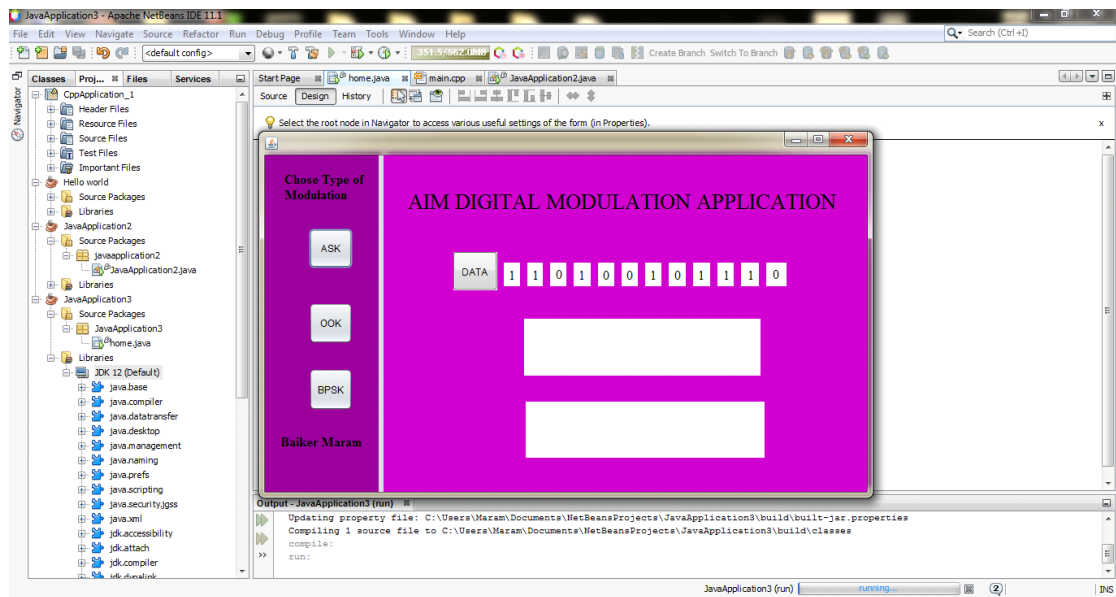


Figure 3.3. Le développement du programme en JAVA

La figure 3.3 présente le développement que j'ai fait de la modulation en JAVA sous Netbeans, il a la même interface qu'on a faite sous WxWidget, les trois boutons de trois types de modulation numérique et le bouton Data ou l'information qu'on veut le transmettre.

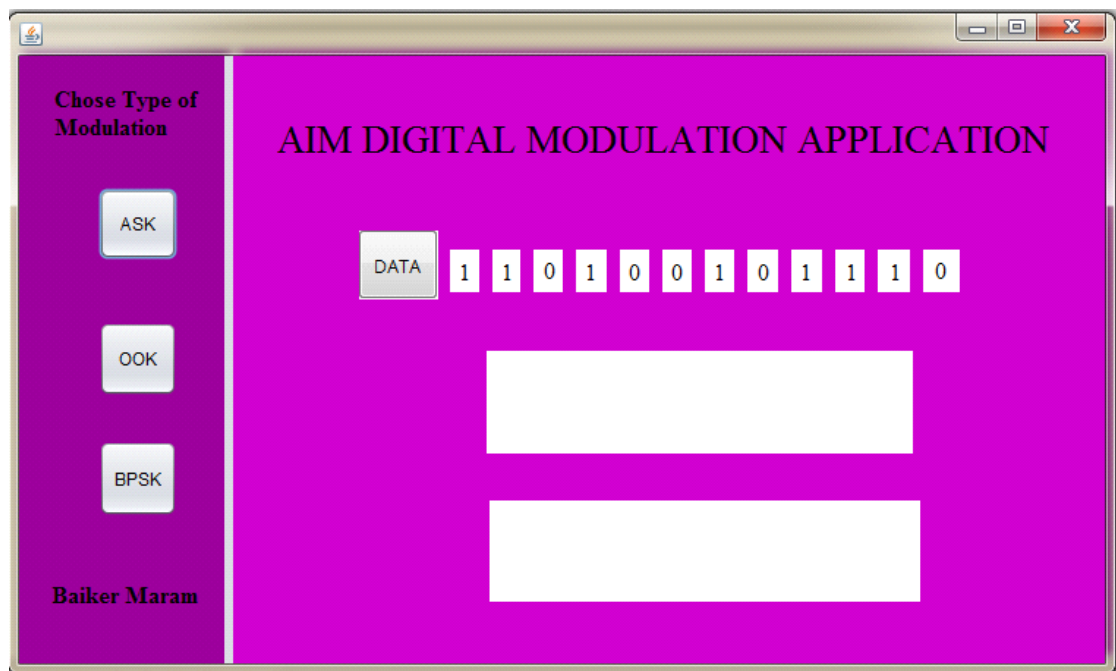


Figure 3.4. Résultat d'exécution du programme en JAVA

Résultat de l'exécution du programme est donné en figure 3.4

Avec ce résultat on a le même problème qu'on a déjà vu sous WxWidget, les deux éléments du signal binaire et signal modulé sont vide à cause du manque de commandes spécial développé pour traitement du signal

3.3 Pourquoi le Matlab

Avec toutes ces difficultés de Netbeans et WxWidget j'ai pensé à réaliser une interface graphique sous Matlab, on s'est dit que MATLAB est déjà compliqué compliqué pour un étudiant débutant en modulation numérique mais il a une option de réaliser une interface graphique, donc je me suis inspiré d'interfaces développées sous Matlab, qui sont un peu compliqués, pour faire une interface graphique qui facilite la compréhension de la modulation numérique.

3.4 De la théorie de l'application

Mon interface graphique en GUI Matlab est représentée dans la figure suivante :

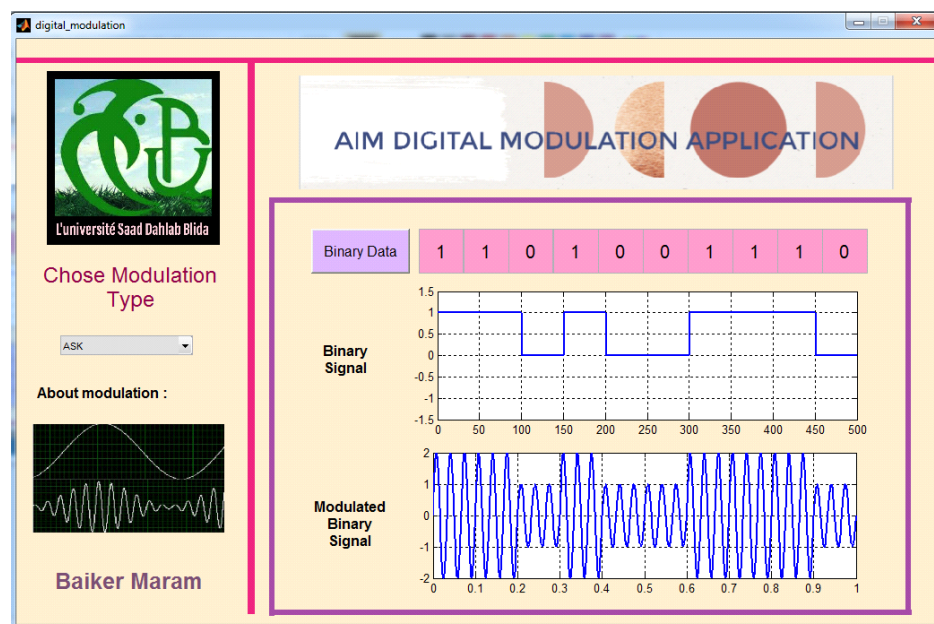


Figure 3.5. Application Modulation numérique

Le contenu de cette interface graphique de modulation numérique est :

- Le type de la modulation utilisé : ASK, OOK et BPSK
- DATA ou bien l'information à transmettre
- Fenêtre Binary signal : pour afficher le signal de codage binaire de l'information numérique
- Fenêtre Modulated Binary Signal : pour afficher le signal modulé

Pour les programmes de chaque élément d'interface on va les présenter dans l'annexe B

3.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté les développements de l'interface graphique de modulation numérique en deux langages de programmation (C++ et JAVA) sous des logiciels différents d'interfaces graphiques (WxWidget et Netbeans) et avec les obstacles auxquels nous sommes exposés.

Chapitre 4 Test de la modulation

4.1 Introduction

Généralement, l'objectif d'un système de communication numérique est de transporter des données numériques entre deux nœuds ou plus. Dans les communications radio, ceci est généralement obtenu en ajustant une caractéristique physique d'une porteuse sinusoïdale, soit la fréquence, la phase ou l'amplitude. Cette opération est effectuée dans des systèmes réels avec un modulateur côté émetteur pour imposer le changement physique à la porteuse et un démodulateur côté réception pour détecter la modulation résultante à la réception. Nous présentons trois types de base de modulations numériques:

ASK [Touche de décalage d'amplitude]

FSK [Touche de décalage de fréquence]

PSK [Phase Shift Keying]

Toutes ces techniques font varier le paramètre d'une sinusoïde pour représenter les informations que nous souhaitons transmettre.

Une sinusoïde a trois paramètres qui peuvent être modifiés, à savoir l'amplitude, la phase et la fréquence [30].

4.2 Test de la modulation ASK et de la modulation OOK

4.2.1 Théoriquement

En mode ASK, seule l'amplitude du signal de porteuse est modifiée en modulation. La version la plus simple est OOK (On-Off Keying). En mode OOK, la rafale d'une onde porteuse est transmise ou pas, selon que le signal du message en entrée soit égal à 1 ou 0. Les autres versions de ASK utilisent des amplitudes différentes (non nulles) pour représenter 1 et 0.

La figure [4.1] (a) montre un signal de message numérique utilisant deux niveaux de tension. Un niveau représente 1 et l'autre représente 0. La porteuse non modulée est illustrée à la figure [4.1] (b). Les figures [4.1] (c) et (d) sont les formes d'onde modulées utilisant deux versions de ASK. La figure [4.1] (c) utilise OOK et (d) utilise ASK ou BASK binaire [31].

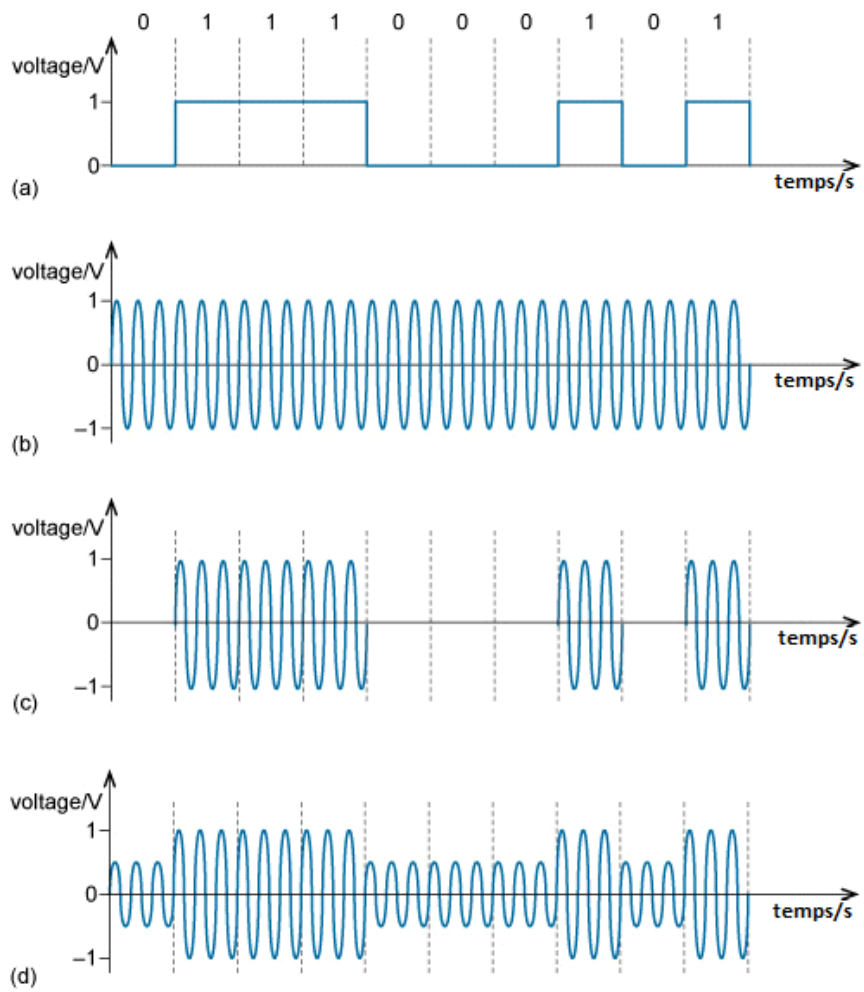


Figure 4.1. La modulation du signal ASK et OOK

4.2.2 Pratiquement

La figure [4.2] décrit la technique de modulation OOK. OOK signifie On Off Keying.

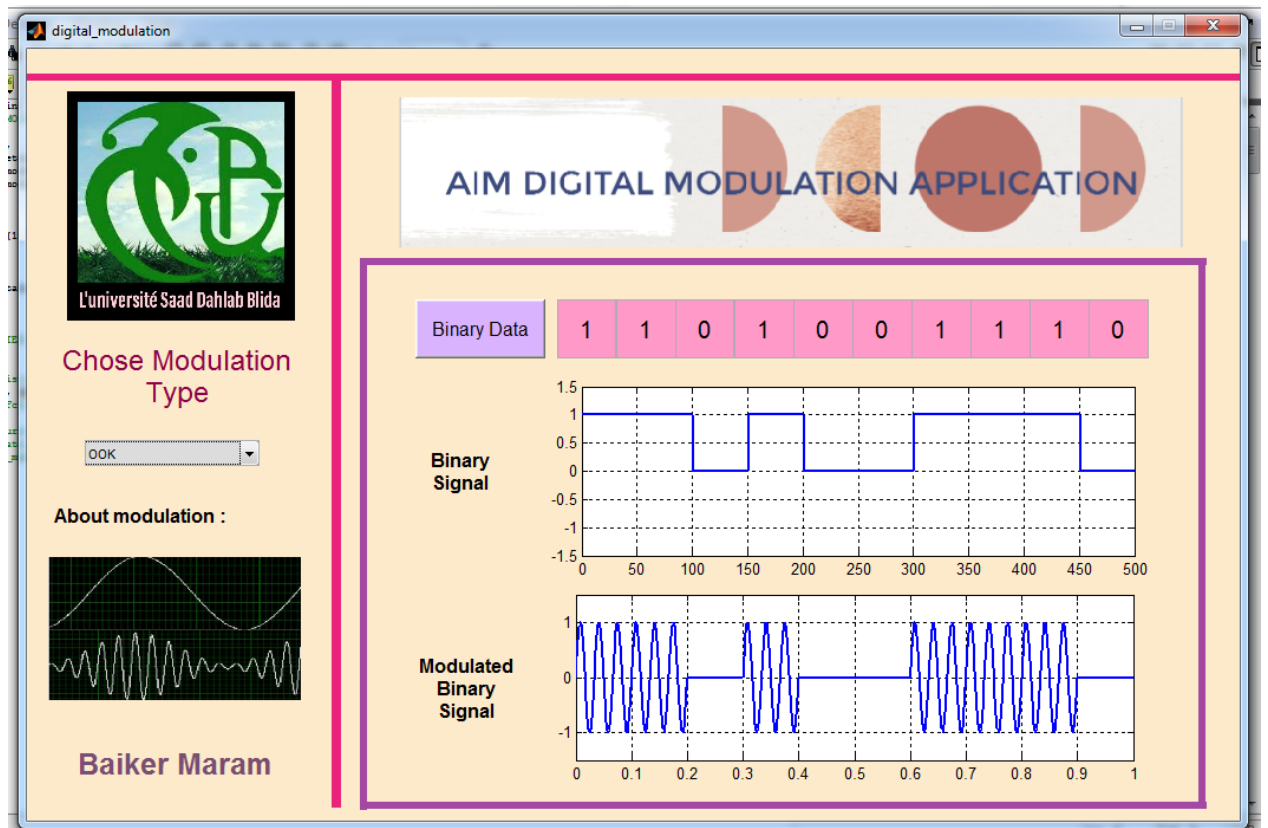


Figure 4.2. Résultat de a modulation type OOK

OOK est une version modifiée de la modulation ASK.

En modulation ASK, 0 logique est représenté par une amplitude inférieure et 1 logique est représentée par une amplitude supérieure; en modulation OOK, il n'y a pas de porteuse pendant la transmission du zéro logique. La porteuse est transmise lors de la transmission du numéro 1 logique.

Nous remarquons le même résultat théorique et le pratique.

Ensuite la figure [4.3] représente le résultat d'exécution du programme de modulation numérique type ASK :

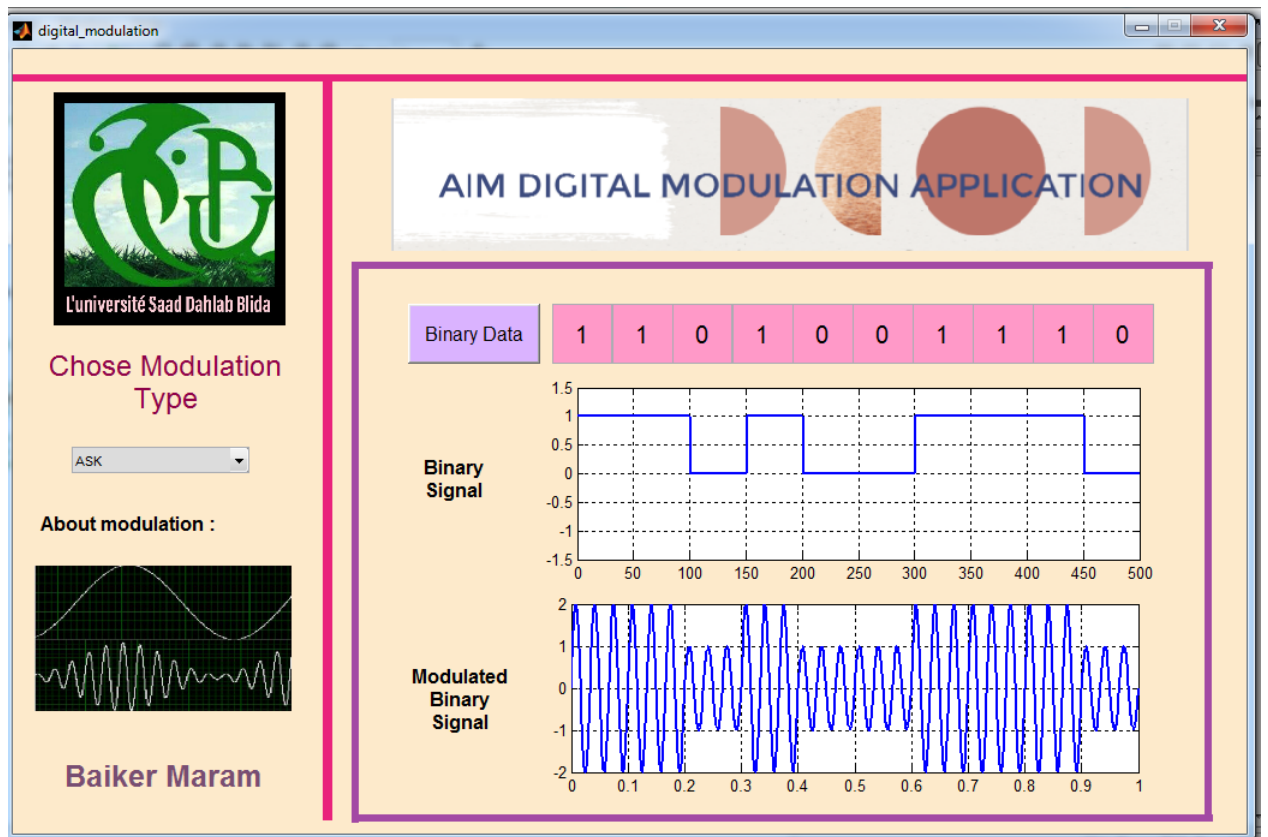


Figure 4.3. Résultat de la modulation type ASK

En modulation ASK, l'entrée modulante est numérique et la porteuse est analogique. L'onde porteuse est présente avec une amplitude supérieure dans la sortie modulée ASK où l'entrée binaire est «1» doit être transmis. Le zéro logiques est transmis avec une amplitude inférieure par rapport à la logique 0.

Nous remarquons le même résultat théorique et le pratique.

4.3 Test BPSK modulation

4.3.1 Théoriquement

La troisième technique de modulation numérique fondamentale, et la plus largement utilisée sous une forme ou une autre, est la PSK. Sa forme la plus simple est la saisie binaire à décalage de phase (BPSK).

En BPSK, 0 et 1 sont représentés par des segments de sinusoides dont la phase diffère. Au récepteur, la distinction entre les deux segments est plus facile si leurs phases diffèrent le plus possible. En BPSK, les phases sont séparées par un demi-cycle (équivalent à π radians ou 180°).

Voir la figure 4.4 [31].

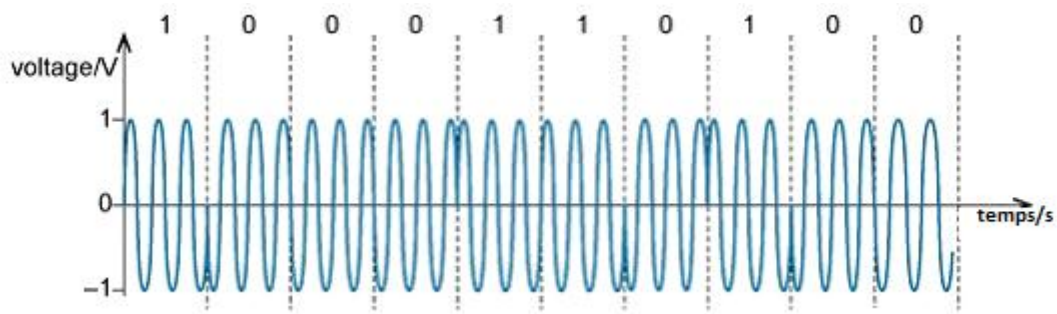


Figure 4.4. La modulation du signal BPSK

4.3.2 Pratiquement

Dans la modulation de BPSK on a pour une entrée binaire nulle « logique 0 », la phase sera 0° et pour une entrée haute « logique 1 », l'inversion de phase est de 180° .

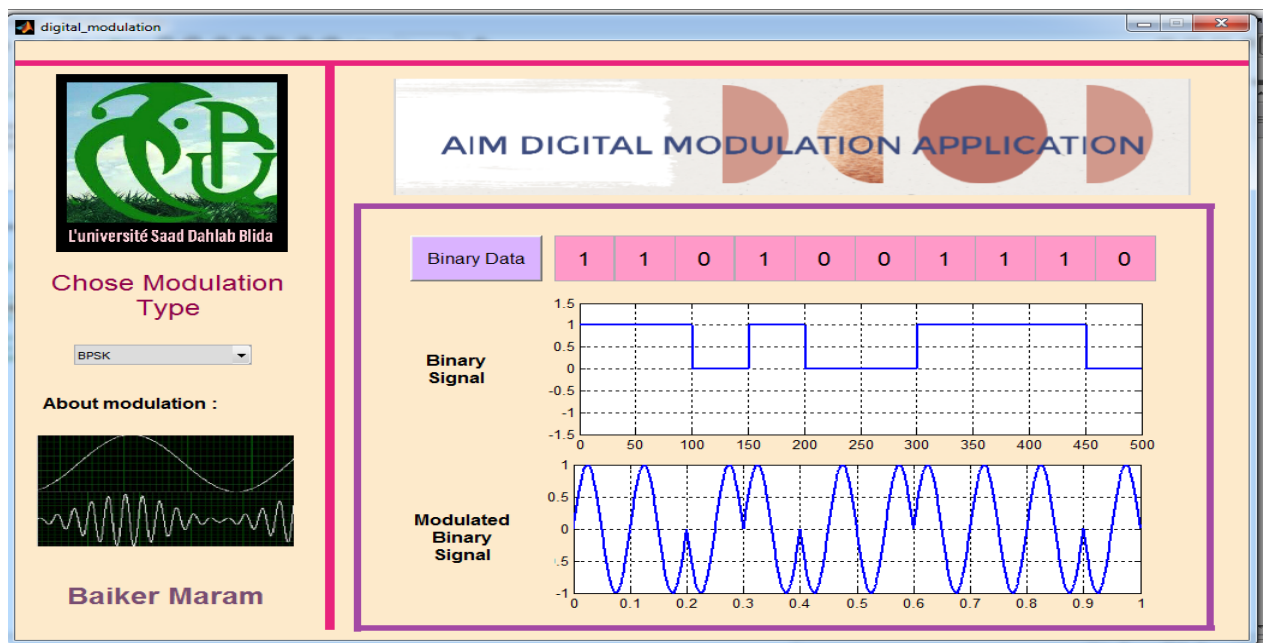


Figure 4.5. Résultat de la modulation type BPSK

Pour la remarque de l'exécution : on trouve aussi le même résultat que la théorique.

4.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre j'ai présenté les tests de l'application développée. Je l'ai testé avec trois types de modulation numérique ASK, OOK et BPSK.

Les résultats obtenus ont été comparés aux résultats théoriques de la modulation numérique présentée au chapitre 2.

Conclusion général

J'ai abordé dans mon travail la difficulté de comprendre facilement la modulation par la majorité des étudiants en télécommunication.

Pour cela j'ai développé une application en différents langages de programmation comme C++, JAVA et Matlab pour faciliter la compréhension de la modulation numérique pour les étudiants débutants dans ce domaine d'étude.

Pour ce travail, j'ai suivi les étapes suivantes :

1/ Développement mon application en C++ et le Java ainsi que son interface graphique en utilisant des bibliothèques spécifiques tels que WxWidget et Netbeans. Lors de cette étape, j'ai eu quelques difficultés dues au manque de bibliothèques relatives au traitement du signal dans ces langages, ceci n'est pas réellement un problème mais le travail colossale que cela nécessite et manque de temps m'ont obligés à m'orienter vers un autre type de langage.

2/Développement sous Matlab : pour cette étape, je me suis inspirée de code existants, qui à la base sont compliqués, j'ai créés mon interface graphique qui appel des code permettant de générer une séquence binaire, représentant le signal numérique à transmettre, le porteuse, et le signal modulé. Les résultats obtenus sont donnés au chapitre 4.

En perspective de ce travail, on pourrait envisager de reprendre mes développements en Matlab, en utilisant le C++ et/ou Java, pour rendre les codes plus maniables et personnalisables.

Il est possible aussi d'envisager de traiter d'autres types de modulation.

Annexe A : Caractéristique des logicielles Scilab et Octave

Nous présentons dans cette annexe certaines caractéristique des logicielles et langages traité et abordé au chapitre 3.

1. Caractéristiques de logicielle Scilab

On a une courte liste de ses capacités :

- Algèbre linéaire, matrices creuses
- Polynômes et fractions rationnelles
- Interpolation, approximation
- Optimisation linéaire, quadratique et non linéaire
- Solveur d'équations différentielles ordinaires et solveur d'équations différentielles algébriques
- Commande classique et robuste, optimisation par inégalité matricielle linéaire ;
- Optimisation différentiable et non différentiable
- Traitement du signal
- Statistiques

2. Caractéristiques de logicielle Octave

Caractéristiques propres à Octave-Forge :

- Logiciel libre et open-source (gratuit, sous licence GPL v3) développé de façon communautaire
- Logiciel packagé (*.deb, *.rpm...) pour la plupart des distributions GNU/Linux ainsi que disponible sous forme de portages binaires (ou sinon compilable) sur les autres systèmes d'exploitation courants (Windows, macOS)
- Extensions implémentées sous forme de packages également libres (voir chapitre "Les packages Octave-Forge")

- Le caractère modulaire de l'architecture et des outils Unix/Linux se retrouve dans Octave, et Octave interagit facilement avec le monde extérieur ; Octave s'appuie donc sur les composants Unix/GNU Linux, plutôt que d'intégrer un maximum de fonctionnalités sous forme d'un environnement monolithique (comme MATLAB)
- Fonctionnalités graphiques s'appuyant sur différents "backends" (Qt/OpenGL, FLTK/OpenGL, Gnuplot, Octaviz... voir chapitre "Graphiques, images, animations") ce qui peut encore induire quelques différences par rapport à MATLAB

Annexe B : Les Codes de programme d'interface graphique.

Dans cette annexe on a les codes de programme générant :

1. La partie de « Binary Data »

Programme de la partie Binary Data ou l'information d'entrée en binaire :

```
function random_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=round(rand(1,10));
ran=[a(1),a(2),a(3),a(4),a(5),a(6),a(7),a(8),a(9),a(10)];
set(handles.bit1,'String',ran(1));
set(handles.bit2,'String',ran(2));
set(handles.bit3,'String',ran(3));
set(handles.bit4,'String',ran(4));
set(handles.bit5,'String',ran(5));
set(handles.bit6,'String',ran(6));
set(handles.bit7,'String',ran(7));
set(handles.bit8,'String',ran(8));
set(handles.bit9,'String',ran(9));
set(handles.bit10,'String',ran(10));
handles.bits=ran;
h=handles.bits;
axes(handles.axes1)
hold off;
bit=[];
for n=1:2:length(h)-1;
    if h(n)==0 & h(n+1)==1
        se=[zeros(1,50) ones(1,50)];
    elseif h(n)==0 & h(n+1)==0
        se=[zeros(1,50) zeros(1,50)];
    elseif h(n)==1 & h(n+1)==0
        se=[ones(1,50) zeros(1,50)];
    elseif h(n)==1 & h(n+1)==1
        se=[ones(1,50) ones(1,50)];
    end
    bit=[bit se];
end
plot(bit,'LineWidth',1.5);grid on;
axis([0 500 -1.5 1.5]);
hold off;
axes(handles.axes3);
cod=get(handles.select_mod,'Value');
switch cod
```

2. La partie de « Binary Signal »

Voici le programme d'axe du signal binaire :

```
function digital_modulation_OpeningFcn(hObject,  
eventdata, handles, varargin)  
    hold off;  
    axes(handles.axes1);  
    h=[1 1 0 1 0 0 1 1 1 0];  
    hold off;  
    bit=[];  
    for n=1:2:length(h)-1;  
        if h(n)==0 & h(n+1)==1  
            se=[zeros(1,50) ones(1,50)];  
        elseif h(n)==0 & h(n+1)==0  
            se=[zeros(1,50) zeros(1,50)];  
        elseif h(n)==1 & h(n+1)==0  
            se=[ones(1,50) zeros(1,50)];  
        elseif h(n)==1 & h(n+1)==1  
            se=[ones(1,50) ones(1,50)];  
        end  
        bit=[bit se];  
    end  
    plot(bit, 'LineWidth', 1.5); grid on;  
    axis([0 500 -1.5 1.5]);
```

3. Partie « Modulated Binary Signal »

Voici le programme d'axe du signal binaire modulé :

```
axes(handles.axes3)  
    hold off;  
    fc=30;  
    g=[1 1 0 1 0 0 1 1 1 0];  
    n=1;  
    while n<=length(g)  
        if g(n)==0  
            tx=(n-1)*0.1:0.1/100:n*0.1;  
            p=(1)*sin(2*pi*fc*tx);  
            plot(tx,p, 'LineWidth', 1.5); grid on;  
            hold on;  
        else  
            tx=(n-1)*0.1:0.1/100:n*0.1;  
            p=(2)*sin(2*pi*fc*tx);  
            plot(tx,p, 'LineWidth', 1.5); grid on;  
            hold on;  
        end  
        n=n+1;  
    end  
end
```

4. Partie de la modulation « ASK »

Le programme de la modulation types ASK :

```
case 1
    hold off;
    axes(handles.axes3)
    fc=30;
    g=handles.bits;          n=1;
while n<=length(g)
    if g(n)==0
        tx=(n-1)*0.1:0.1/100:n*0.1;
        p=(1)*sin(2*pi*fc*tx);
        plot(tx,p, 'LineWidth',1.5);grid on;
        hold on;
    else
        tx=(n-1)*0.1:0.1/100:n*0.1;
        p=(2)*sin(2*pi*fc*tx);
        plot(tx,p, 'LineWidth',1.5);grid on;
        hold on;
    end
    n=n+1;
end
```

5. Partie de la modulation « OOK »

Le programme de la modulation types OOK :

```
case 2
    hold off;
    axes(handles.axes3);
    t=0:0.001:1;
    m=1;
    fc=30;
    g=handles.bits;
    n=1;
while n<=length(g)
    tx=(n-1)*1/length(g):0.001:n*1/length(g);
    p=(g(n))*sin(2*pi*fc*tx);
    plot(tx,p, 'LineWidth',1.5);
    hold on;
    axis([0 (n)*1/length(g) -1.5 1.5]);
    grid on;
    n=n+1;
end
```

6. Partie de la modulation « BPSK »

Le programme de la modulation types OOK :

```
case 3
    axes(handles.axes3)
    hold off;
    g=handles.bits;
    fc=10;
    n=1;
while n<=length(g)
    if g(n)==0
        tx=(n-1)*0.1:0.1/100:n*0.1;
        p=(-1)*sin(2*pi*fc*tx);
        plot(tx,p,'LineWidth',1.5);grid on;
        hold on;
    else
        tx=(n-1)*0.1:0.1/100:n*0.1;
        p=(1)*sin(2*pi*fc*tx);
        plot(tx,p,'LineWidth',1.5);grid on;
        hold on;
    end
    n=n+1;
end
```

Bibliographie

[1] jules ferry VERSAILLES : Cours S-SI lycée Caractérisation des signaux, consulté le: 18-11-2017

[2] LAUNAY Frédéric : cours modulation, consulté le: 18-5-20119

[3] Michael Fitz: Fundamentals of Communications Systems , consulté le:2017

[4] Tracy He , site : <https://www.quora.com/What-is-analog-modulation> année de création 2019/05/19, date consultation:2019-07-03

[5] jean-philippe muller, site : <https://docplayer.fr/3054556-La-modulation-d-amplitude.html> année de création 2015/03/7, date de consultation:2019-02-5

[6] Rosdiah Hamzah,site <https://prezi.com/ldxfr-bg1uys/22-know-and-understand-analog->

[modulation/](#), date de création : 20-04-2019

[7] [Alexis Owens](#) , site : <https://slideplayer.com/slide/4888429/> , date de creation 2015/06/02, date de consultation : 2019-02-18

[8] site : <https://byjus.com/physics/amplitude-modulation-and-its-applications/> , date de consultation : 05-08-2019

[9] [Sikander Ghunio](#) , site : [slideshare.net/sghunio/chapter06-fm-circuits](https://www.slideshare.net/sghunio/chapter06-fm-circuits), date de création 11/14/2013 , date de consultation 22-08-2019

[10] Darshil Shah, site: <https://www.slideshare.net/darshilshah940098/frequency-modulation-and-its-application> , date de création : 9/10/2014, date de consultation : 9-08-2019

[11] <https://www.elprocus.com/what-is-phase-modulation-advantages-disadvantages-and-applications/> , date consultation 22-08-2016

[12] [Alphonse Dumouchel](#) , site : <https://docplayer.fr/20757051-Modulations-numeriques-ask-fsk-psk.html> , date de création 2017 , date consultation : 1-09-2019

[13] [Fabienne Lecours](#) , site : <https://slideplayer.fr/slide/11884622/> , date de création : 2017 , date consultation : 6-07-2019

[14] [Nipun](#) , site : <https://pediaa.com/difference-between-analog-and-digital-modulation/> , date de création : 25/09/2019 , date consultation : 08/07/2019

[15] site : <http://www.equestionanswers.com/notes/modulation-analog-digital.php> , date de consultation : 2-10-2019

[16] site : https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_amplitude_shift_keying , date de consultation : 8-09-2019

[17] site : <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-ASK.html> , date de consultation 10-05-2019

[18] site : <http://www.equestionanswers.com/notes/modulation-analog-digital.php> , date consultation : 05-07-2019

[19] [Sabine Dumas](#) , site : <http://slideplayer.fr/slide/14815362/> , date de création : 27-11-2017, date de consultation : 03-10-2019

[20] site : [universalis.fr/encyclopedie/telecommunications-informatique-et-telecommunications/3-l-influence-des-logiciels/](https://www.universalis.fr/encyclopedie/telecommunications-informatique-et-telecommunications/3-l-influence-des-logiciels/) , date de consultation 05-07-2019

[21] Michaël Baudin, site : <https://scilab.developpez.com/tutoriels/introduction-scilab/> , date de

création : 15-03-2015 , date de consultation : 22-09-2019

[22] John W. Eaton , site : https://fr.wikipedia.org/wiki/GNU_Octave , date de création 1992 , date de consultation : 25-07-2019

[23] site : <http://www.samuelboudet.com/fr/matlab> , date création : 03-06-2013, date de consultation : 18-08-2019

[24] [Hugo HOUYEZ](https://www.supinfo.com/articles/single/5845-qu-est-ce-que-c) , site : <https://www.supinfo.com/articles/single/5845-qu-est-ce-que-c>, date de création : 02/10/2017 , date de consultation : 1-03-2019

[25] site : <https://openclassrooms.com/fr/courses/1894236-programmez-avec-le-langage-c/1894377-quest-ce-que-le-c> date de création : 30/09/2019, date de consultation : 02-02-2019

[26] site : https://fr.wikibooks.org/wiki/Programmation_C%2B%2B/Interfaces_graphiques , date de consultation : 03-03-2019

[27] site : <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-java-485/> : date consultation : 04-09-2019

[28] [F. De Leo](https://info-rital.developpez.com/tutoriel/java/pourquoi) site: <https://info-rital.developpez.com/tutoriel/java/pourquoi>, date de création 11-12-2005, date de consultation : 05-05-2019

[29] site : <https://www.techno-science.net/definition/5346.html>, date de consultation 06-06-2019

[30] Sadaf Dilshad Khan site : <http://elprojects.blogspot.com/2011/10/digital-modulation.html> date de consultation : 08-08-2019

[31] site : <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/exploring-communications-technology/content-section-1.4>, date de consultation : 10-04-2019

