

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en
Domaine : Sciences et de Technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et Télécommunications
Thème

Réalisation d'une Plateforme de simulation des techniques de modulation basée sur le web

Présenté Par :

- 1) Mr. BENKRAMA Abdelkader
- 2) Mr. BENDJABAR Mohamed

Devant le jury composé de :

Mr. BENDIMERAD M. KARIM	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr SLIMANE Zohra	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. YAGOUB Reda	MAB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année Universitaire 2020/2021

DEDICACE

Ce projet fin d'étude est dédié à mon père alah yerahmo qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études, à ma mère qui m'a toujours donnée de l'espoir dans la vie, sans eux je n'aurais certainement jamais fait d'études longues. Ce projet fin d'études représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace, et leurs efforts.

Sans oublier ma petite famille et notamment mon cher fils ibrahim Miloud qui est mon trésor et mon capitale a mes frères et mes sœurs pour leurs encouragements et leurs conseils tout au long de ma carrière d'étudiant.

A mon chère amie et mon frère non biologique houari houmad benallel qui a toujours cru en moi et à cette petite famille.

A mon cher binhome Mr bendjebar mohammed qui m'a toujours donné de l'espoir et le courage de continuer .

A mes collègues qui ont beaucoup m'aider

Et A toute la famille Benkrama.

Et à notre cher encadreur : Mr. YAGOUB Réda pour son aide et son soutien tout au long de notre mémoire fin d'étude

BENKRAMA ABDELKADER



DEDICACE

Je dédie ce mémoire A mes chers parents ma mère et mon père Pour leurs patience, leur amour leur soutien et leur encouragement.

A ma famille et mes enfants Sarah, Abdul Rahman, Abdul Razzaq et Maryam.

À tous ceux qui m'ont encouragé, soutenu et motivé à terminer l'étude après une pause de près de 18 ans.

A mon cher binhome Mr benkrama abdelkader qui m'as toujours donné de l'espoire et le courage de continué.

Et à notre encadreur : Mr. YAGOUB Réda pour son aide et son soutien tout au long de notre mémoire fin d'étude.

Bendjebbar mohamed



Remerciements

Nous louons Allah, tout-puissant, de nous avoir donnée la volonté et la santé pour réaliser ce travail. Nous remercions particulièrement l'encadreur Mr. YAGOUB Réda, pour sa disponibilité, ses conseils et pour la confiance qu'il nous accordée tout au long du projet.

Nos remerciements à nos petites familles respectives pour leurs soutiens moraux et à nos parents respectifs pour leurs sacrifices tout au long de nos carrières d'étudiants.

Nos vifs remerciements aux membres de jurys de bien vouloir accepté d'évaluer notre modeste travail.

Nous ne pouvons pas terminer sans penser à tous ceux qui nous ont aidés, surtout nos enseignants du département de génie électrique de l'université qui ont participé à notre formation ainsi que le personnel administratif.



RESUME

Les applications de simulations basées sur le web présentent plusieurs avantages en termes d'accessibilité, d'extensibilité, de portabilité et de maintenance. Ainsi, outre le fait d'être accessibles de n'importe où via une connexion internet, elles facilitent le traitement d'un nombre croissant de demandes de simulation/optimisation sans dégradation des performances

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de réaliser une nouvelle plateforme Web pour la simulation. Cette plateforme permet de simuler les différents types de modulation analogique, en étant suffisamment visuelle et intuitive pour être accessible aux utilisateurs sans expérience en programmation informatique.

Mots-Clés: Plateforme web, Simulation, Modulation analogique.

ABSTRACT

Web-based simulation applications have several advantages in terms of accessibility, scalability, portability and maintenance. Thus, in addition to being accessible from anywhere via an internet connection, they facilitate the processing of an increasing number of simulation / optimization requests without degradation of performance.

The objective of this end-of-study project is to create a new web platform for simulation. This platform makes it possible to simulate the different types of analog modulation, being sufficiently visual and intuitive to be accessible to users without experience in computer programming.

Keywords: Web Platform, Simulation, Analog modulation.

ملخص

و تتمتع تطبيقات المحاكاة المستندة إلى الويب بعدة مزايا من حيث إمكانية الوصول ، وإمكانية التوسع ، وإمكانية النقل والصيانة. وبالتالي ، فبالإضافة إلى إمكانية الوصول إليها من أي مكان عن طريق اتصال بشبكة الإنترنت ، فإنها تيسر معالجة عدد متزايد من طلبات المحاكاة/التحسين إلى المستوى الأمثل دون أن يكون ذلك متبوعا بتدهور الأداء الهدف من مشروع نهاية الدراسة هذا هو إنشاء منصة ويب جديدة للمحاكاة. تتيح هذه المنصة محاكاة الأنواع المختلفة من التعديل التناظري ، كونها مرئية بشكل كافٍ وبديهية لتكون في متناول المستخدمين دون خبرة في برمجة الكمبيوتر.

كلمات مفتاحية : منصة الويب , المحاكاة , التعديل التمثيلي.

TABLE DES MATIÈRES

Dédicaces 1.....	I
Dédicaces 2.....	II
Remerciements.....	III
Résumé.....	IV
Abstract.....	V
ملخص.....	VI
Table des Matières.....	VII
Table des figures.....	IX
Table Des Acronymes Et Abréviations.....	X
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Modulations Analogiques.....	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Modulations analogiques.....	4
I.2.1 Modulation d'amplitude.....	4
I.2.1.1 Modulation d'amplitude à bande latérale double avec porteuse.....	5
I.2.1.2 Modulation d'amplitude à bande latérale double sans porteuse.....	6
I.2.1.3 Modulation d'amplitude à bande latérale unique.....	7
I.3 Modulation de fréquence.....	9
I.3.1 Principe de la Modulation de fréquence.....	9
I.4 Modulation de Phase.....	10
I.5 Conclusion.....	11
Chapitre II : plateforme de simulation des techniques de modulation basée sur le Web.....	12
II.1 Introduction.....	13
II.2 Présentation de la plateforme.....	13
II.3 Production d'un signal Modulant.....	15
II.4 Production de signal de la porteuse.....	17
II.5 Production de signal AM.....	19
II.6 Production de signal FM.....	21
II.7 Production de signal PM.....	23
II.8 Perspectives.....	23

II.9 Conclusion.....	23
CONCLUSION GENERALE.....	25
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	26
ANNEXE	28

TABLE DES FIGURES

Figure 1: schéma d'un système de communication.	3
Figure 2: Signal AM (à bande latérale double) avec porteuse	6
Figure 3: Modulateur d'amplitude à bande latérale double sans porteuse (DSB-SC).....	7
Figure 4 : Signal AM (à bande latérale double) sans porteuse	7
Figure 5: Principe d'une modulation à bande latérale unique.	8
Figure 6 : Signal AM à bande latérale unique.	8
Figure 7: Représentation temporelle du signal modulé en fréquence.	10
Figure 8: Modulations FM et PM, cas d'un modulant sinusoïdal.	11
Figure 9: l'interface de notre plateforme.	14
Figure 10: les sections principales de la plateforme.	14
Figure 11: Options Fournies par Notre application.	15
Figure 12: Algorithme générant le signal modulant.	16
Figure 13: Signal Modulant.	17
Figure 14: Algorithme générant le signal de la porteuse.	18
Figure 15: Signal de la porteuse.....	19
Figure 16: Algorithme générant le signal AM.....	20
Figure 17: Signal AM généré par notre application.	21
Figure 18: Algorithme générant le signal FM.	22
Figure 19: Signal FM généré par notre application.	23

TABLE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

AM: amplitude modulation (Modulation d'amplitude).

API : Application Programming Interface.

BLI : lower side band, LSB (bande latérale inférieure).

BLS : upper side band, USB (bande latérale supérieure).

BF: les bases fréquences.

CSS: Cascading Style Sheets

DSB-SC: Double Side Band Suppressed Carrier (Double bande latérale avec porteuse supprimée).

DSB-TC: Double Side Band Transmitted Carrier (Double bande latérale avec porteuse réservée).

DSB: Double Side Band (double bande latérale).

DOM : Document Object Model.

FM: frequency modulation (Modulation de fréquence).

HF: high frequency (les haute fréquences).

RDS : Radio Data System.

RBDS : Radio Base Data System.

HTML: Hyper Text Markup Language.

JSON : JavaScript Object Notation

PM: phase Modulation (Modulation de phase).

SSB: Single Side band SSB,ou bien (BLU bande latérale unique).

SVG : Scalable Vector Graphics

INTRODUCTION GENERALE

Les applications de simulation ont traditionnellement été fournies sous forme d'applications de bureau, mais au cours des dernières années, l'intérêt pour la simulation basée sur le Web s'est accru. « Simulation basée sur le Web » n'a pas de sens exact, mais c'est un terme large comprenant diverses approches pour intégrer le Web dans le domaine de la simulation.

Par rapport aux applications de bureau classiques, plusieurs avantages avec les applications basés sur le Web peuvent être identifiés :

Accessibilité : un système basé sur le Web est accessible de n'importe où avec une connexion Internet, et pas seulement à partir de l'ordinateur spécifique sur lequel le système de simulation est installé.

Extensibilité : les systèmes basés sur le Web permettent la fourniture dynamique de ressources informatiques et sont ainsi capables de gérer un nombre croissant de demandes de simulation/optimisation sans dégradation des performances.

Portabilité : un système basé sur le Web peut être exécuté dans n'importe quel navigateur Web, sur n'importe quel système d'exploitation, sans nécessiter de la recompilation. Il n'est pas seulement limité à un ordinateur traditionnel, mais peut être exécuté sur n'importe quel appareil doté d'un navigateur Web (par exemple, un Smartphone ou Tablet).

Maintenance : la maintenance des systèmes basés sur le Web est plus facile, car ils n'ont pas besoin d'être installés sur l'ordinateur de chaque client. Les mises à jour sont effectuées via un serveur et atteignent les clients instantanément.

L'objectif principal de ce mémoire est de réaliser une plateforme web de simulation des techniques de modulation analogiques (AM, FM et PM).

Notre challenge est de rendre cette plateforme comme une deuxième alternative par rapport au logiciel MATLAB ; qui soit à la portée des étudiants afin de réaliser leurs travaux pratiques (TP) de modulation analogique. Le site web se base sur un code source en java script.

Pour ce faire, le présent travail est organisé en 2 chapitres + une annexe:

Le premier chapitre présente les modulations analogiques et leurs principes de fonctionnement.

Le deuxième chapitre donne une explication détaillée de notre plateforme réalisée, l'interface, le principe de fonctionnement et l'algorithme pour chaque type de modulation

Enfin, l'annexe ajoutée à la fin du présent document, sert à présenter les outils et applications de base utilisés dans la conception de notre plateforme de simulation, mais également contient les scripts des modèles pris comme types de modulation (AM, FM et PM) dans cette même plateforme.

CHAPITRE I

MODULATIONS ANALOGIQUES

I.1 Introduction

Un système de communication est un système qui décrit l'échange d'informations entre deux points. Le processus de transmission et de réception d'informations est appelé communication. Les principaux éléments de communication sont l'émetteur d'informations, le canal ou moyen de communication et le récepteur d'informations [1].

- **Émetteur:** couple le message dans le canal en utilisant des signaux haute fréquence.
- **Canal:** le support utilisé pour la transmission des signaux
- **Modulation:** C'est le processus de décalage du spectre de fréquences d'un signal vers une gamme de fréquence dans laquelle une transmission plus efficace peut être obtenue.
- **Récepteur:** restaure le signal à sa forme d'origine.
- **Démodulation:** c'est le processus de déplacement du spectre de fréquences vers la gamme de fréquence de bande de base originale et reconstitution de la forme originale.

Le schéma de principe de base d'un système de communication est montré dans la figure 1.

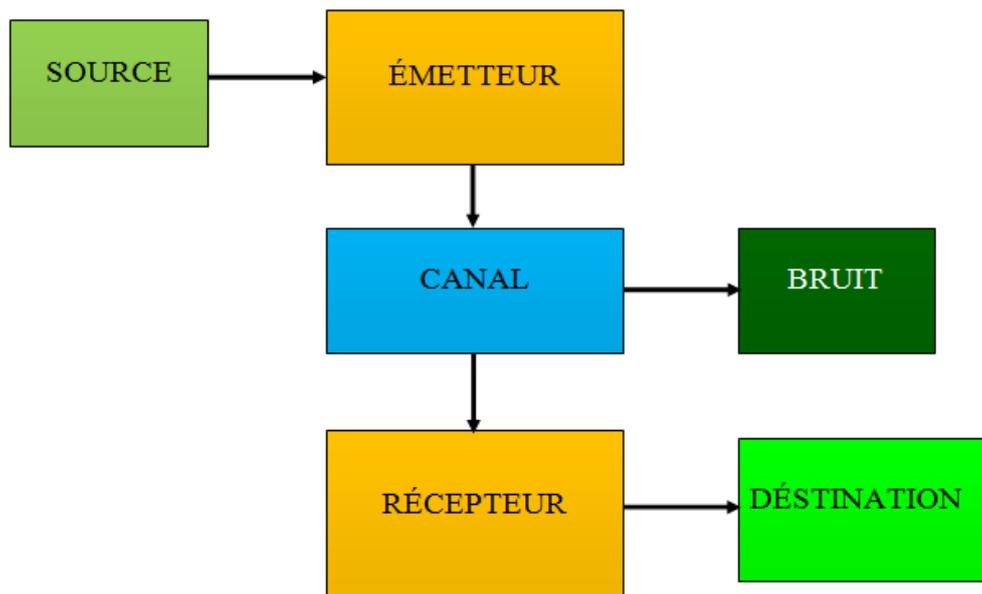


Figure 1: schéma d'un système de communication.

La transmission directe par onde hertzienne d'un signal BF est impossible. Car les dimensions des antennes, étant de l'ordre de $\frac{1}{4}$ de la longueur d'onde, seraient prohibitives. (La longueur d'onde est obtenue en divisant la vitesse de la lumière par la fréquence, équation 1). Par exemple il faudrait une antenne de longueur de 5km si la fréquence du signal est 15kHz, ce qui est impossible.

$$\lambda = c * T = \frac{c}{f} = \frac{(3.10^8)}{(15.10^3)} = 20km \quad (1)$$

I.2 Modulations analogiques

En modulation analogique, les caractéristiques de la sinusoïde modulée (telles que l'amplitude, la fréquence ou la phase) peuvent prendre un continuum de valeurs en fonction de la source de l'information. Les deux formes courantes de modulation analogique sont la modulation d'amplitude (AM) et la modulation de fréquence (FM) qui est une forme spécifique de modulation d'angle plus générale.

Dans les transmissions radio commerciales, la bande 525 kHz à 1715 kHz est utilisée pour les transmissions AM et la bande 87,8 MHz – 108 MHz est utilisée pour les transmissions FM. Un canal AM a une largeur de 10 kHz et un canal FM a une largeur de 0,2 MHz. Les systèmes radio commerciaux ont adopté les noms des schémas de modulation qu'ils emploient, mais il existe d'autres systèmes qui utilisent également la modulation d'amplitude et de fréquence [2].

I.2.1 Modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude (AM : Amplitude Modulation) est la modulation la plus simple. En effet, elle consiste à multiplier le modulant par la porteuse elle-même.

La multiplication d'un signal le modulant (basse fréquence) par le signal de la porteuse (haute fréquence) correspond à une simple translation du spectre du modulant autour de la fréquence porteuse.

Parmi les types de modulation d'amplitude, il y a :

- la modulation à bande latérale double avec porteuse (AM ou DSB-TC : Double Side Band Transmitted Carrier),
- la modulation à bande latérale double sans porteuse (DSB-SC : Double Side Band Suppressed Carrier).
- la modulation à bande latérale unique (SSB : Single Side Band).

I.2.1.1 Modulation d'amplitude à bande latérale double avec porteuse

Un signal $S_{AM}(t)$ (courant ou tension) modulé en amplitude est un signal constitué par une porteuse sinusoïdale de fréquence f_c dont l'amplitude A_c est modifiée suivant une loi linéaire par le signal informatif $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$.

Si nous prenons le cas d'un signal modulant sinusoïdal, l'expression de $S_{AM}(t)$ est:

$$S_{AM}(t) = A_c [1 + k m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

$$S_{AM}(t) = A_c [1 + k A_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

Où K est le facteur de proportionnalité du modulateur. K est parfois appelé sensibilité du modulateur.

Dans la situation normale de la modulation d'amplitude, la fréquence porteuse est beaucoup plus grande que la fréquence maximale de la bande de base (la fréquence du signal modulant);

La modulation correspond donc à une variation lente de l'amplitude instantanée. La constante $K.A_m$ est appelée indice de modulation.

L'indice de modulation (ou taux de modulation, ou profondeur de modulation) d'amplitude est la mesure de la variation d'amplitude par rapport à l'amplitude de la porteuse non modulée.

On le définit par :

$$m = K.A_m \quad (4)$$

Où A_m est l'amplitude maximale du signal modulant.

L'indice de modulation d'amplitude est normalement compris entre 0 et 1 (autrement dit entre 0 % et 100 %) pour éviter le phénomène de surmodulation.

La figure 2 montre le signal modulant, le signal de la porteuse et le signal AM à bande latérale double avec porteuse.

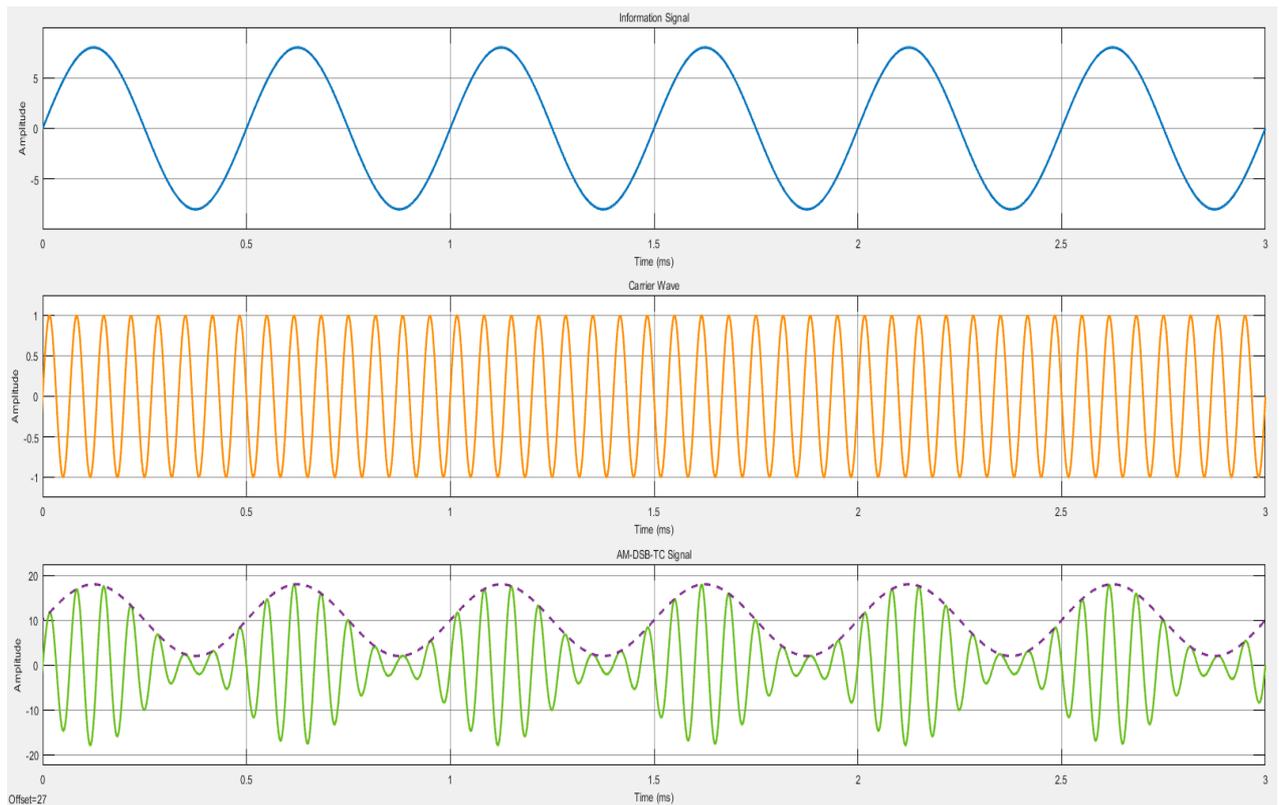


Figure 2: Signal AM (à bande latérale double) avec porteuse [inspiré de TP MATLAB].

I.2.1.2 Modulation d'amplitude à bande latérale double sans porteuse

Dans la modulation d'amplitude à bande latérale double (à porteuse supprimée), Le signal modulé $S_{DSB}(t)$ est obtenu en multipliant le message $m(t)$ avec la porteuse $C(t)$ (Figure 3).

La modulation d'amplitude à double bande avec porteuse présente l'inconvénient de transporter la plus grande partie de son énergie dans la porteuse, or l'information utile se trouve contenue dans les bandes latérales. Une première solution moins gourmande en énergie consiste à supprimer la porteuse lors de l'émission [2]. On aura affaire à une modulation double bande sans porteuse (DSB ou Double Side Band) dont l'expression est donnée par :

$$S_{DSB}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (5)$$

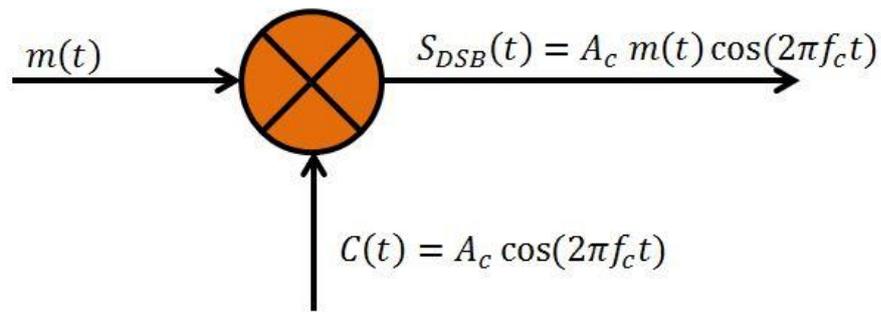


Figure 3: Modulateur d'amplitude à bande latérale double sans porteuse (DSB-SC) [4].

La figure 4 montre les signaux : modulant, porteuse, AM à bande latérale double avec porteuse supprimée.

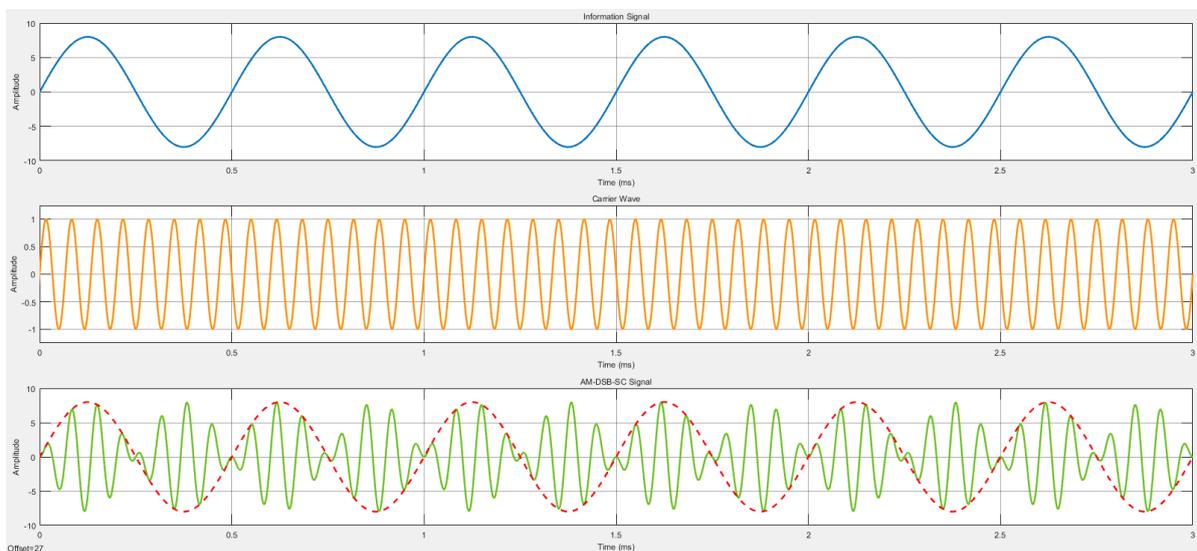


Figure 4 : Signal AM (à bande latérale double) sans porteuse [inspiré de TP MATLAB].

I.2.1.3 Modulation d'amplitude à bande latérale unique

Modulation d'amplitude à bande latérale unique (BLU), appelée en anglais "Single Side band modulation" ou SSB (figure 5), l'onde modulée est constituée seulement de la bande latérale supérieure ou inférieure. Ce type de modulation est particulièrement utilisé dans la transmission de signaux vocaux du fait qu'il existe un creux dans le spectre de la voix entre zéro et quelques centaines de [Hz]. Elle constitue de plus une forme optimale de modulation d'amplitude car elle minimise la puissance du signal modulé et la bande de transmission.

Dans une émission à modulation d'amplitude idéale modulée à 100 %, la porteuse utilise 50 % de l'énergie émise, et chaque bande latérale 25 %, et le spectre occupé est d'environ deux fois le spectre de la modulation à BLU, or une seule bande latérale permettrait de restituer la modulation. C'est ce que l'on fait en BLU.

Une émission BLU doit être démodulée en multipliant le signal reçu par un signal sinusoïdal remplaçant la porteuse manquante. Cette porteuse recrée localement doit être exactement en phase avec la porteuse d'origine pour une restitution fidèle.

Il existe deux types de modulation BLU, selon la bande latérale supprimée : en mode BLI (bande latérale inférieure, en anglais lower side band, LSB) c'est la bande inférieure qui est émise, alors qu'en BLS (bande latérale supérieure, en anglais upper side band, USB), c'est la bande supérieure qui est émise [3].

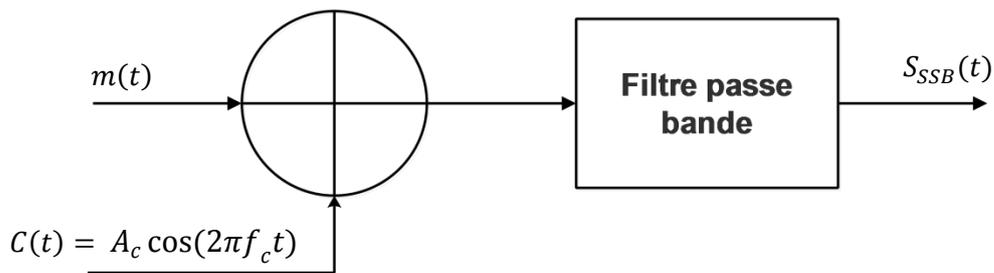


Figure 5: Principe d'une modulation à bande latérale unique [5].

La figure 6 montre les signaux : modulant, porteuse, bande latérale supérieure et bande latérale inférieure.

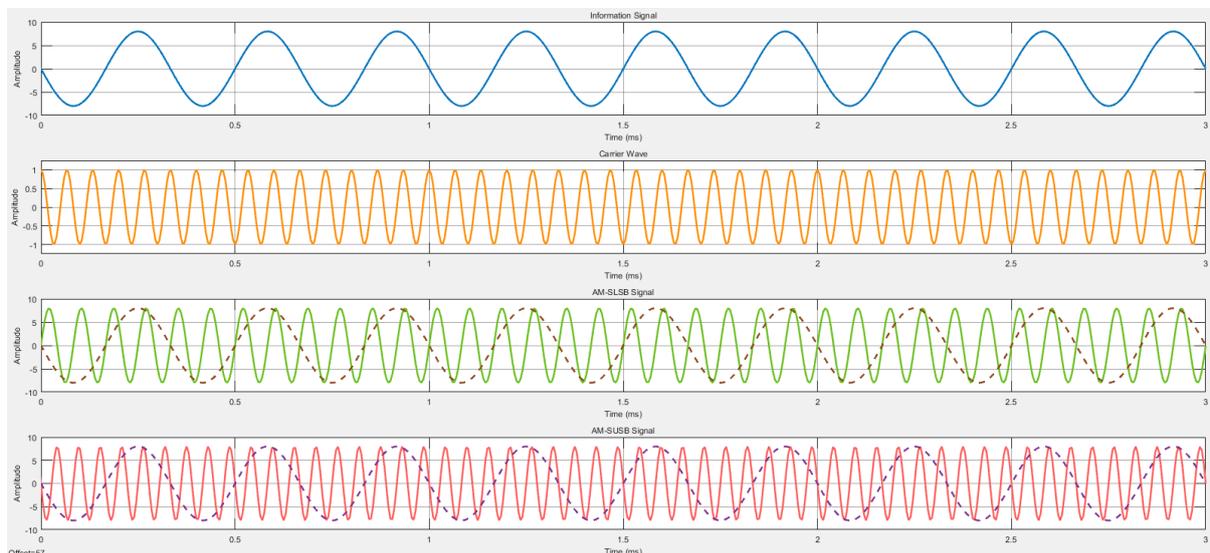


Figure 6 : Signal AM à bande latérale unique [inspiré de TP MATLAB].

I.3 Modulation de fréquence

I.3.1 Principe de la Modulation de fréquence

La modulation de fréquence est une forme de modulation d'angle analogique dans laquelle le signal d'informations en bande de base, généralement appelé message $m(t)$, fait varier la fréquence d'une onde porteuse (figure 7).

L'intérêt principal de ce procédé résulte du fait que les parasites atmosphériques, qui provoquent une forte modulation d'amplitude par l'intermédiaire d'une atténuation variable dans le temps, ne provoquent qu'une faible déviation (modulation) de la fréquence. Un signal FM est donc plus robuste au bruit lors de la transmission par voie hertzienne qu'un signal AM.

Les signaux audio transmis par les communications radio FM sont les plus courants. Cependant, la radio FM peut également transmettre des données numériques avec les informations numériques à faible bande passante. Connu sous le nom de Radio Data System (RDS) en Europe et Radio Broadcast Data System (RBDS) [6].

L'expression du signal FM, que l'on dénote par $S_{FM}(t)$, s'exprime comme suit :

$$S_{FM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau) \quad (6)$$

K_f est la sensibilité du modulateur et elle s'exprime en Hz.V^{-1} .

La fréquence instantanée f_i est commandée par le signal modulant $m(t)$ autour d'une porteuse f_c :

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t) \quad (7)$$

On passe aisément de la fréquence à la pulsation instantanée :

$$w_i(t) = 2\pi f_c + 2\pi k_f m(t) \quad (8)$$

Supposons que le signal modulant $m(t)$ est sinusoïdal de fréquence f_m :

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (9)$$

Le signal modulé en fréquence $S_{FM}(t)$ est alors :

$$S_{FM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t A_m \cos(2\pi f_m \tau) d\tau) \quad (10)$$

$$\text{Avec : } \int_0^t \cos(2\pi f_m \tau) d\tau = \frac{A_m}{2\pi f_m} \sin(2\pi f_m t)$$

$$S_{FM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{A_m k_f}{f_m} \sin(2\pi f_m t)) \quad (11)$$

Si on admet que le signal modulant ne dépasse pas l'amplitude maximale A_m en valeur absolue, alors la fréquence de la porteuse varie entre:

$$f_{min} = f_c - k \cdot A_m \quad \text{et} \quad f_{max} = f_c + k \cdot A_m$$

La quantité $k \cdot A_m$ est appelée excursion en fréquence, notée Δf .

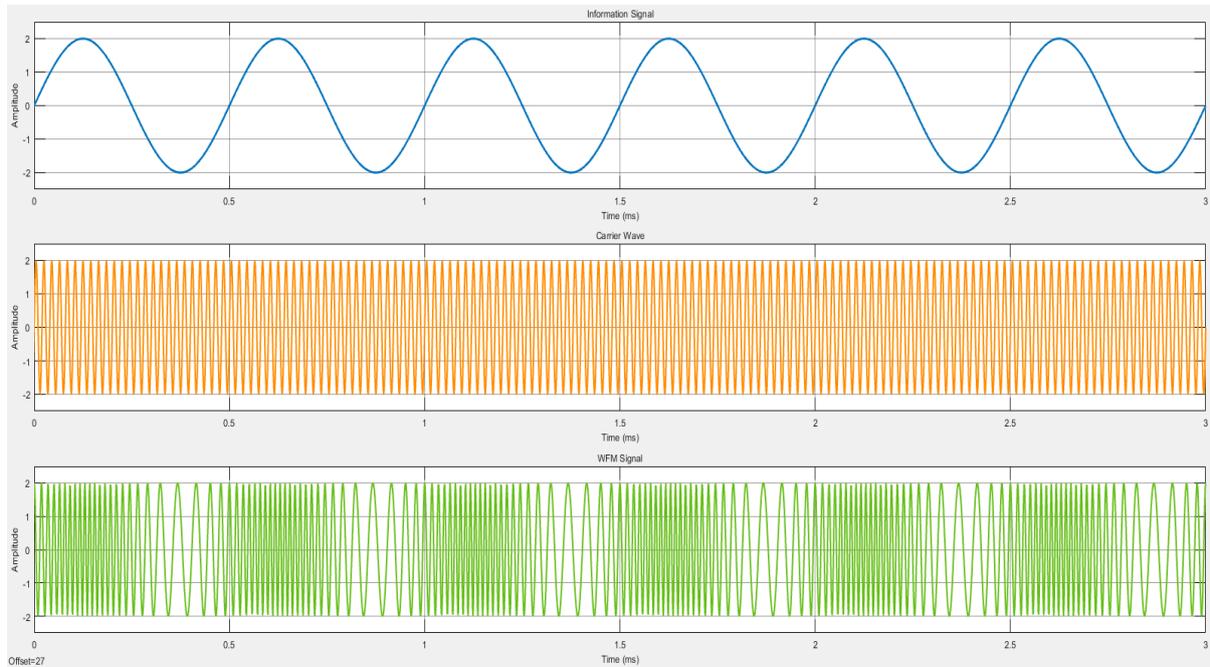


Figure 7: Représentation temporelle du signal modulé en fréquence [inspiré de TP MATLAB].

I.4 Modulation de Phase

La modulation de phase (PM) est très similaire à la modulation de fréquence (FM). Cependant, dans la modulation de phase, la tension instantanée du signal modulant fait varier la Phase du signal modulé (figure 8).

Dans le cas de la PM, La phase instantanée du signal modulé varie linéairement en fonction du signal informatif $m(t)$:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \phi(t) \quad (12)$$

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + k_p m(t) \quad (13)$$

Le signal modulé en phase, que l'on identifie par $S_{PM}(t)$ s'écrit de la manière suivante :

$$S_{PM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + k_p m(t)) \quad (14)$$

Un signal modulé en phase $S_{PM}(t)$ par une sinusoïde pure aura dans le temps l'allure montrée en figure 8.

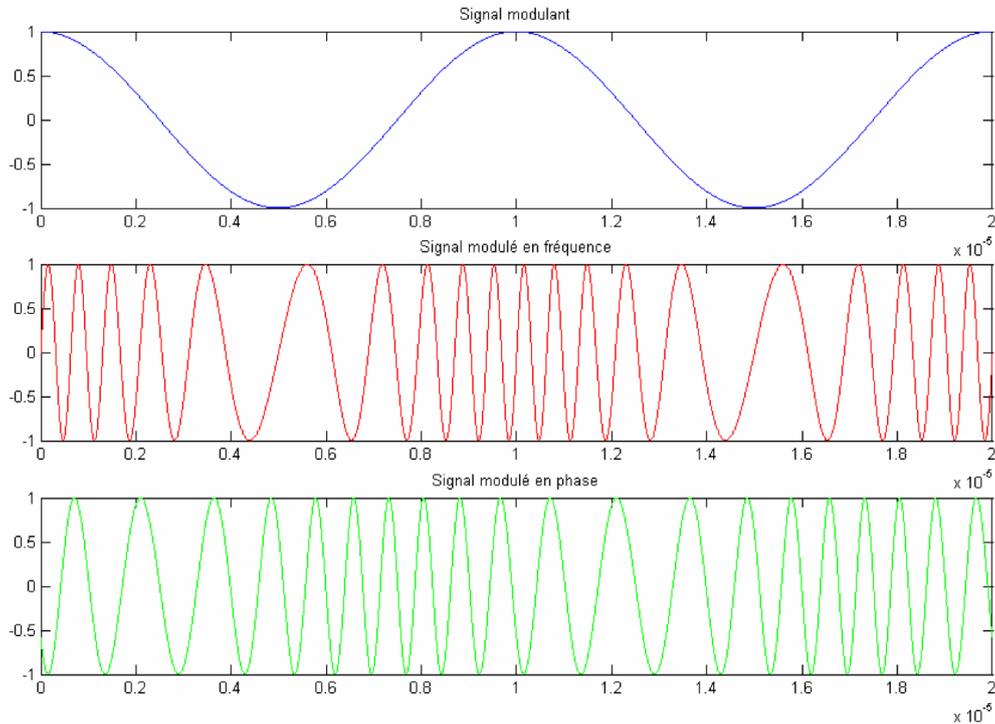


Figure 8: Modulations FM et PM, cas d'un modulant sinusoïdal [6].

I.5 Conclusion

L'importance d'une modulation est de pouvoir transmettre avec une qualité appréciable un signal analogique. La modulation devra s'adapter au canal de transmission. Le choix de la modulation portera sur le type de modulation à prendre en fonction de l'application et le canal dédié.

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de modulation analogiques, et la représentation mathématique des signaux modulés en AM, FM et PM.

Le chapitre suivant aborde directement notre plateforme de simulation des types de modulation sus-cités en tenant compte des langages et outils présentés en annexe

CHAPITRE II

PLATEFORME DE SIMULATION DES TECHNIQUES DE MODULATION BASEE SUR LE WEB

II.1 Introduction

L'objectif de la réalisation de cette plateforme est de permettre aux étudiants spécialement les télécomiens de simuler les modulations analogiques où l'utilisation de cette plateforme ne dépend pas de leurs lieux ou leurs appareils.

Ce chapitre est consacré à la réalisation et la mise en œuvre de notre plateforme web de simulations des techniques de modulation analogique (AM, FM et PM), nous allons présenter l'interface et le principe de fonctionnement de notre plateforme et l'algorithme pour chaque type de modulation.

II.2 Présentation de la plateforme

L'interface de notre plateforme web montrée dans la figure 9, est divisée en trois sections principales :

- ✓ la première section est la section d'identification dédiée à **la navbar** (la barre ou bien la zone de navigation pour avoir une navigation facile à utiliser est important pour tout site web).
C'est la partie supérieure de la plateforme en couleur noire ; c'est un lien de navigation qui nous permet l'accès et l'exploitation des ressources de la plateforme. Elle est constituée par les éléments suivants :
 - ✚ **Home** : l'espace qui fournit l'interface pour la manipulation de la plateforme.
 - ✚ **About Us** : l'espace dédié à l'organisme qui détient les droits sur la plateforme et aussi la version.
 - ✚ **Contact** : l'espace de lieu des coordonnées de contact des créateurs de la plateforme
 - ✚ **Sing IN** : bouton dédié à l'ouverture d'une session.

- ✓ La deuxième section est la section des paramètres de la simulation, qui se trouve à gauche de l'affichage, où l'utilisateur peut configurer les caractéristiques de signal de message de la porteuse, elle contient les éléments suivants :
 - ✚ **Message signal** : c'est l'espace du signal modulant dans lequel elle est indiquée son amplitude et sa fréquence.
 - ✚ **Carrier wave** : c'est le signal porteur du message HF dans lequel elle est indiquée son amplitude et sa fréquence.
 - ✚ **Sampling frequency** : où on peut ajuster la fréquence des échantillons, pour la simulation.
 - ✚ **Modulation** : où on peut choisir le type de modulation (AM, FM ou PM).
 - ✚ **Bouton Run** : pour démarrer la simulation et de générer le signal de la modulation désiré.
 - ✚ **Bouton Reset** : la mise à zéro de tous les paramètres dans le but d'une nouvelle utilisation.

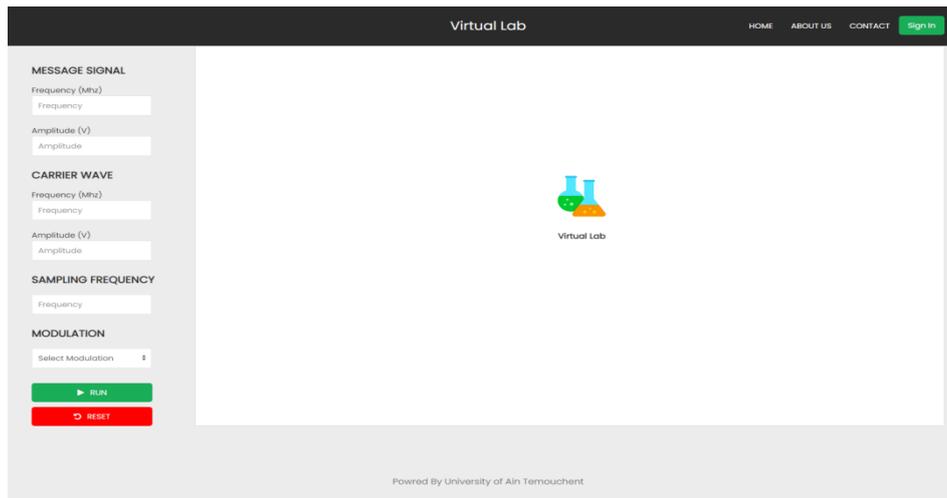


Figure 9: l'interface de notre plateforme.

- ✓ La troisième section est la section d'affichage des signaux, dédiée à l'affichage des graphes (signal modulant, signal porteuse et le signal modulé). La figure 10 montre les trois sections.

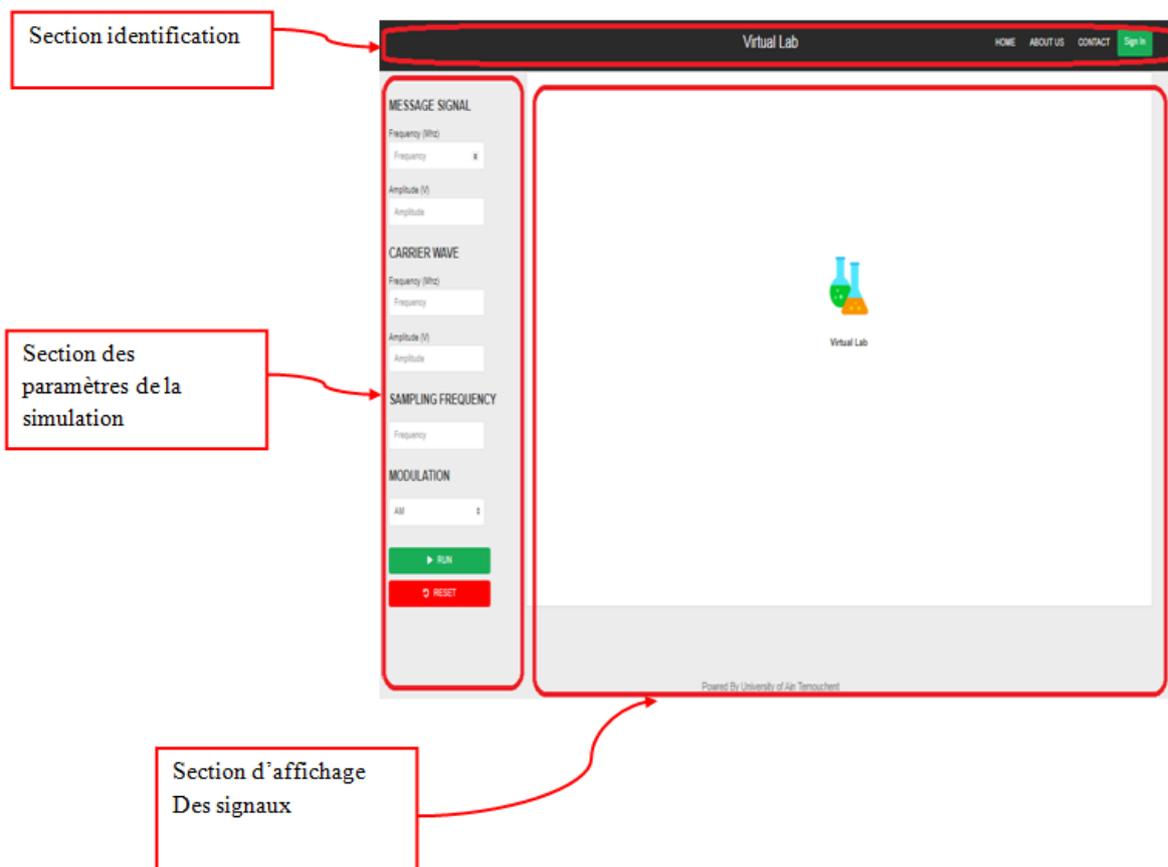


Figure 10: les sections principales de la plateforme.

La figure 11 montre les options fournies par notre application pour analyser les caractéristiques du signal.

Ce sont des outils supplémentaires fournis avec notre plateforme, servant à :

1. Sauvegarder le résultat en format image
2. Zoomer le graphe pour qu'il soit plus clair et lisible.
3. Rendre la plateforme en plein écran.
4. Zoom in (plus proche)
5. Zoom out (plus loin).
6. Rendre à l'échelle automatique.
7. Interface initiale de la plateforme.
8. Réinitialisation des axes (amplitude, fréquence).
9. Afficher les graphes en cascade dans le but de la comparaison.

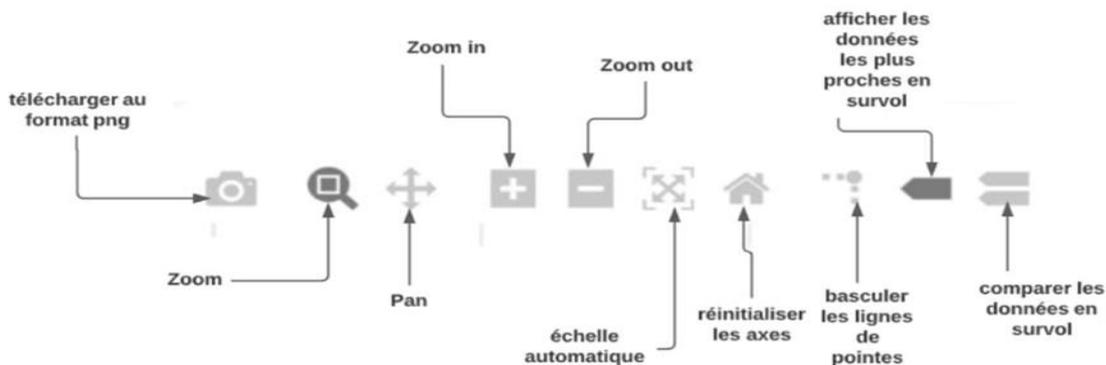


Figure 11: Options Fournies par Notre application.

II.3 Production d'un signal Modulant

Afin de simuler un type de modulation analogique AM, FM ou PM, l'utilisateur doit tout d'abord générer un signal d'information ou modulant. Par exemple, si le signal de l'information est un signal sinusoïdal $m(t)$, l'équation mathématique sera :

$$m(t) = A_m \sin(2\pi f_m t) \quad (15)$$

Pour simuler ce signal l'utilisateur doit donner les paramètres du signal, la fréquence et l'amplitude, par la suite notre application va générer un signal sinusoïdal suivant ces paramètres. L'algorithme qui décrit la succession d'opérations exécutées pour produire le signal modulant est montré dans la figure 12.

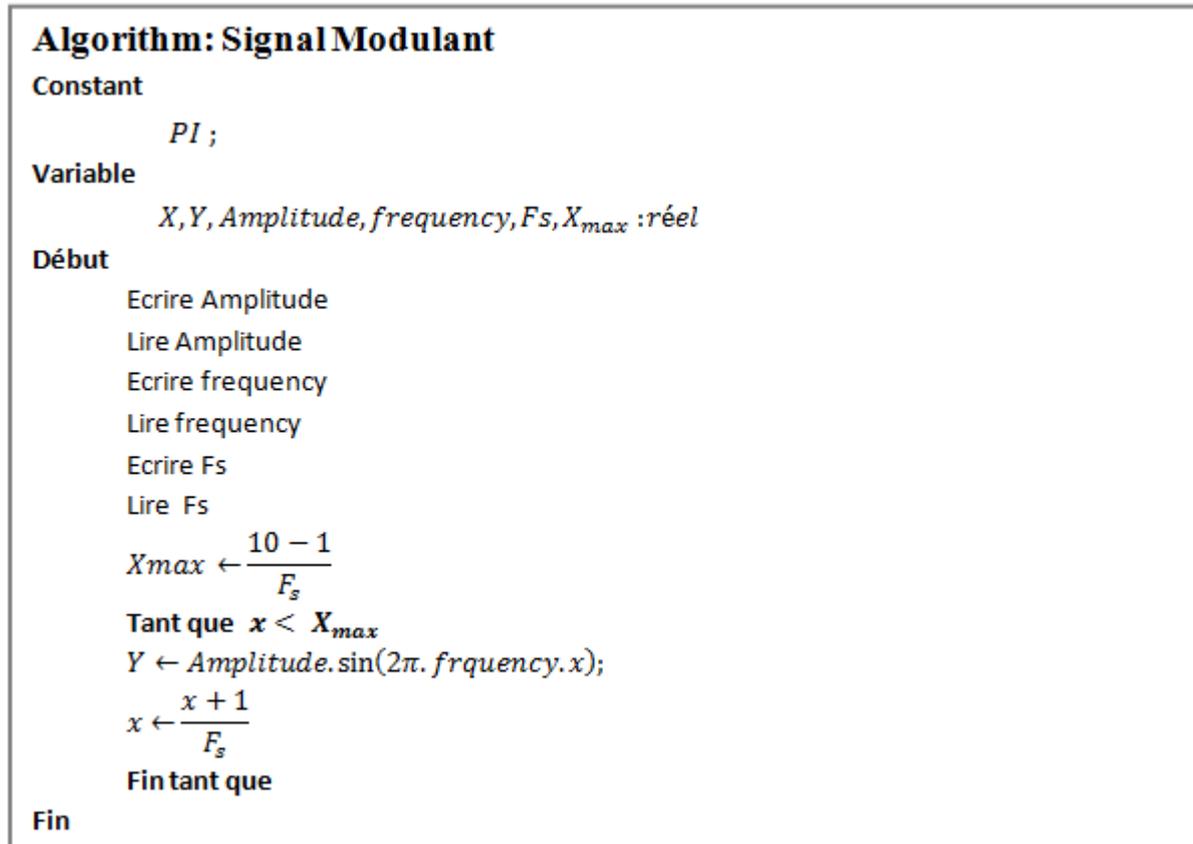


Figure 12: Algorithme générant le signal modulant.

Où X : axe des abscisses, représentant le temps.

Y : axe des ordonnées, représentant l'amplitude du signal.

Amplitude : amplitude du signal modulant.

Fréquence : fréquence du signal modulant.

F_s : fréquence des échantillonnages jusqu'à atteindre le tracé d'un signal modulant.

x_{max} : valeur maximale pour tracer le signal dans l'axe du temps, dans notre cas c'est 10s.

La figure 13 montre un signal sinusoïdal généré avec les paramètres suivants :

- L'amplitude = 1V,

- La fréquence = 1HZ,
- La fréquence d'échantillonnage =160

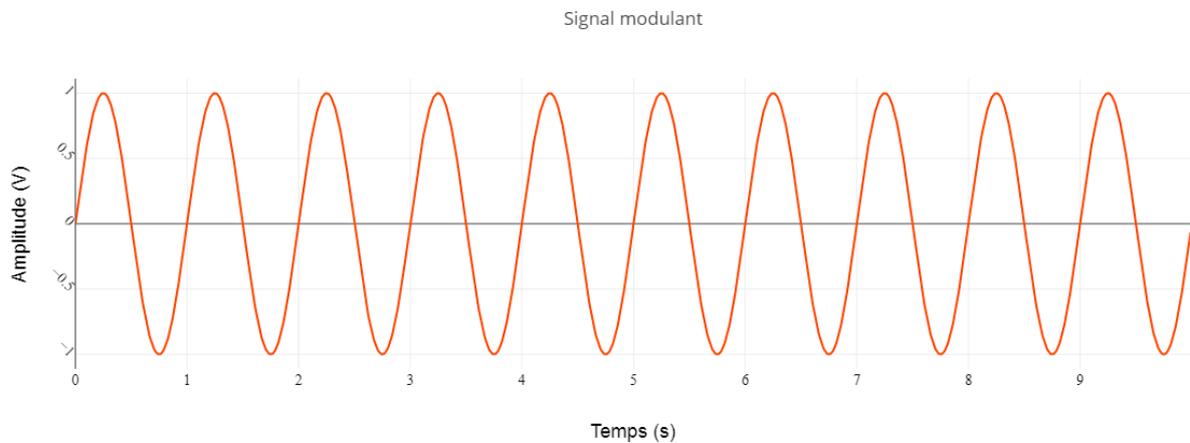


Figure 13: Signal Modulant.

II.4 Production de signal de la porteuse

La porteuse est une onde sinusoïdale, qui verra un de ses paramètres (amplitude, fréquence ou phase) être modifié par le signal modulant. Le paramètre qui varie définit le type de modulation. L'équation mathématique sera :

$$C(t) = A_C \sin(2\pi f_c t) \quad (16)$$

Comme le signal modulant, pour simuler le signal de la porteuse l'utilisateur doit donner les paramètres du signal, la fréquence et l'amplitude, par la suite notre application va générer un signal sinusoïdal suivant ces paramètres. L'algorithme qui décrit la succession d'opérations exécutées pour produire ce signal est montré dans la figure 14.

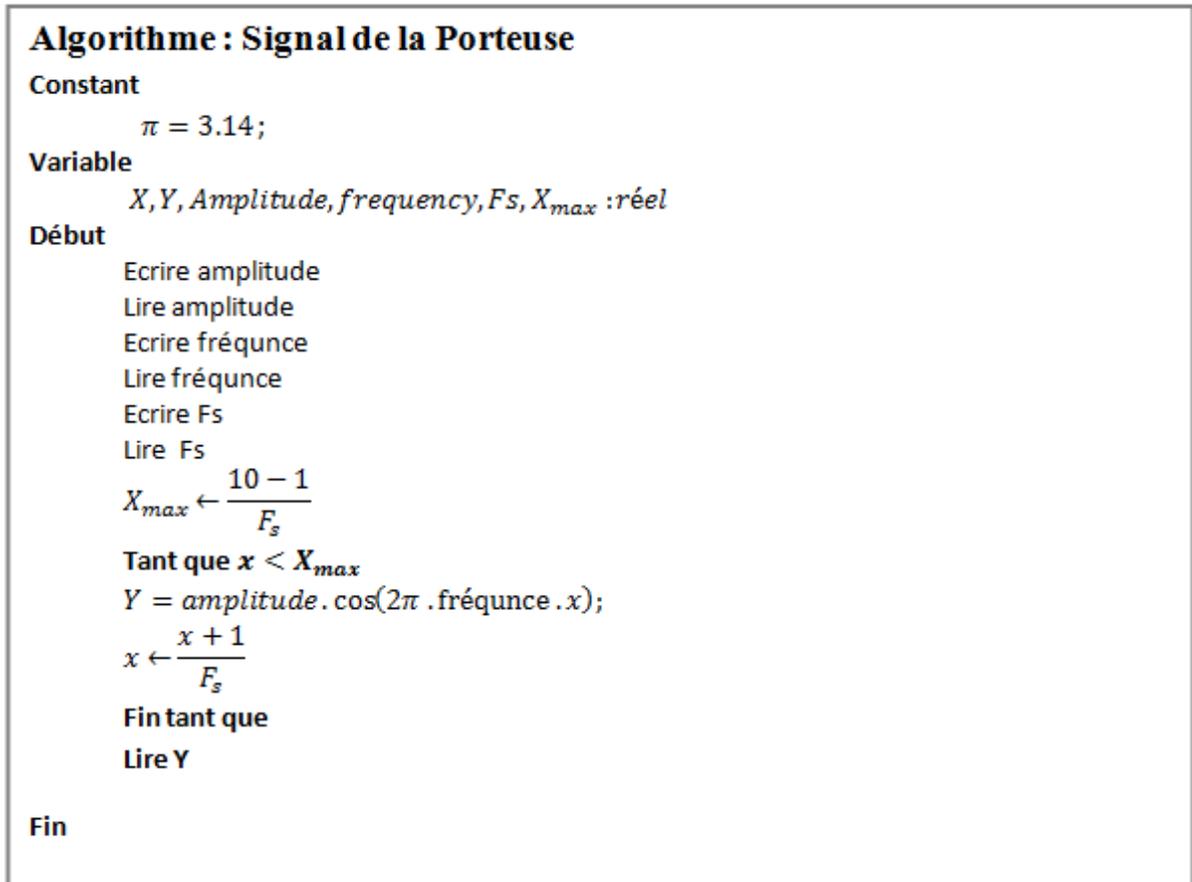


Figure 14: Algorithme générant le signal de la porteuse.

Où X : axe des abscisses, représentant le temps.

Y : axe des ordonnées, représentant l'amplitude du signal.

Amplitude : amplitude du signal de la porteuse.

Fréquence : fréquence du signal de la porteuse.

F_s : fréquence des échantillonnages jusqu'à atteindre le tracé d'un signal porteur.

x_{max} : valeur maximale pour tracer le signal dans l'axe du temps, dans notre cas c'est 10s.

La figure 15 montre un signal de la porteuse généré avec les paramètres suivants :

- L'amplitude = 1V,
- La fréquence = 10Mhz,
- La fréquence d'échantillonnage = 160

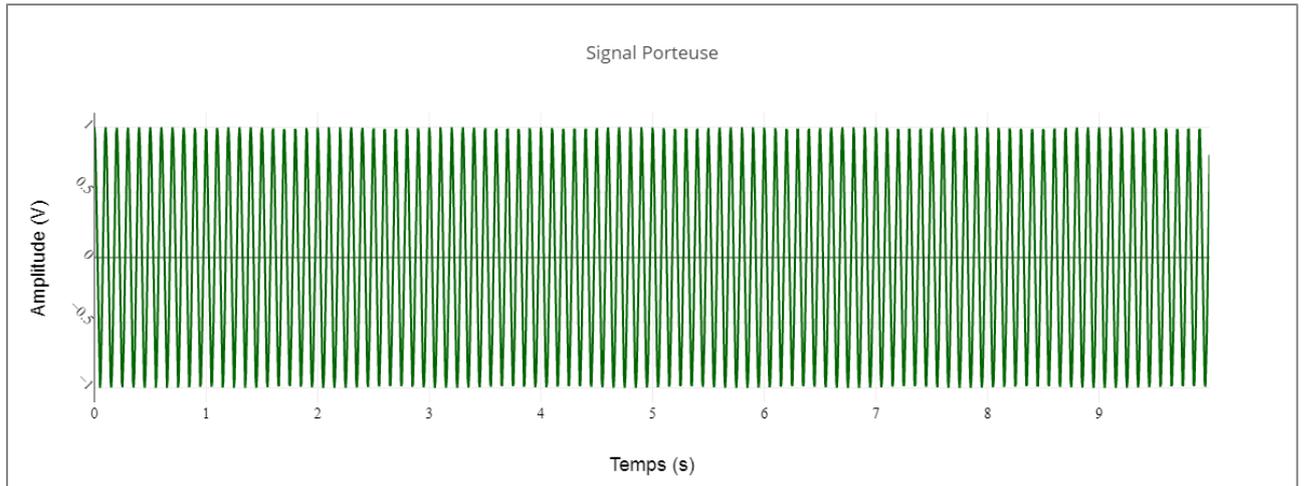


Figure 15: Signal de la porteuse.

II.5 Production de signal AM

La modulation d'amplitude (AM) consiste à modifier l'amplitude de la porteuse par une fonction linéaire ($y = Ax + b$) du signal à transmettre (Voire la section I.2.1).

Pour un signal modulant sinusoïdal, l'expression du signal AM $S_{AM}(t)$ est:

$$S_{AM}(t) = A_c[1 + k m(t)]\cos(2\pi f_c t) \quad (17)$$

Dans notre plateforme pour aboutir à une modulation **AM** l'utilisateur est censé insérer les paramètres suivants : L'amplitude et la fréquence du signal modulant, l'amplitude et la fréquence porteuse du signal porteur, et puis il suffit de cliquer sur le bouton Run pour simuler la modulation AM.

L'algorithme pour générer le signal est montré dans la figure 16.

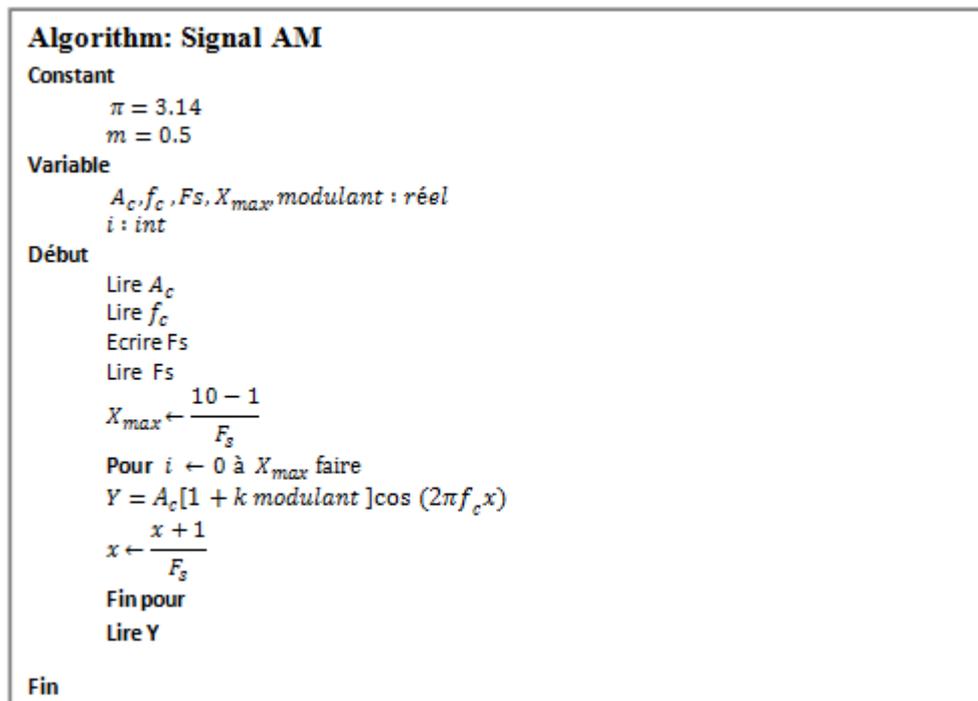


Figure 16: Algorithme générant le signal AM.

Où X : axe des abscisses, représentant le temps.

Y : Axe des ordonnées, représentant l'amplitude du signal AM.

m : Indice de modulation.

x_{max} : Valeur maximale pour tracer le signal dans l'axe du temps, dans notre cas c'est 10s.

A_c : Amplitude du signal porteur.

f_c : Fréquence porteuse du signal porteur.

modulant : Signal modulant.

La figure 17 montre un signal d'une modulation analogique AM généré avec les paramètres suivants :

- L'amplitude du signal modulant = 1v,
- La fréquence du signal modulant = 1hz,
- L'amplitude de la porteuse = 2v,
- La fréquence du signal porteuse = 20Mhz,
- La fréquence d'échantillonnage = 1600 MHz.

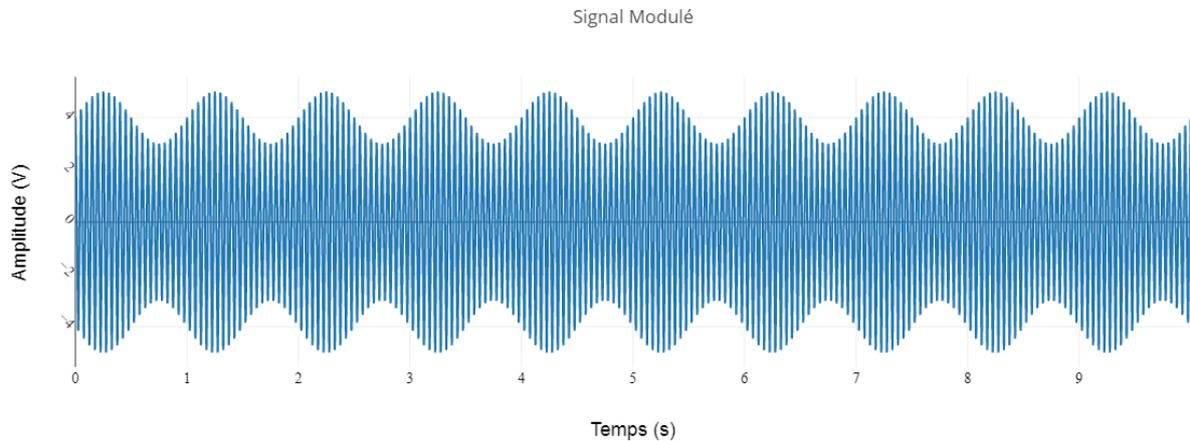


Figure 17: Signal AM généré par notre application.

II.6 Production de signal FM

Une modulation angulaire est une modulation pour laquelle on modifie la phase de la porteuse. Ainsi, la modulation de fréquence et de phase sont deux types de modulations angulaires.

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. L'expression du signal FM, que l'on dénote par $S_{FM}(t)$, s'exprime comme suit :

$$S_{FM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau) \quad (18)$$

L'utilisateur doit introduire les valeurs de l'amplitude et la fréquence du signal modulant et l'amplitude et la fréquence porteuse du signal porteur. L'algorithme pour générer le signal est montré dans la figure 18.

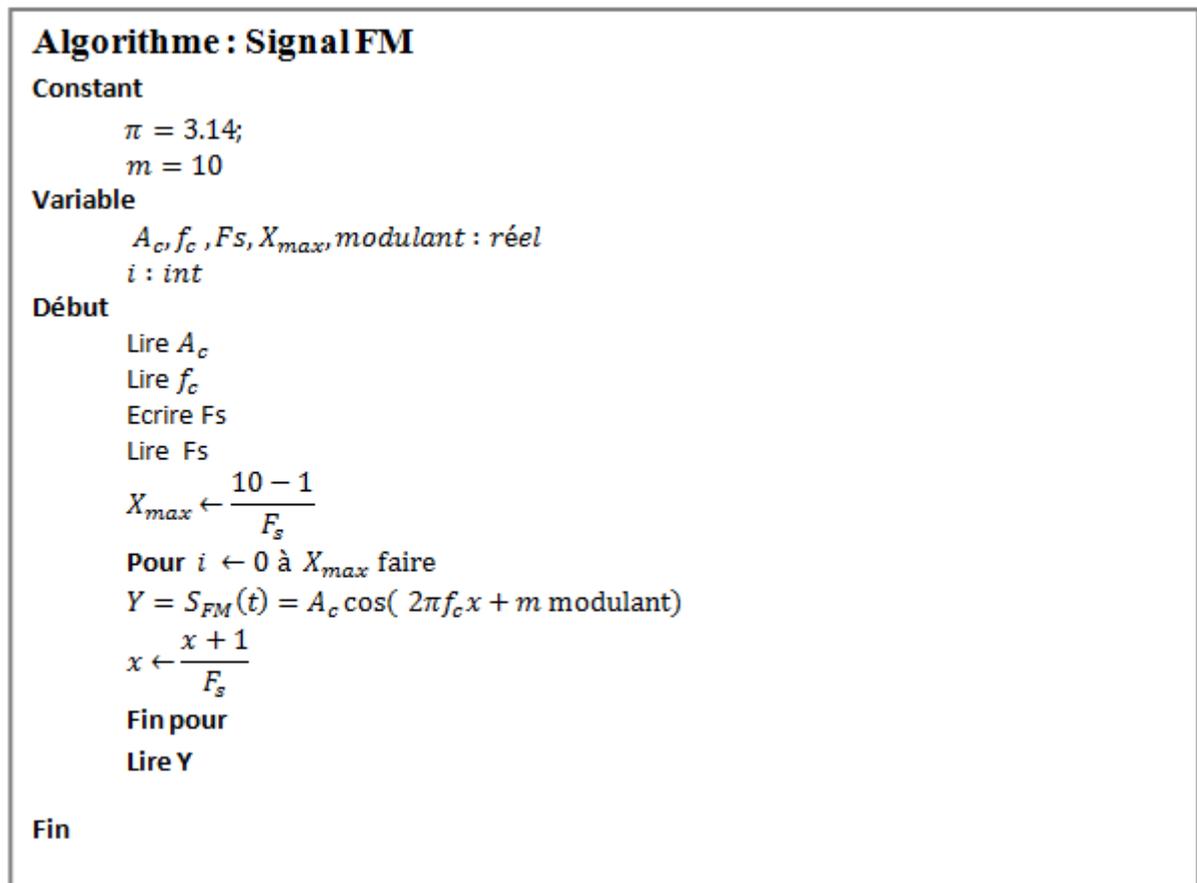


Figure 18: Algorithme générant le signal FM.

Où X : axe des abscisses, représentant le temps.

Y : Axe des ordonnées, représentant l'amplitude du signal AM.

m : Indice de modulation.

x_{max} : Valeur maximale pour tracer le signal dans l'axe du temps, dans notre cas c'est 10s.

A_c : Amplitude du signal porteur.

f_c : Fréquence porteuse du signal porteur.

modulant : Signal modulant.

La figure 19 montre un signal d'une modulation analogique FM généré avec les paramètres suivants :

- L'amplitude du signal modulant = 1v,
- La fréquence du signal modulant = 1Mhz,
- L'amplitude de la porteuse = 2v,
- La fréquence du signal porteuse = 20Mhz,

- La fréquence d'échantillonnage = 1600 Mhz.

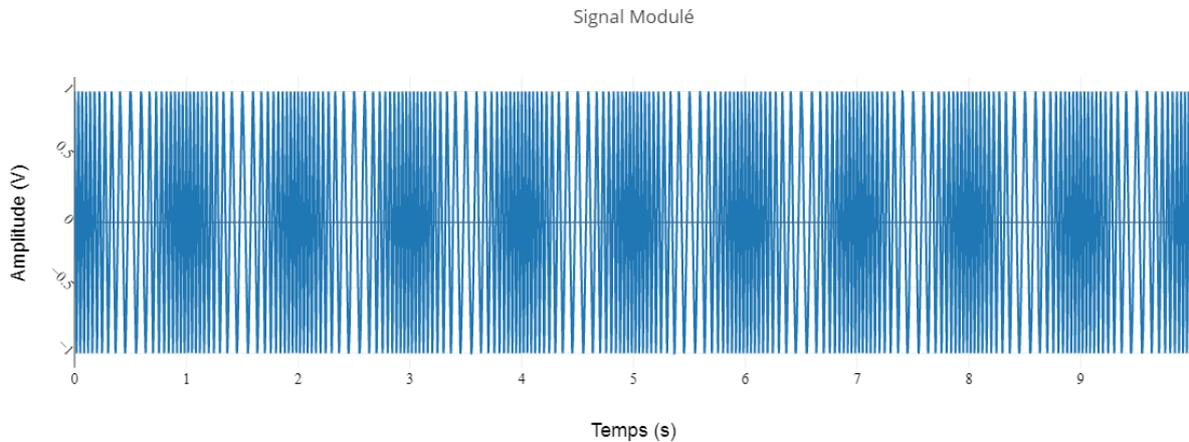


Figure 19: Signal FM généré par notre application.

II.7 Production de signal PM

La modulation de phase (PM) est très similaire à la modulation de fréquence (FM). Pour une modulation de phase, c'est la phase instantanée qui varie linéairement en fonction du signal modulant. Nous avons vu que la différence entre la FM et la PM se situe sur la dérivation du signal modulant. Les propriétés étudiées en FM sont identiques à celles en PM.

II.8 Perspectives

Les perspectives envisageables en prolongement direct de ce travail concernent les points suivants :

- L'ajout de la modulation à double bande sans porteuse,
- L'ajout de la modulation à bande latérale unique,
- La simulation des autres types de modulation numérique,
- La création d'un espace pour les utilisateurs pour sauvegarder leurs travaux dans le Cloud [16].

II.9 Conclusion

Ce chapitre présente une plate-forme Web pour la simulation des modulations analogiques (AM, FM et PM). La conception de la plate-forme est générique et destinée à répondre aux exigences communes des scénarios de simulations. Dans la mise en œuvre de la plate-forme, des techniques Web, HTML5, CSS3 et JavaScript sont utilisées (voir annexe).

Quand notre plateforme sera hébergée dans un serveur Web (par exemple un serveur web qui est installé dans un laboratoire informatique au niveau de notre université) sous un nom de domaine ou bien une adresse IP bien précisée, l'utilisateur peut accéder à la plateforme via une page Web, ce qui signifie que la plateforme est accessible de n'importe où avec une connexion Internet. La plateforme sert plusieurs utilisateurs simultanément.

CONCLUSION GENERALE

Bien que la simulation basée sur le Web présente des avantages évidents et soit un concept discuté dans la communauté de recherche en simulation depuis 15 ans [17], et ait considérablement développé ces dernières années ; à ce jour, il existe très peu d'applications réelles qui intègrent des simulations sur des plateformes Web [17]. Comme il n'y a pas assez d'études pour intégrer et améliorer les plateformes de simulation en ligne. Cette étude vise à contribuer à combler cette lacune et soutenir le nombre modeste de plateformes de simulation existantes en la matière, en présentant une nouvelle plateforme Web pour la simulation.

Dans ce projet de fin d'étude nous avons développé une application de simulation multiutilisateur dédiée à la communauté des étudiants, suffisamment visuelle et intuitive pour être accessible aux utilisateurs sans expérience en programmation informatique. La plateforme intègre en un seul écran d'interface les paramètres de base de construction des types de modulation analogique.

Après avoir comparé les résultats obtenus à partir de notre plateforme, nous avons constaté la convergence de nos résultats avec ceux obtenus par le logiciel Matlab.

La technologie du web (HTML, CSS, JAVASCRIPT) abordée en annexe, nous a permis la réalisation d'une plateforme pour effectuer des travaux pratiques à usage pédagogique. La plateforme que nous avons réalisé reste dans les normes des outils pédagogiques et permet aux étudiants et les utilisateurs en général d'effectuer leur TP en ligne sans prendre en compte le lieu et le temps.

Néanmoins, ce projet peut et doit être amélioré par l'ajout d'autres fonctionnalités telles que d'autre type de modulation : bande latérale unique (BLU), AM à double bande sans porteuse et d'autres types de modulation numériques (FSK, PSK, etc).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DESMOULIERE Jean-Baptiste CHEVILLARD Christophe, "La modulation de signaux analogiques et la boucle à verrouillage de phase dans les télécommunications", Université de Technologie de Belfort Montbéliard, 2004.
- [2] Van Droogenbroeck, Marc. "Principes des télécommunications analogiques et numériques." (2008).
- [3] P.Poulichet, "Modulation analogique en amplitude et en fréquence" , (école)ESIEE, Mars(2010).
- [4] Claude Gimènès, Communications analogiques, disponible sur : <https://claude-gimenes.fr/signal/communications-analogiques/-ii-modulation-d-amplitude>.
- [5] Der, Lawrence. "Frequency modulation (fm) tutorial." *Silicon Laboratories Inc* (2008).
- [6] Marie Frénéa, Caractéristiques des récepteurs, (école)ENS Cachan – Antenne de Bretagne, 2004.
- [7] , "Un mix de web, d'éducation et de traditions" , Le forum du matin L'école du web.
- [8] Spiros, Mancoridis, "Introduction to the Hyper Text markup language (HTML) ".
- [9] Mathieu Nebra, "Apprenez à créer votre site web avec HTML5 et CSS3", openclassroom, 2021-22/03/2021-.
- [10] futura-sciences "CSS : qu'est-ce que c'est", disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-css-4050-22/03/2021->.
- [11] La petite histoire du CSS , disponible sur : -24/03/2021-
https://yard.onl/sitelycee/cours/html5css3/_debut.html?LapetitehistoireduCSS.html.
- [12] Axel Rauschmayer, " JavaScript for impatient programmers", ISBN 978-1-09-121009-7, 2021.
- [13] Olivier Hondermarck , "TOUT JavaScript Maîtrisez les bases de la programmation JavaScript Démarrez avec les frameworks Node.js, React, Angular". ISBN 978-2-10-080759-8, 2019.
- [14] Khanacademy, "Qu'est-ce qu'une bibliothèque JS" disponible sur : <https://fr.khanacademy.org/computing/computer-programming/html-css-js/using-js-libraries-in-your-webpage/a/whats-a-js-library-01/04/2021->

- [15] Plotly JavaScript Open Source Graphing Library , disponible sur : <https://plotly.com/javascript/-03/04/2021->.
- [16] CloudFrae, “What is the cloud”, disponible sur : <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>.
- [17] Byrne, J., Heavey, C., & Byrne, P. J. (2010). A review of web-based simulation and supporting tools. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(3), 253–276.
- [18] Aghaei, Sareh, Mohammad Ali Nematbakhsh, and Hadi Khosravi Farsani. "Evolution of the world wide web: From WEB 1.0 TO WEB 4.0." *International Journal of Web & Semantic Technology* 3.1 (2012): 1-10.
- [19] https://developer.mozilla.org/fr/docs/Learn/JavaScript/Client-side_web_APIs/Introduction 23/07/2021 à 22h:20.
- [20] MLA Watt, Andrew, and Chris Lilley. *SVG unleashed*. Sams Publishing, 2002.

Annexe

A.1 Introduction

Le World Wide Web (WWW), littéralement la « toile (d'araignée) à l'échelle mondiale », communément appelé le Web, et parfois la Toile, est un système hypertexte public fonctionnant sur Internet. Le Web permet de consulter, avec un navigateur, des pages accessibles sur des sites. L'image de la toile d'araignée vient des hyperliens qui lient les pages web entre elles.

Le Web n'est qu'une des applications d'Internet, distincte d'autres applications comme le courrier électronique, la messagerie instantanée et le partage de fichiers en pair à pair. Le Web a été inventé au CERN à Genève par Tim Berners-Lee et le Belge Robert Cailliau plusieurs années après Internet.

Le World Wide Web (WWW) permet aux gens de partager les informations (données) des grands référentiels de bases de données dans le monde. La quantité d'informations fait croître des milliards de bases de données. Nous besoin de rechercher l'information se spécialisera des outils connus génériquement moteur de recherche. Il y a de nombreux moteurs de recherche disponibles aujourd'hui, il est difficile de récupérer des informations significatives. Cependant pour surmonter ce problème dans les moteurs de recherche pour récupérer des informations significatives intelligemment, les technologies du web sémantique jouent un rôle majeur. Dans cet article, nous présentons enquête sur les générations de moteurs de recherche et le rôle des moteurs de recherche dans le web intelligent et technologies de recherche sémantique [18].

C'est également le Web qui a rendu les médias grand public attentifs à Internet. Depuis, le Web est fréquemment confondu avec Internet ; en particulier, le mot Toile est souvent utilisé dans les textes non techniques sans qu'il soit clair si l'auteur désigne le Web ou Internet.

Un site web est composé d'un ensemble de documents structurés, nommés pages web, stockés (hébergés) sur un ordinateur (serveur) connecté au réseau mondial (internet) [7].

Dans ce chapitre nous étudierons brièvement les langages que nous avons choisis pour créer un site web qui est le HTML langage de structuration des pages web et le CSS langage de présentation des pages Web et JAVASCRIPT pour la programmation Ainsi que deux bibliothèques Plotly.js et Math.js.

A.2 Hyper Text Markup Language (HTML)

HTML signifie langage de balisage hypertexte. Le langage HTML est conçu pour la création de sites Web, est un langage pour spécifier comment le texte et les graphiques apparaissent sur un page Web.

Au fil du temps, le langage HTML a beaucoup évolué. Dans la toute première version de HTML, il n'était même pas possible d'afficher des images.

- **HTML 1** : c'est la toute première version créée par Tim Berners-Lee en 1991.
- **HTML 2** : la deuxième version du HTML apparaît en 1994. C'est elle qui posera les bases des versions suivantes du langage. Ses règles et son fonctionnement sont dictés par le W3C (tandis que la première version avait été créée par un seul homme).
- **HTML 3** : apparue en 1996, cette nouvelle version ajoute de nombreuses possibilités au langage comme les tableaux, les applets, les scripts, le positionnement du texte autour des images, etc.
- **HTML 4** : cette version aura été utilisée un long moment durant les années 2000. Elle apparaît pour la première fois en 1998 et propose l'utilisation de frames (qui découpent une page web en plusieurs parties), des tableaux plus complexes, des améliorations sur les formulaires, etc. Surtout, cette version permet pour la première fois d'exploiter des feuilles de styles CSS.
- **HTML 5** : c'est la version actuelle. De plus en plus répandue, elle fait beaucoup parler d'elle car elle apporte de nombreuses améliorations comme l'inclusion facile de vidéos, un meilleur agencement du contenu, de nouvelles fonctionnalités pour les formulaires, etc. [8].

Les pages HTML sont remplies de ce qu'on appelle des balises. Celles-ci sont invisibles à l'écran pour vos visiteurs, mais elles permettent à l'ordinateur de comprendre ce qu'il doit afficher.

Les balises se repèrent facilement. Elles sont entourées de « chevrons », c'est-à-dire des symboles `< et >`, comme ceci : `< balise >`. Elles indiquent la nature du texte qu'elles encadrent. Elles veulent dire par exemple : « Ceci est le titre de la page », « Ceci est une image », « Ceci est un paragraphe de texte », etc. On distingue deux types de balises : les balises en paires et les balises orphelines. La structure du document HTML [10] est donnée par la séquence suivante :

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta charset="utf-8"/>

<title>Titre</title>

</head>
<body>

</body>
</html>
```

A.3 Cascading Style Sheets (CSS)

Les feuilles de styles (en anglais "Cascading Style Sheets", CSS), est un langage qui permet de gérer la présentation d'une page Web. CSS permettent de définir des règles appliquées à un ou plusieurs documents HTML. Ces règles portent sur le positionnement des éléments,

l'alignement, les polices de caractères, les couleurs, les marges et espacements, les bordures, les images de fond, etc. Avec CSS on peut par exemple définir un ensemble de règles stylistiques communes à toutes les pages d'un site internet. Cela facilite ainsi la modification de la présentation d'un site entier. CSS permet aussi de définir des règles différentes pour chaque support d'affichage (un navigateur classique, une télévision, un support mobile, etc.). CSS permet aussi d'améliorer l'accessibilité des documents web [10].

CSS est développé par niveaux imbriqués et non par version successives : CSS 3 inclut CSS 2 qui inclut CSS 1

- **CSS 1** : dès 1996, on dispose de la première version du CSS. Elle pose les bases de ce langage qui permet de présenter sa page web, comme les couleurs, les marges, les polices de caractères, etc.
- **CSS 2** : apparue en 1999 puis complétée par CSS 2.1, cette nouvelle version de CSS rajoute de nombreuses options. On peut désormais utiliser des techniques de positionnement très précises, qui nous permettent d'afficher des éléments où on le souhaite sur la page.
- **CSS 3** : c'est la dernière version, qui apporte des fonctionnalités particulièrement attendues comme les bordures arrondies, les dégradés, les ombres, etc [11].

A.4 JavaScript

Le JavaScript est un langage de programmation sous forme de scripts, c'est-à-dire sans phase de compilation du code source vers un langage de plus bas niveau. L'exécution du script se fait directement par le navigateur à partir du code écrit par le développeur. Le JavaScript est également un langage événementiel, à l'écoute de tous les événements qui peuvent se produire, comme un clic ou une minuterie. À chaque événement intercepté, une action peut être déclenchée.

Le JavaScript est principalement employé dans les pages web pour les rendre interactives et dynamiques. Il est maintenant tellement puissant et compatible avec l'ensemble des navigateurs modernes que de véritables applications au format web sont utilisées par des millions d'internautes et remplacent déjà les traditionnels logiciels sous forme d'exécutables. Les interfaces en ligne des messageries, des cartographies, des éditeurs de texte ou même de tableurs sont réalisées en JavaScript et n'ont rien à envier à leurs homologues exécutables [12].

Brendan Eich, l'ingénieur informaticien américain, a inventé le JavaScript en 1995 chez Netscape et l'a intégré dans le navigateur du même nom. Brendan Eich participera également à la création de la fondation Mozilla. À l'origine, le nom du langage était LiveScript. Mais Netscape profite à cette époque de la notoriété grandissante de Java pour le renommer en JavaScript. Cet artifice marketing particulièrement malvenu entraîne des confusions sur l'utilité du langage et, près de 25 ans plus tard, porte encore préjudice au JavaScript et à tout son écosystème. Devant le succès du langage et du navigateur Netscape, Microsoft développe de son côté le langage de script JScript et l'intègre en 1996 dans Internet Explorer 3 [13].

A.4.1 bibliothèque JavaScript

Une bibliothèque JavaScript est un fichier de format `.js` déjà codé qui met à disposition des méthodes et des propriétés pour l'ajout de fonctionnalités dynamiques à une page HTML. Pour disposer de ces fonctionnalités, il est suffisant d'inclure la référence absolue ou relative au fichier externe à l'intérieur du tag `script` dans le code HTML de la page.

Il existe principalement deux types de bibliothèques JavaScript :

- **Les bibliothèques de type « général »** qui facilitent le développement en JavaScript de manière globale, c'est-à-dire une sorte de version alternative (simplifiée souvent) ou d'extension du langage original ;
- **Les bibliothèques de type « spécifique »** qui facilitent l'intégration d'une fonctionnalité plutôt précise, par exemple des graphiques créés dynamiquement, des carrousels d'images, l'inclusion de vidéos, etc [14].

A.4.2 Math.js

Math.js est une bibliothèque mathématique complète pour JavaScript, elle dispose d'un analyseur d'expression flexible prenant en charge le calcul symbolique, est livré avec un grand ensemble de fonctions et de constantes intégrées, et offre une solution intégrée pour travailler avec différents types de données tels que les nombres, les grands nombres, les nombres complexes, les fractions, les unités et matrices. Puissant et facile à utiliser.

A.4.3 Plotly.js

L'une des meilleures bibliothèques gratuites pour créer une variété de graphiques réactifs, interactifs et riches en fonctionnalités est Plotly.js, notamment des graphiques en courbes, des graphiques à barres, des graphiques à bulles et des graphiques à points.

Plotly.js permet de créer facilement des graphiques interactifs. Tout graphique qu'on crée avec la bibliothèque est équipé de fonctionnalités telles que le zoom avant, le zoom arrière, le panoramique, la mise à l'échelle automatique, etc. Ces fonctionnalités sont très utiles lorsqu'on souhaite étudier des graphiques avec un grand nombre de points tracés. Tous ces événements sont exposés dans l'API (voir explication plus loin), on peut donc écrire du code personnalisé pour effectuer nos propres actions lorsque l'un de ces événements est déclenché [15].

Les performances élevées lors du traçage d'un grand nombre de points font de Plotly.js un excellent choix pour tracer une grande quantité de données. Étant donné que la plupart des graphiques sont créés à l'aide de SVG (voir explication plus loin), vous obtenez une

compatibilité décente entre les navigateurs et la possibilité d'exporter des images de haute qualité de n'importe quel graphique. Cependant, dessiner un grand nombre d'éléments SVG dans le DOM (voir explication plus loin) peut nuire aux performances. La bibliothèque utilise `stack.gl` [15] pour créer des graphiques 2D et 3D hautes performances.

Tous les graphiques `Plotly.js` sont entièrement personnalisables. Tout, des couleurs et des étiquettes aux lignes de quadrillage et aux légendes, peut être personnalisé à l'aide d'un ensemble d'attributs JSON ??? [15].

- **API :**

Les API (Application Programming Interfaces) ou « interfaces de programmation d'application » sont des constructions disponibles dans les langages de programmation pour permettre aux développeurs de créer plus facilement des fonctionnalités complexes. Elles s'occupent des parties de code plus complexes, fournissant au développeur une syntaxe plus facile à utiliser à la place.

- **API JavaScript côté client**

Le JavaScript côté client en particulier a de nombreuses API à sa disposition — elles ne font pas partie du langage JavaScript lui-même, elles sont construites par-dessus JavaScript, offrant des super-pouvoirs supplémentaires à utiliser dans votre code. Elles appartiennent généralement à une des deux catégories (Les API du navigateur sont intégrées au navigateur web et permettent de rendre disponibles les données du navigateur et de son environnement afin de réaliser des choses complexes avec) et (Les API tierces ne sont pas intégrées au navigateur par défaut, et vous devez généralement récupérer le code de l'API et des informations depuis un site Web). [19].

- **SVG :**

Le SVG est un outil graphique extrêmement complexe à utiliser sur le Web et ailleurs, parallèlement à son immense puissance et à son potentiel, il est également basé sur des spécifications relativement complexes. De nombreux codes SVG fonctionnels sont disponibles à l'utilisation (graphiques vectoriels)

La création de SVG sur le serveur est une technique importante à maîtriser pour la création dynamique de SVG, la technique qui vous permet de créer des SVG sur le serveur pour répondre à divers besoins [20].

- **JSON :**

Est un format de données textuelles dérivé de la notation des objets du langage JavaScript. Il permet de représenter de l'information structurée comme le permet XML par exemple. Créé par Douglas Crockford entre 2002 et 2005.

- **DOM:**

Le DOM, qui signifie **Document Object Model** (c'est-à-dire "modèle d'objet document", en français), est une **interface de programmation** qui est une représentation du HTML d'une page web et qui permet d'accéder aux éléments de cette page web et de les modifier avec le langage JavaScript

A.5 Extrait du code signal modulant :

```

/***** Modulant *****/
var graphDiv = document.getElementById('myDiv')
var graphDiv2 = document.getElementById('myDiv2')
var graphDiv3 = document.getElementById('myDiv3')

var x = 0;
var y = 0;
var amplitude = mgsamp;
var frequency = mgsfreq;
var fs = sampling;
var end = 10 - 1 / fs;
var trace1 = {
  x: [],
  y: [],
  type: "scatter",
  mode: 'lines',
  name: 'MESSAGE SIGNAL',
  line: {
    color: 'rgb(255,69,0)',
    width: 2
  }
};
while (x < end) {
  y = amplitude * Math.sin(2 * Math.PI * frequency * x);
  y = Number(y.toFixed(4));
  trace1.x.push(x);
  trace1.y.push(y);
  // console.log("x=" + x + " y=" + y);
  x = x + 1 / fs;
  x = Number(x.toFixed(4));
}
var data = [trace1];
Plotly.newPlot(graphDiv, data);

```

A.6 Extrait de code du signal porteur :

```

/***** Porteuse *****/
var x = 0;
var y = 0;
var amplitude_porteuse = caramp;
var frequency = carfreq;
var fs = sampling;

var end = 10 - 1 / fs;
var trace2 = {
  x: [],
  y: [],
  type: "scatter",
  name: 'CARRIER WAVE',
  mode: 'lines',
  line: {
    color: 'rgb(0,100,0)',
    width: 2
  }
};
while (x < end) {
  y = caramp * Math.cos(2 * Math.PI * carfreq * x);
  y = Number(y.toFixed(4));
  trace2.x.push(x);
  trace2.y.push(y);
  // console.log("x=" + x + " y=" + y);

  x = x + 1 / fs;
  x = Number(x.toFixed(4));
}

var data = [trace2];
Plotly.newPlot(graphDiv2, data);

```

A.7 Extrait du code de la modulation Analogique :

```
/****** Modulation *****/
if(selectedModulation == 'AM'){
  var am;
  var x = 0;
  var traceAM = {
    x: [],
    y: [],
    type: "scatter" };
  var fs = 16000;
  var end = 10 - 1 / fs;
  for (var i = 0; i <= trace1.y.length - 1; i++) {
    am = (parseInt(caramp) + 0.5 * trace1.y[i]) * trace2.y[i];
    am = Number(am.toFixed(4));
    traceAM.y.push(am);
    traceAM.x.push(x);
    x = x + 1 / fs;
    x = Number(x.toFixed(4));
    //console.log(am);
  }
  var data = [traceAM];
  Plotly.newPlot(graphDiv3, data); }
else if(selectedModulation == 'FM' ){
  var fm;
  var x = 0;
  var traceFM = {
    x: [],
    y: [],
    type: "scatter" };
  var fs = 16000;
  var end = 10 - 1 / fs;
  for (var i = 0; i <= trace1.y.length - 1; i++) {
    fm = Math.cos((2 * Math.PI * parseInt(carfreq) * x) + 10 * trace1.y[i]);
    fm = Number(fm.toFixed(4));
    traceFM.y.push(fm);
    traceFM.x.push(x);
    x = x + 1 / fs;
    x = Number(x.toFixed(4));
    //console.log(am); }
  }
  var data = [traceFM];
  Plotly.newPlot(graphDiv3, data);
}
else if(selectedModulation == 'PM' ){
  var pm;
  var x = 0;
  var tracePM = {
    x: [],
    y: [],
    type: "scatter"
  };
  var fs = 16000;
  var end = 10 - 1 / fs;
  for (var i = 0; i <= trace1.y.length - 1; i++) {
    pm = Math.cos((2 * Math.PI * parseInt(carfreq) * x) + 10 * trace1.y[i]);
    pm = Number(pm.toFixed(4));
    tracePM.y.push(pm);
    tracePM.x.push(x);
    x = x + 1 / fs;
    x = Number(x.toFixed(4)); }
  }
  var data = [tracePM];
  Plotly.newPlot(graphDiv3, data);
});
});
});
```