

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur
Et de la recherche Scientifique



Université Mohammed Seddik BENYAHIA – Jijel
Faculté des sciences et de la technologie
Département d'Electronique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du diplôme
De **MASTER** en Electronique
Option : **système de télécommunication**

Thème :

Etude et réalisation d'une maquette didactique
pour la modulation AM

Encadré par :

 Dr. Zoubir SANTOUH

Réalisé par :

 Mlle Louiza KRIOUI
 Mlle Khalida BOUKDEJOUTA

Promotion : 2019

Remerciements

Au nom d'Allah le très miséricordieux, le tout miséricordieux à qui on doit tout

Nous tenant tout d'abord à remercier notre encadreur M. SANTOUH Zoubir pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail et pour ses remarques et conseils durant la réalisation de ce projet. Et sur tout remercier M.TAKOUK Omar maitre de conférences pour sa disponibilité et son sérieux et ses conseils judicieux. Nous tenant également à remercier BELHOUL Ammar pour son aide.

Notre respectueux remerciement à tous les membres de jury, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nous remercie également l'ensemble des administrateurs et des enseignements du département d'électronique de la faculté des sciences et de technologie qui ont contribué à notre formation et qui nous ont suivis durant toute cette période.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous aider a élaboré ce travail prés ou loin.

Dédicace

Ames chers parents : Fatiha et Omar,

Pour l'éducation et le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance, pour leurs patiences et sacrifices m'ont permis de vivre ce jour.

A chers frère : fares,

Je lui souhaite un avenir brillant.

A mes chères sœurs : Meriame, Hala et Loubna,

Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordés. je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez.

A tout la famille BOUKEDJOUTA et ACHOUCHE

A ma fiançailles : Messoud et à toute la famille TABET,

A mes chères amies : Khalida, Bouchra, Zineb, Asma, Soumia, Sawsane, Amina... et mon binôme Louiza pour les moments agréable que nous avons passés ensemble.

A tous mes collègues d'électroniques promotion 2019 et tous ceux qui mon encourager même avec un sourire.

KHALIDA

Dédicace

A mes très chers parents : Khadija et Mokhtar

Pour l'éducation et le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance, pour leur patience et leur sacrifices m'ont permis de vivre ce jour: tous mes sentiment de reconnaissance pour vous et j'essaierai toujours d'être à la hauteur de vos espoirs

A mes chères frères : Zouheir, Nabil et Saad,

En leur souhaitant un brillant avenir

A mes chères sœurs : Hania, Kheira et Afaf,

Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordés. je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez.

A ma grande mère : Mariem

Leur souhaitent une bonne santé et une longue vie

A mes chères amies : Zineb, Bouchra, Khalida, Soumia, Asma, Rania, Soumia,

Wissam ... Et mon binôme Khalida pour les moments agréable que nous avons passés ensemble.

A tous mes collègues d'électroniques promotion 2019 et tous ceux qui mon encourager même avec un sourire.

A tous ceux que j'aime.

LOUIZA

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace	ii
Sommaire	iv
Liste des figures	vii
Liste des abréviations	ix
Liste des symboles	x
Introduction Générale	1

Chapitre I : Étude bibliographique sur l’histoire des télécommunications avec des ondes électromagnétiques

I.1. Introduction	3
I.2. historique de la télécommunication	3
I.3. Les ondes électromagnétiques	10
I.3.1 : polarisation des ondes électromagnétiques	11
I.3.2 : Phénomènes de propagation	12
I.3.3 : Application des ondes électromagnétiques	13
I.3.4 : Caractéristique d’une onde électromagnétique	13
I.3.5 : Le spectre électromagnétique	14
I.4 : Les Ondes Radios	15
I.4.1 : Les Ondes pour la radio	15
I.4.2 : Les liaisons radio et application	15
I.5 : Fonctionnement d’un système mobile sans fil	17
I.6 : Conclusion	17

Chapitre II : Etude de la modulation d’amplitude

II.1 : Introduction	18
II.2 : Transmission d’une information	19
II.3 : Modulation d’amplitude	20
II.3.1 : Définition de la modulation d’amplitude	20
II.3.2. : Principe de la modulation d’amplitude	21
II.3.2.a : Le principe mathématique	22
II.3.3 : Présentation fréquentielle	22

II.3.4 : Le taux de modulation	23
II.3.5 : Qualité de la modulation	24
II.3.6 : Puissance	24
II.3.7 : Inconvénient de la modulation d'amplitude avec conservation de la	25
porteuse	
II.4 : La modulation d'amplitude double bande sans porteuse	25
II.4.1 : La représentation temporelle	26
II.4.2 : Le spectre en fréquence	26
II.5 : Modulation BLU	27
II.5.1 : Principe de la modulation en Bande Latérale Unique	27
II.6 : Démodulation d'amplitude	27
II.6.1 : Définition	27
II.6.2 : Principe de la démodulation d'amplitude	28
II.6.2.a.Schéma de principe	28
II.7 : Techniques de démodulations	28
II.7.1 : Démodulation par détection d'enveloppe	29
II.7.2 : démodulation par détection synchrone (ou cohérent)	39
II.8 : conclusion	30
Chapitre III : Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation	
III. 1: introduction	31
III.2 : Les éléments de base d'une modulation	31
III.2.1 :L'oscillateur	31
III.2.2 : Critère de stabilité de Barkhausen	31
III.2.3 :l'oscillateur de Colpitts	32
III.2.4 : Avantages	32
III.2.5 : Les applications de l'oscillateur Colpitts	32
III.3 : Modulateur	35
III.4 : Démodulateur	36
III.4 :1.Les filtre	36
III.4.1.a. Rôle des filtres	36
III.4.1.b.Filtre passe bas passif du premier ordre(ou cellule RC)	37

III.4.1.c. Le filtre passe bas actif de second ordre	38
III.5 : partie matériel et logiciel	40
III.5.1 : logiciel de simulation LTspice XVII	40
III.5.2 : les simulations de la modulation /démodulation AM	42
III.5.3. : simulation de la démodulation AM par un filtre passe bas (1ere ordre)	43
III.5.4. : simulation de la démodulation AM par un filtre passe bas (seconde ordre)	45
III.6 : Etapes de développement d'un circuit imprimé	47
III.7. Conclusion	49

Liste des figures

FigI.1	Principe de l'oscillateur d'Hertz.	4
FigI.2	Croquis de l'émetteur TSF de marconi.	4
FigI.3	Cabot Tower à Terre Neuve.	5
FigI.4	Première station TSF installée en 1907 dans domaine militaire à Fort-de-l'eau (Bordj el Kiffan).	6
FigI.5	Une triode TM1.	6
FigI.6	Le premier ordinateur (ENIAC).	7
FigI.7	Le premier réseau de transmission ARPANET.	8
FigI.8	Ordinateur MINITEL.	8
FigI.9	Le premier téléphone portable au monde le Motorola (Mobira Sénateur).	9
FigI.10	Différents opérateurs réseaux.	9
FigI.11	Téléphone Huawei –mate 9.	10
FigI.12	Nature et propagation d'une onde électromagnétique.	11
Fig.I.13	Une onde interagit avec les obstacles et les matériaux qu'elle traverse selon les lois de l'optique géométrique.	12
FigI.14	Le rayonnement électromagnétique.	14
FigI.15	Spectre radiofréquence.	15
FigI.16	Principe d'émission réception.	16
Fig.II.1	Synoptique de la transmission d'information.	19
Fig.II.2	Modulation d'amplitude.	21
Fig.II.3	Représentation temporelle.	21
Fig. II.4	Représentation fréquentielle.	23
Fig.II.5	Présentation temporelle.	2
Fig.II.6	Représentation temporelle de la qualité modulation d'amplitude.	24
Fig.II.7	Représentation temporelle de signaux sans porteuse.	26
Fig.II.8	Modulation en bande latérale unique.	27
Fig.II.9	Principe de la démodulation d'amplitude.	28

FigII.10	Montage détecteur d'enveloppe.	29
FigII.11	Montage de détection synchrone.	30
FigIII.1	Principe d'un oscillateur.	32
FigIII.2	Oscillateur de Colpitts.	33
Fig.III.3	Schéma bloc d'un modulateur (non linéaire)	35
FigIII.4	Schéma électronique d'un modulateur (non linéaire)	35
Fig.III.5	Un filtre passe-bas premier ordre	37
Fig.III.6	Un filtre passe-bas de sallen&key	38
Fig.III.7	Diagramme de bode(le gain et la phase)	40
Fig.III.8	schéma bloc de la modulation AM	41
Fig.III.9	Schéma bloc de l'oscillateur colpitts.	42
Fig.III.10	La simulation de l'oscillateur colpitts	42
Fig.III.11	schéma bloc de modulateur AM.	43
Fig.III.12	la simulation de la modulation AM.	43
Fig.III.13	Le schéma de la démodulation AM	43
Fig.III.14	La simulation de la démodulation AM	44
Fig.III.15	Simulation de la démodulation par détection de crête	44
Fig.III.16	schéma bloc de la démodulation par le filtre sallen&key.	45
Fig.III.17	résultat de simulation par sallen&key.	45
Fig.III.18	la simulation de récupération d'information par le filtre sallen&key.	46
Fig.III.19	le circuit électronique de la AM (a)l'oscillateur colpitts(b) modulateur sur la plaque d'essai.	46
Fig.III.20	l'oscillateur colpitts et leur résultat.	47
Fig.III.21	l'information envoyée par l'oscillateur.	47
Fig.III.22	schéma sprint-layout de circuit imprimé.	48
Fig.III.23	photo de la carte finale.	48
Fig.III.24	photo du résultat de la carte finale.	49

Liste des abréviations

AM	: Amplitude Modulation.
ARPANET	: Advanced Research Project Agency Network.
BBC	: British Broadcasting Corporation.
BF	: Basses Frequency.
BLU	: Bande Latérale Unique.
DSB	: Double Side Band.
EDGE	: Evolutionry Distinct and Globally Endangered
ENIAC	: Electronic Numerical Integrator And Computer.
FM	: Frequency Modulation.
GPRS	: General Packet Radio Service.
GSM	: Global System for Mobile Communication.
HF	: Haut Frequency.
IRM	: Imagerie par Résonance Magnétique.
LSB	: Lowe Side Band.
MINITEL	: Médium Interactif par Numérisation d'Information téléphonique.
MPEG	: Moving Picture Expert Group
RFID	: Radio Frequency IDentification.
SMS	: Short Message Service.
SSB	: Single Side Band.
TNT	: Television Numerique Terrestre.
TSF	: Telegraphy Sans Fil.
USB	: Upper Side Band.

Introduction Générale

Les télécommunications sont aujourd'hui définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens électroniques. Les télécommunications se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique. Le mot « télécommunication » vient du préfixe grec « tele » signifiant « loin » et du latin « Communicare » qui signifie « partager » [1].

Les télécommunications font partie des technologies qui ont révolutionné notre mode de vie au vingtième siècle. Du télégraphe à l'Internet, de la TSF au téléphone cellulaire, les progrès établis en la matière sont spectaculaires. Les informations transmises étaient tout d'abord codées en morse, puis des techniques de modulation et de codage analogiques ont permis de transmettre du son, puis des images. Ensuite la venue des techniques numériques a considérablement augmenté le débit et la qualité des informations à transmettre d'un point à un autre [2].

Si on essaie de transmettre l'information analogique telle qu'elle sans traitement particulier, on est confronté à un certain nombre de problèmes :

- Les fréquences basses se prêtent mal à la transmission par voie hertzienne surtout à cause du problème d'antenne.
- Problème de sélectivité au niveau des récepteurs qui seront incapables de séparer deux signaux issus de deux émetteurs différents du moment qu'ils émettent dans la même gamme de fréquence. Ces conditions nous amènent à introduire la notion d'onde porteuse, qui est un signal sinusoïdal de fréquence très élevée par rapport à la fréquence du signal à transmettre.
- La fréquence de la porteuse est choisie en fonction du milieu de transmission utilisé pour avoir les meilleures conditions de propagation possibles [3].

Généralement, le signal se présente sous la forme d'une ondulation de base régulière, baptisée porteuse, à laquelle on fait subir des déformations qui distingueront les

éléments du message. Cette déformation est appelée modulation. On peut jouer sur l'amplitude des oscillations (on parlera alors de modulation d'amplitude), sur leur fréquence (modulation de fréquence) ou encore sur le déphasage de la périodicité d'oscillation (modulation de phase) [4].

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, on va s'intéresser la conception d'un module autonome pour la génération de la modulation d'amplitude pour un but pédagogique.

Organisation du mémoire :

Avant d'aborder la modulation d'amplitude il faut bien connaître la télécommunication. C'est pourquoi nous commencerons dans le premier chapitre par la naissance et l'évaluation de la communication à distance.

Le deuxième chapitre, sera consacré à l'étude de la méthode de la modulation d'amplitude et ces différentes caractéristiques

Dans le troisième chapitre, nous présenterons l'essentiel des résultats de simulation sous LTspice XVII ainsi que le circuit réaliser.

Enfin, nous terminerons ce document par une conclusion général.

I.1. Introduction

Les communications sans fil font usage d'ondes électromagnétiques pour envoyer des signaux sur des longues distances. Du point de vue de l'utilisateur, les connexions sans fil ne sont pas particulièrement différentes de celles d'autres connexions de réseau.

Afin de construire des liens sans fil stables et à haut débit, il est important de comprendre comment les ondes radio se comportent dans le monde réel.

I.2. Histoire de la télécommunication

L'histoire des ondes électromagnétiques a commencé par Faraday qui prédit son existence.

En 1864 l'Anglais : *James-Clarke-Maxwell* explique le sens mathématique et les conditions de propagation. *Maxwell* découvre que la variation d'un champ magnétique induit un champ électrique qui induit à son tour un changement de champ magnétique et que la transition produit une onde électromagnétique. Il émet l'hypothèse selon laquelle la lumière est une onde électromagnétique [5], leurs équations dans le vide sont comme suit:

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\vec{E}) &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ (\text{Maxwell} - \text{Gauss}) \end{aligned} \tag{I.1}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}(\vec{E}) &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ (\text{Maxwell} - \text{Faraday}) \end{aligned} \tag{I.2}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\vec{B}) &= 0 \\ (\text{Maxwell} - \text{Flux}) \end{aligned} \tag{I.3}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}(\vec{B}) &= \mu_0 \vec{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ (\text{Maxwell} - \text{Ampère}) \end{aligned} \tag{I.4}$$

Neuf ans après la mort de *Maxwell*, un autre brillant physicien démontre que ce dernier avait raison [5]. Ce savant s'appelait *Heinrich Rudolf Hertz* et il fut le premier à mettre en évidence l'existence des ondes électromagnétiques, dont font partie les ondes radioélectriques

(ondes radio). Il utilisa une bobine de *Ruhmkorff* (*oscillateur*) pour créer des étincelles de plusieurs dizaines de centimètres et un résonateur, cette expérience avait prouvé l'existence des *ondes radio* (dans ce qui sera appelé plus tard l'expérience de *Hertz*).

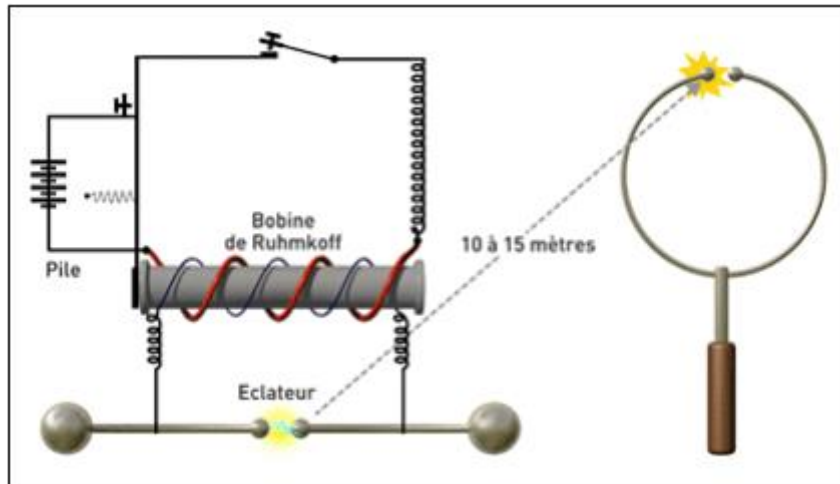


Fig.I.1 : Principe de l'oscillateur d'Hertz [6].

C'est en son honneur que les ondes radioélectriques furent renommées en ondes hertziennes et que les ondes invisibles existent tout autour de nous. Quelques années après, *Édouard Branly* réalise un dispositif capable de capter les ondes électromagnétiques, et ce fut un avancement dans le domaine de l'électricité. Entre temps *Alexander Stepanovitch Popov* invente l'antenne pour mieux capter ces ondes [7], puis finalement en 1895, *Guglielmo Marconi* réunit ces innovations pour réaliser la première liaison radiotélégraphique sur plusieurs centaines de mètres. Il envoya le premier message radio sur une distance de 3 kilomètres depuis Bologne. Et cela fut la naissance de la TSF (Télégraphie Sans Fil, puis Téléphonie Sans Fil) [8].

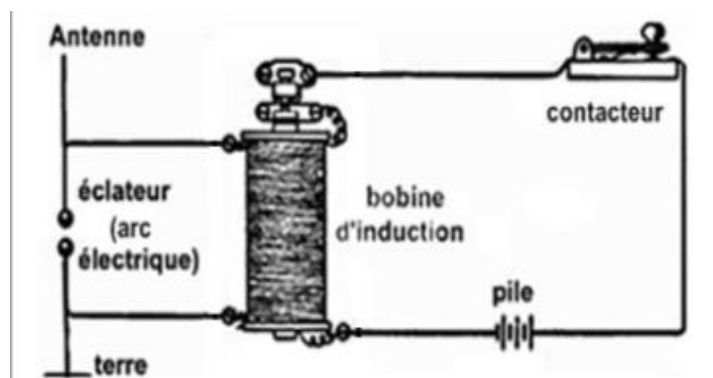


Fig.I.2 : croquis de l'émetteur TSF de Marconi.

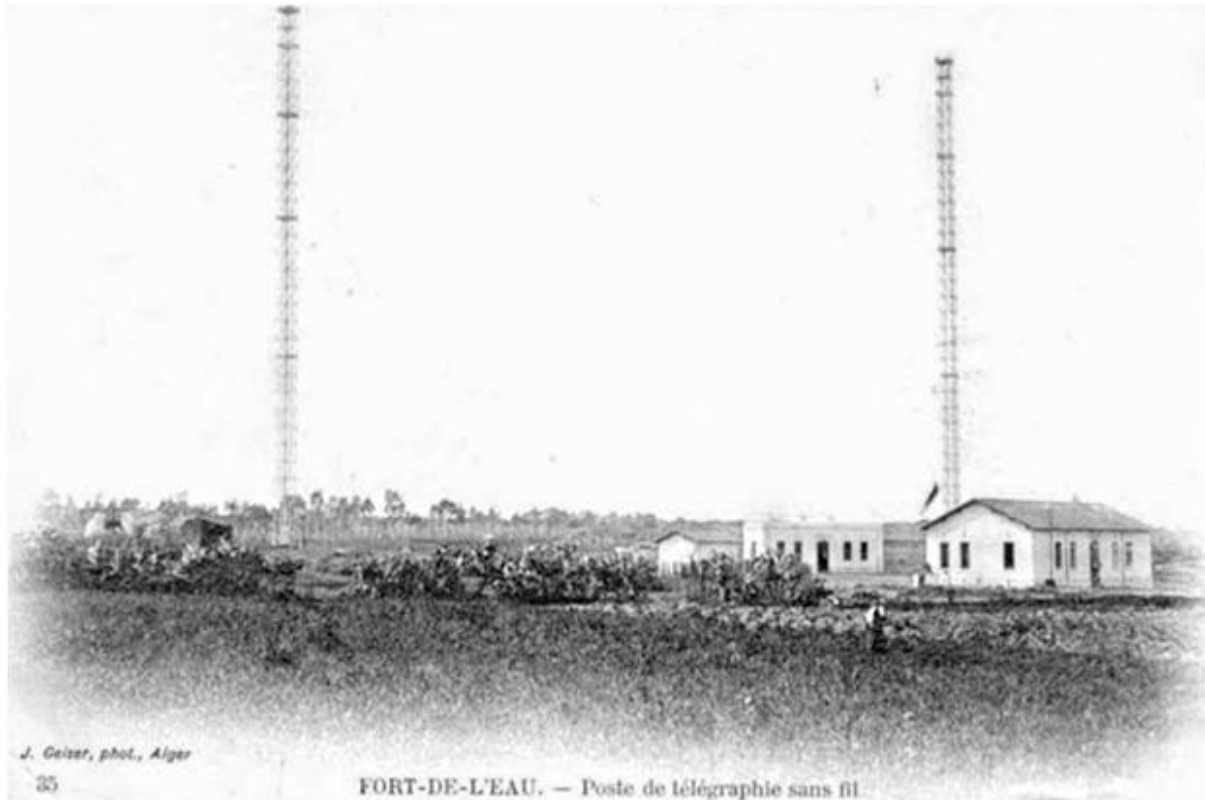
En 1897, Marconi installe le télégraphe Sans fil à *South Wellfleet, Massachusetts*, il envoie un message sur une distance de sept kilomètres, puis en mai sur 14km, et en juillet sur 23km [4]. Le 28 mars 1899 la première liaison entre la France et l’Angleterre était bâtie. Son premier message fut adressé à Édouard Branly.1



Fig1.3 : *Cabot Tower à Terre Neuve [8].*

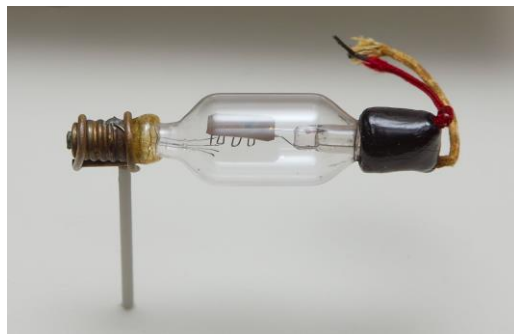
Le TSF de Marconi utilisait le code Morse pour communiquer. C’est en 1900 que la technologie des hauts parleurs et des sonneries électrodynamiques atteint un niveau de maturité considérable.

L’Algérie a vu sa première station TSF installée en 1907 dans un domaine militaire à Fort-de-l’eau (Bordj el Kiffan). Avec une puissance de 1kW par antenne, elle permet d’avoir des communications avec des navires jusqu’à 500 km d’Alger. Cette distance fut portée à 3000 km avec une puissance de 12 kW par antenne. Elle fut rapidement utilisée comme station de radiodiffusion dont la mission était de propager les idées coloniales de la France auprès des populations algériennes [9].



FigI.4 : première station TSP installée en 1907 dans un domaine militaire à Fort-de-l 'eau (Bordj el Kiffan) [9].

Nous sommes entrés dans un monde où tout devient sans fil. Les scientifiques n'ont pas arrêté de produire de nouvelles inventions. Et ont commencé à faciliter et à améliorer la distance et le temps d'envoi et de réception d'informations par voie électromagnétique [7]. C'est ce qui a conduit *Lee De Forest* d'inventer la lampe triode. Capable d'amplifier un signal de faible puissance cette lampe marque le début de l'électronique.



FigI.5 : Une triode TM1 [10].

Elle donne à la radio la puissance qui lui manquait pour transporter le son, paroles et musiques [10]. Après la première guerre mondiale, la radio a connu un développement très rapide avec l'apparition des premières stations diffusant à heure fixe des programmes de musique et d'information.

En 1921 L'inventeur Américain *Charles Francis Jenkins* transmet pour une première fois une image animée à l'aide d'une machine reliée aux lignes téléphoniques, quelque année plus tard il développe la radio-vision qui diffuse des images et du son sans fil. A la même période le physicien *Vladimir Zworykin* dépose le brevet de l'icône scope composant d'un prototype de caméra électronique capable de filmer et transmettre des images en direct.

Cinq ans après, *John Logie Baird* qui présente son téléviseur, il réalise trois ans après la première émission avec la chaîne anglaise BBC, au cours de l'année 1950 la télévision en couleurs est disponible aux Etats-Unis, puis en 1967 en France (utilisant des ondes hertziennes).

La première apparition de l'informatique a été pendant la deuxième guerre mondiale. Au cours des années 1943 les premiers ordinateurs entièrement électroniques ont été créés (ENIAC). Cet ordinateur occupe plus de 250 mètres carrés. Il était utilisé par l'armée américaine, depuis la taille des ordinateurs ne cesse de diminuer grâce à l'invention des transistors, des circuits intégrés et du micro-Processeur. Depuis les ordinateurs deviennent moins énergétiques et moins coûteux.



FigI.6 : La 1ere ordinateur (ENIAC) [11].

En 1969 les tout premiers réseaux à transmission de donnée fut lancé (ARPANET). Elle permet d'échanger des informations via des routeurs chargé de diriger les informations au bon destinataire.



FigI.7 : *Le 1ere réseaux de transmission ARPANET [12].*

Dans les années 1980 en Europe c'est le MINITEL qui lancé, avec ce modèle les utilisateurs pouvait acheter des Billets d'avion, jouer à des jeux. Enfin en 1990 la première page web est créé puis ce fut la naissance de l'internet qui nous connaissant.



FigI.8 : *Ordinateur MINITEL [13].*

Au cours des années 1970, la France fais de grands travaux d'équipement sen matière de téléphonie. Plus de 15 millions de lignes fixes sont installées. En parallèle l'entreprise américaine Motorola développe un téléphone portable expérimentale, l'idée est lancé est le premier modèle analogique se commercialise au milieu des années1990, comme le « Mobira Senator »de Nokia, ce téléphone de base se connecte a des stations qui distribue les réseaux. Plus tard, les mobiles utilisant des technologies numériques font leurs apparitions comme le système

GSM [7]. Mais la vraie révolution c'est la mobilité, le téléphone se connecte aux antennes relais au fur et à mesure que l'on se déplace on parle alors de 2G.



FigI.9 : Le premier téléphone portable au monde le Motorola (Mobira Sénateur) [14].

Les téléphones de deuxième génération (« 2G »), permettent de transmettre la voix et des textes courts comme des SMS. En France, ce sont les bandes 900 et 1800 MHz qui sont utilisées [15].

A la fin des années 1990 le service GPRS et EDGE offre un accès aux réseaux internet encore limité avec un débit très bas. Il faut attendre le début des années 2000 pour que les systèmes 3G se commercialisent, les téléphones peuvent accéder internet plus rapidement même en mouvement.

À l'aube du vingt et unième siècle, il faut céder passage aux ondes. En 2011 la télévision passe de l'analogique au numérique, ce qui a augmenté la qualité des images. Pour la téléphonie le développement de la 3G les opérateurs déploient de nouveaux réseaux pour gérer le nombre de Smartphones qui explose [7].



FigI.10 : Différents opérateurs réseaux [16].

En 2012 la 4G est lancée officiellement en France, elle multiplie de dix le débit maximal par rapport à la 3G ce qui facilite la multiplication des applications mobiles des réseaux sociaux. Depuis 2018, le monde compte plus de quatre milliards d'utilisateurs d'internet et plusieurs millions de mails sont envoyés chaque seconde.

L'internet des objets se développe, et part à l'assaut de nouveaux secteurs comme la domotique, la santé connectée, l'usine du futur et les véhicules autonomes.

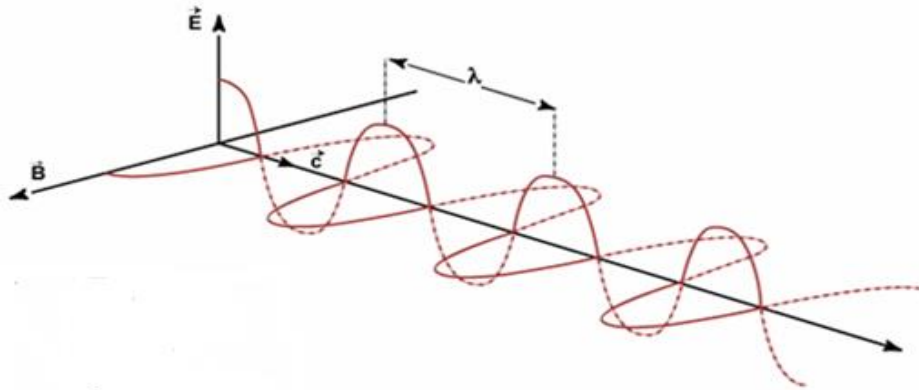
**FigI.11** : Téléphone Huawei –mate 9 [17].

Le réseau 5G qui devrait être disponible en France vers 2020 connectera toujours plus d'objets sans fil, avec un meilleur débit et plus de rapidité. Ou encore une grande fiabilité de transmission [3].

I.3. Les ondes électromagnétiques :

Une onde électromagnétique est une catégorie d'ondes qui peut se déplacer dans un milieu de propagation comme le vide ou l'air, avec une vitesse avoisinant celle de la lumière Soit près de 300 000 kilomètres par seconde. Ces ondes sont par exemple produites par des charges électriques en mouvement. Elles correspondent aux oscillations couplées d'un champ électrique et d'un champ magnétique, dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps [7].

Il comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Ces deux champs, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale (figure ci-dessous).



FigI.12: Nature et propagation d'une onde électromagnétique [18].

E : champ électrique

C : célérité

B : champ magnétique

λ : la longueur d'onde

Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie mais elles sont aussi capables de transporter de l'information. C'est pourquoi elles sont utilisées dans le domaine de la communication. Concrètement, les ondes électromagnétiques servent à faire fonctionner les Smartphones, les postes de radio, ou encore sont utilisées pour faire des radiographies du corps humain [3].

I.3.1. Polarisation des ondes électromagnétiques

Il y a plusieurs sortes de polarisations

- **polarisation linéaire:** le champ électrique vibre toujours dans la même direction.
- **polarisation elliptique :** le champ électrique tourne autour de son axe et change d'amplitude pour former une ellipse.
- **polarisation circulaire :** le champ électrique tourne autour de son axe en formant un cercle.

I.3.2. Phénomènes de propagation

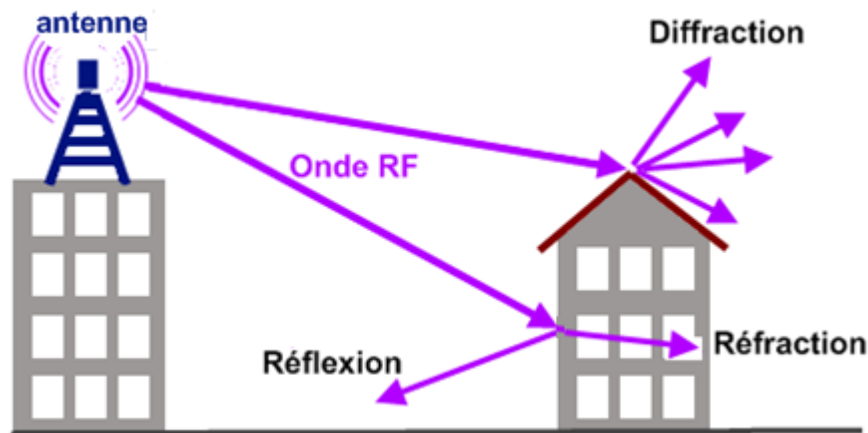


Fig.I.13 : Une onde interagit avec les obstacles et les matériaux qu'elle traverse selon les lois de l'optique géométrique [8].

La propagation des ondes est un phénomène physique dont découlent l'évolution et la progression d'une onde au sein d'un milieu dans l'espace et le temps. Elles se propagent dans tous les milieux qu'ils soient gazeux, liquides ou solides. On distingue cinq phénomènes liés à la propagation des ondes :

- **Réflexion** : On parle de réflexion lorsque l'onde se réfléchit sur une surface en obéissant aux lois de réflexion de Descartes comme dans le cas d'un rayon lumineux sur un miroir.
- **Réfraction** : Comme un rayon lumineux est dévié lorsqu'il traverse la surface de séparation entre deux milieux d'indices de réfraction différents, une onde radio peut subir un changement de direction dépendant à la fois de sa fréquence et de la variation de l'indice de réfraction. Ce phénomène est particulièrement important dans le cas de la propagation ionosphérique.
- **Diffraction** : Lorsqu'une onde rencontre un obstacle de grande dimension par rapport à la longueur d'onde, celle-ci pourra être arrêtée par cet obstacle. Ce sera le cas d'une colline, d'une montagne, etc. Cependant, dans une certaine mesure, l'onde pourra contourner l'obstacle et continuer à se propager derrière celui-ci.
- **Diffusion** : Le phénomène de diffusion peut se produire quand une onde rencontre un obstacle dont la surface n'est pas parfaitement plane et lisse. C'est le cas des couches ionisées, de la surface du sol dans les régions vallonnées (pour les longueurs d'ondes les plus grandes) ou de la surface des obstacles (falaises, forêts, constructions, etc.) pour les

ondes ultra-courtes (au-dessus de quelques centaines de mégahertz). Comme en optique, la diffusion dépend du rapport entre la longueur d'onde et les dimensions des obstacles ou des irrégularités à la surface des obstacles réfléchissants. [19].

I.3.3. Application des ondes électromagnétiques

- **la lumière visible** : correspond à la partie très étroite du spectre électromagnétique perceptible par notre œil. C'est dans le domaine visible que le rayonnement solaire atteint son maximum (0,5 μm) et c'est également dans cette portion du spectre que l'on peut distinguer les 7 couleurs de l'arc en ciel (violet-indigo-bleu-vert-jaune-orange-rouge). Il s'étend de quatre dixièmes de millimètre (4.10⁻⁷ m ou 0,4 μm) – lumière violette – à huit dixièmes de millimètre (8.10⁻⁷ m ou 0,8 μm) de millimètre – lumière rouge.
- **les rayons (γ)** : ils sont dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Très énergétiques, ils traversent facilement la matière et sont très dangereux pour les cellules vivantes. Leurs longueurs d'onde s'étendent d'un centième de milliardième (10⁻¹⁴ m ou 0,01pm) à un milliardième (10⁻¹² m ou 1 pm) de millimètre.
- **Les rayons X** : rayonnements très énergétiques traversant plus ou moins facilement les corps matériels et un peu moins nocifs que les rayons gamma, ils sont utilisés notamment en médecine pour les radiographies, dans l'industrie (contrôle des bagages dans le transport aérien), et dans la recherche pour l'étude de la matière (rayonnement synchrotron). Les rayons X ont des longueurs d'onde comprises entre un milliardième (10⁻¹² m ou 1 pm) et un cent millième (10⁻⁸ m ou 10 nm) de millimètre[18].

I.3.4. Caractéristique d'une onde électromagnétique

Une onde électromagnétique est caractérisée par plusieurs grandeurs physiques

- **La période (T)** : elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde. $T = 1 / f$
- **La fréquence (v)** : inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps. Elle s'exprime en Hertz (Hz) - un Hz équivaut à une oscillation par seconde - ou en multiples de l'Hertz. $f = 1 / T$
- **Célérité** : Les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide à la vitesse $c = 3 * 10^8 \text{ m. s}^{-1}$ (vitesse de la lumière dans le vide). Dans les fibres optiques (utilisées en téléphonie), les ondes électromagnétiques se propagent sensiblement à la même

vitesse que dans l'air. Dans certains milieux, comme les métaux, les ondes électromagnétiques ne se propagent pas. On dit que ces milieux sont opaques.

- **Longueur d'onde :** est la distance sur laquelle se propage l'onde pendant la durée d'une période d'où la relation $\lambda = c \cdot T$ mais on peut également l'exprimer en fonction de la fréquence $\lambda = c/v$ [19].

Remarque :

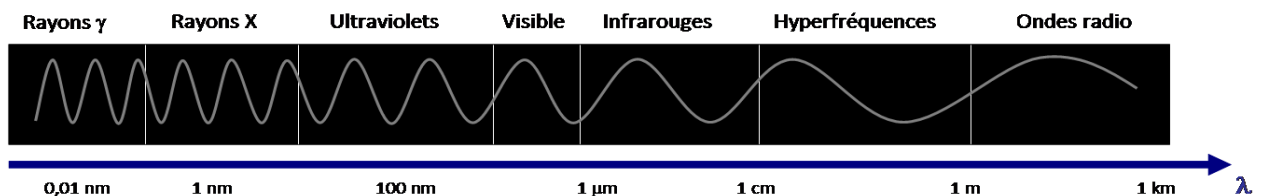
- La longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

].les rayonnements électromagnétiques de courte longueur d'onde ou de fréquence élevée véhiculent davantage d'énergie que les rayonnements de grande longueur d'onde (basse fréquence).

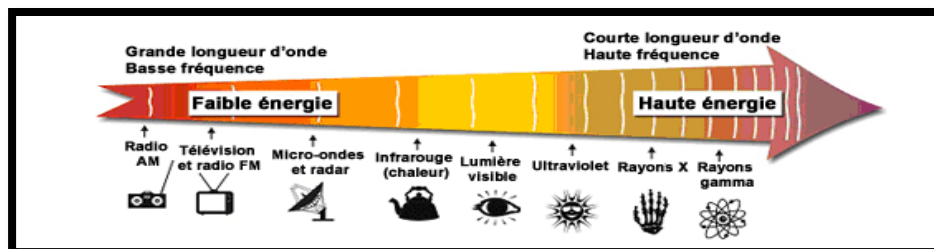
I.3.5. Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie [18].

- Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leurs longueurs d'onde dans le vide ou de leurs fréquences comme représente la figure suivante.



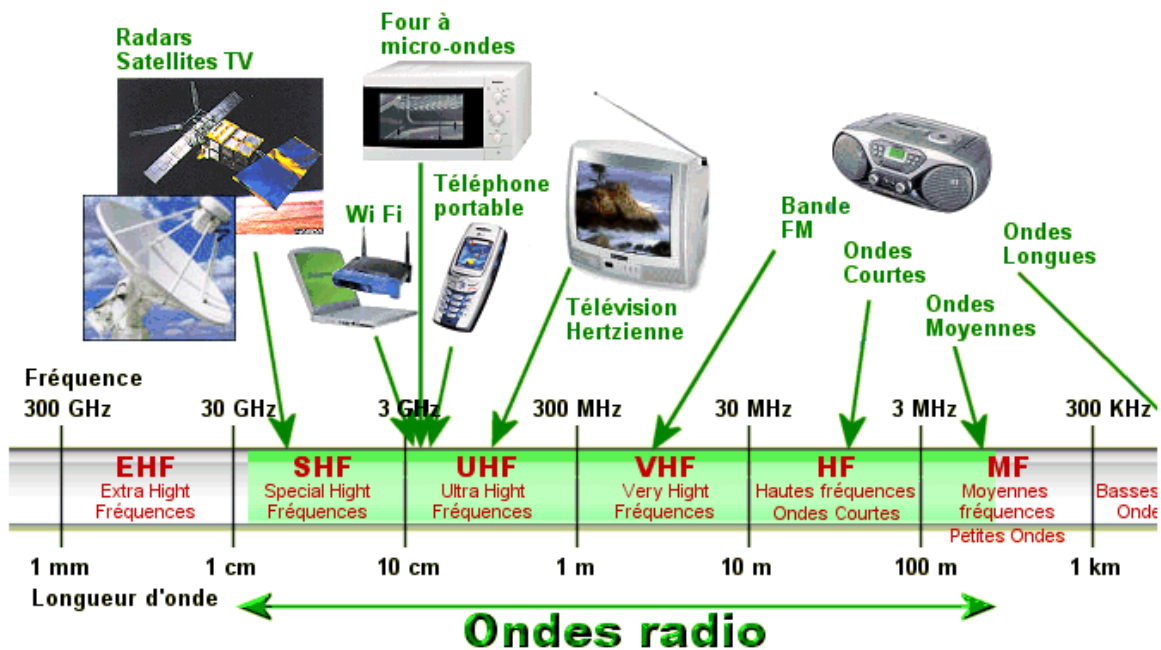
- La liste à ce qui est soit largement plus énergétique que le visible (rayon gamma, rayons X) soit beaucoup moins énergétique : les ondes dites « radio ».



FigI.14 : Le rayonnement électromagnétique [18].

I.4. Les Ondes Radios

Une onde radio est une onde électromagnétique dont la fréquence est inférieure à 3 000 GHz et de longueurs entre d'ondes très vaste du spectre électromagnétique et concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km [20].



FigI.15 : Spectre radiofréquence [20].

I.4.1 Les Ondes pour la radio

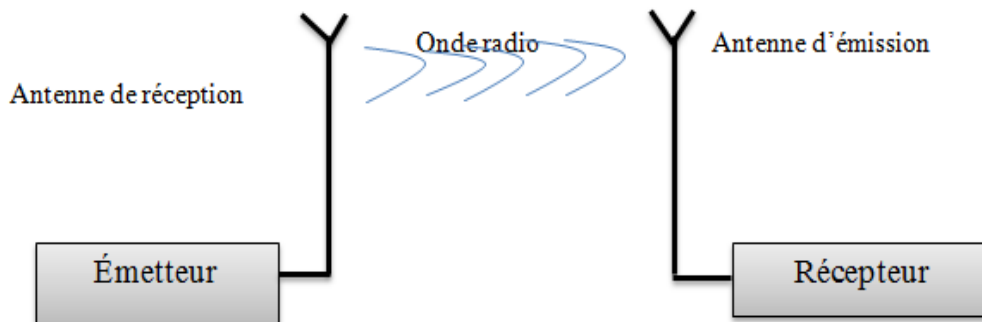
- *Radio AM* (0,15 à 26 MHz) : utilisée et existant depuis longtemps mais toujours en service. Ces ondes vont parfois très loin (plusieurs milliers de kilomètres) car rebondissent sur l'ionosphère.
- *Radio FM* (87,5 – 108 MHz) : plus récent que la AM, et éliminant les défauts de cette dernière [21].

I.4.2 Les liaisons radio et application

Pour établir une telle liaison il faut un émetteur et un récepteur. L'émetteur reçoit un signal électrique qu'il convertit en signal électromagnétique, lequel est conduit vers l'antenne. L'antenne émet le signal dans la nature où il peut être capté par une ou plusieurs autres antennes.

Ceci constitue une différence fondamentale avec les liaisons filaires pour lesquelles un signal ne peut être reçu que par celui qui se trouve au bout du fil. En radio, le signal est diffusé

partout et est donc susceptible d'être reçu par tout le monde. L'antenne réceptrice conduit le signal reçu vers le récepteur d'où est extrait le même signal électrique que celui qui était en entrée de l'émetteur [22].



FigI.16 : Principe d'émission réception.

Ce qui doit être prise en compte :

1. L'onde émise va s'atténuer, d'autant plus que la distance entre l'émetteur et le récepteur est grande.
2. L'onde radio transmise entre l'émetteur et le récepteur peut être soumise à des perturbations qui vont l'altérer.
3. L'onde radio peut rencontrer des obstacles qui vont nuire à sa propagation entre l'émetteur et le récepteur.
4. Installation de l'antenne en hauteur car plus elle est haute, plus la portée est grande. De plus, l'installation en hauteur permet d'éviter certains obstacles

Les ondes radio ont de nombreuses applications dans les appareils de la vie quotidienne comme :

- La télécommunication (par exemple dans les téléphones).
- L'imagerie par résonance magnétique (IRM).
- La radio identification (RFID).
- Les fours à micro-ondes.
- L'industrie militaire.

I.6. Fonctionnement d'un système mobile sans fil :

Pour que nos fichiers ou SMS puissent parvenir jusqu'à leur destinataire, l'information à envoyer est d'abord codée en langage binaire (combinaisons de zéro et un) puis présentée en entrée de la carte électronique de l'émetteur du système de communication sans fil, par exemple un téléphone.

Ensuite, le signal numérique correspondant au message binaire est transformé en signal analogique à haute fréquence (fréquences radio). Ce dernier est envoyé à une antenne, qui se met alors à rayonner, une onde électromagnétique se propage ensuite dans l'air pour atteindre l'antenne relais la plus proche. L'onde est ensuite transformée en signal électrique, pour être transmise via des câbles ou des fibres optiques sur de très grandes distances, jusqu'à enfin atteindre l'antenne relais la plus proche du destinataire. Le processus de réception est le même que celui envoyé, en inversé. La carte électronique du système de communication du récepteur décode le langage binaire pour afficher le SMS, l'image ou bien la vidéo [7].

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçut historique du développement de la télécommunication, puis nous avons étudié l'évolution de la communication à distance grâce à la naissance des ondes électromagnétiques. Puis nous avons énuméré les différentes caractéristiques de ces ondes, en décrivant les phénomènes de propagation et de polarisation.

II.1. Introduction

Les ondes électromagnétiques de fréquence élevée ont la propriété de se propager, soit dans l'atmosphère, soit sur un support (guide d'onde, câble) sur de très grandes distances. Il est alors intéressant d'utiliser cette propriété afin de transmettre à distance une information. Toute fois l'information à transmettre sera caractérisée par un signal de fréquence beaucoup plus faible. On utilise alors une "modulation". L'onde de fréquence élevée est appelée la porteuse.

Parmi les techniques de modulations analogiques, citons la modulation d'amplitude qui fut la première employée. Comme nous le verrons par la suite, elle se caractérise par une grande simplicité de mise en œuvre. On la trouve fréquemment pour les transmissions hertziennes (stations radiophoniques grandes ondes par exemple).

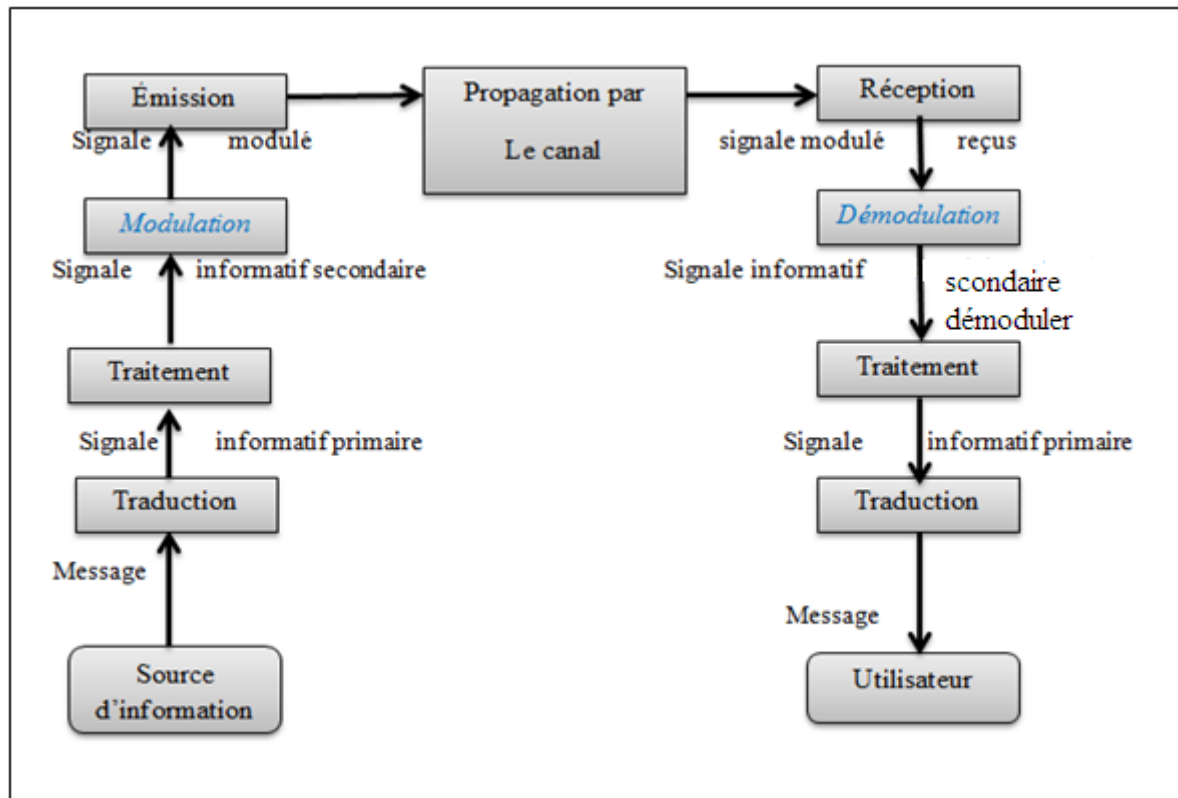
Le terme modulation d'amplitude "AM" consiste à modifier l'amplitude d'une onde porteuse de fréquence très élevée par le signal à transmettre auquel on ajoute une tension continue. La restitution de l'information, suffit ensuite de démoduler le signal reçu.

En pratique, la AM basé sur des composantes électroniques comme les oscillateurs pour générer le signal et les modulateurs.

Dans cette partie de ce manuscrit nous verrons en détail la modulation d'amplitude avec porteuse, tout en passant par un aperçu d'autres techniques de modulation comme la modulation a bande latérale unique et la modulation a porteuse supprimée.

II.2. Transmission d'une information

La transmission d'informations se fait suivant le schéma de la figure II.1.



FigII.1: *Synoptique de la transmission d'information.*

➤ Émission du signal

La source d'information émet le message à transmettre (par exemple la voix) à la traduction le signal convertie en signal électrique, via un microphone piezo électrique par exemple. Et inversement le signal est convertit en son.

La partie traitement permet de compresser ou de coder les signaux numériques. Par exemple pour du son il peut s'agir de compression MP3, ou pour de la vidéo, de compression MPEG-2. Cette partie du traitement du signal ne sera pas traitée dans ce mémoire.

La Modulation a pour fonction de transposer l'information sur une porteuse, afin d'occuper un espace fréquentiel plus réduit et que l'on a choisie. On module une porteuse dont la fréquence est beaucoup plus élevée que le message à transmettre. Cette nouvelle fréquence est plus favorable à la transmission. La modulation consiste à faire varier les caractéristiques de la porteuse (amplitude, fréquence et phase) en fonction du message à transmettre.

Après ces opérations l'information à transformer dans un canal de transmission qui contient des antennes d'émission et de réception cette transformation se fait par des lignes de transmission (les câbles, les fibres optiques) [23].

➤ **Réception du signal :**

L'onde électromagnétique se déplace dans l'atmosphère puis captée par une antenne réceptrice (celle du poste radio par exemple). Le signal est ensuite traité, et on récupère le signal électrique de fréquence f correspondant au signal initial. Cette opération est appelée démodulation. Le signal électrique est alors amplifié puis envoyé (par exemple haut-parleur). Le haut-parleur transforme le signal électrique en un signal identique à celle du signal initial enfin, elle est transmise à l'utilisateur.

II.3. Modulation d'amplitude

II.3.1. Définition de la modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude est la première modulation employée en télécommunication grâce à sa simplicité de mise en œuvre. Elle consiste à faire varier l'amplitude d'un signal de fréquence élevée linéairement (le signal porteur), en fonction d'un signal de plus basse fréquence (le signal modulant).

Pour une modulation en amplitude on utilise le signal à transmettre, dit signal modulant, $m(t)$ et une porteuse $p(t)$ tels que :

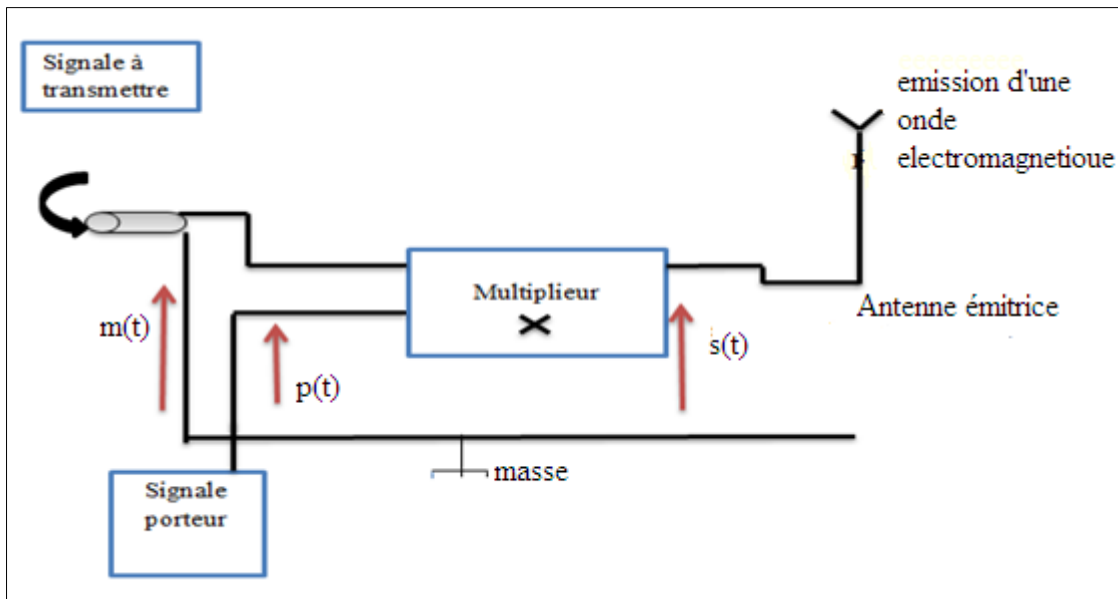
$$m(t) = A_m \cdot \cos(\omega_m t) \quad (\text{II.1})$$

$$p(t) = A_p \cos(\omega_p t) \quad (\text{II.2})$$

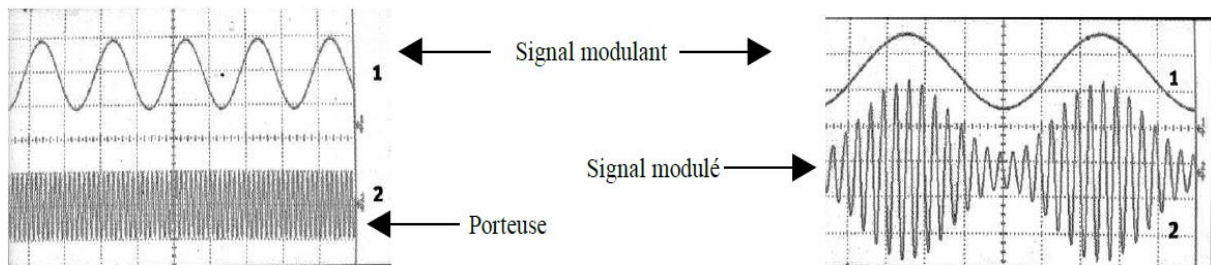
La multiplication de ces deux signaux conduit au signal modulé :

$$S(t) = k A_p \cdot A_m \cdot \cos(\omega_m t) \cdot \cos(\omega_p t) \quad (\text{II.3})$$

➤ Schéma de principe



FigII.2 : Modulation d'amplitude.



FigII.3 : Représentation temporelle [19].

II.3.2.Principe de la modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude permet la transmission des signaux de faibles fréquences par ondes électromagnétiques. Le signal à transmettre (musiques...) est transformé en tension électrique par le microphone. On ajoute à cette tension une tension continue. Cette tension est appelé tension modulante.

La modulation d'amplitude consiste à faire agir le signal modulant $m(t)$ sur l'amplitude de la porteuse. On réalise une modulation d'amplitude Suivant :

$$m(t) = A_m \cdot \cos(2 \cdot \Pi f_m t) \tag{II.4}$$

Le signal modulant est une tension sinusoïdale $m(t)$ de fréquence f_m .

$$p(t) = A_p \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) \quad (\text{II.5})$$

La porteuse est une tension sinusoïdale $p(t)$ de fréquence f_p .

Moduler l'amplitude de ce signal sinusoïdal $p(t)$ consiste à transformer son amplitude constante en une A_p fonction affine de la tension modulante.

$$m(t) : (a \cdot m(t) + b) \quad (\text{II.6})$$

Où a et b sont des constantes

Le résultat de cette modulation donne le signal modulé ayant pour l'équation :

$$S(t) = [a \cdot m(t) + b] \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) \quad (\text{II.7})$$

Le signal modulant est en fait l'enveloppe du signal modulé.

II.3.2.a. Le principe mathématique

Le signal modulé a pour équation :

$$\begin{aligned} s(t) &= [a \cdot m(t) + b] \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) = [m(t) + (a/b)] \cdot a \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) \\ &= [m(t) + u_0] [A_p \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)] = [m(t) + u_0] p(t) \end{aligned} \quad (\text{II.8})$$

Moduler l'amplitude d'un signal consiste alors à ajouter une composante continue (ici U_0) au signal modulant $m(t)$ à transmettre, puis de multiplier la tension résultante par la tension $p(t)$ de la porteuse.

Le décalage en tension U_0 est indispensable pour éviter la sur modulation et permettre ensuite la restitution du signal initial par démodulation [19]. Le taux de modulation m est révélateur de la qualité de la modulation :

$$\begin{aligned} s(t) &= [m(t) + u_0] p(t) = [A_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t) + u_0] p(t) \\ &= u_0 \cdot [A_m / u_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t) + 1] p(t) = u_0 \cdot [m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t) + 1] p(t) \end{aligned} \quad (\text{II.9})$$

II.3.3. Présentation fréquentielle

➤ Spectre du signal modulé :

A partir du signal :

$$s(t) = p(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) \cdot [m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t) + 1] \quad (\text{II.10})$$

On détermine son spectre en calculant la transformée de Fourier. On obtient :

$$s(f) = A_p \left[(\delta(f - f_p) / \delta(f + f_p)) / 2 \right] * \left[1 + m \cdot A_m \left[(\delta(f - f_m) / \delta(f + f_m)) / 2 \right] \right] \quad (\text{II.11})$$

$$\begin{aligned} m(f) &= A_p / 2 \left[\delta(f - (f_p + f_m)) + \delta(f + (f_p + f_m)) \right] + \\ &= m \cdot A_p / 4 \left[\delta(f + (f_p + f_m)) + \delta(f - (f_p - f_m)) + \delta(f + (f_p - f_m)) \right] \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$

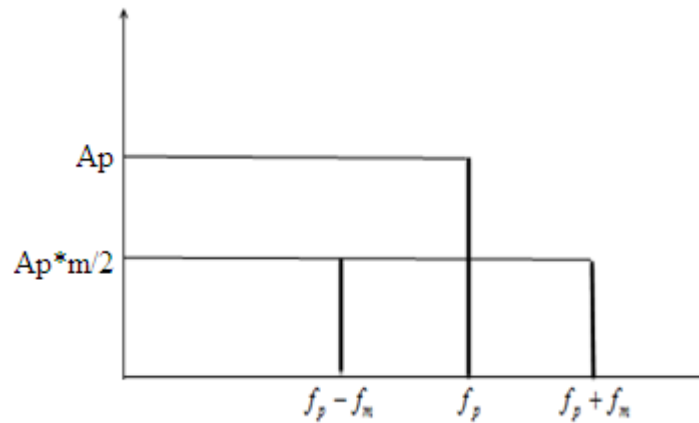


Fig. II.4: Représentation fréquentielle.

Si on observe la Figure II.4 on s'aperçoit que le spectre d'un signal A-M comporte les deux bandes latérales du signal modulant. La bande à droite de f_p est dite Bande Latérale supérieure (BLS) et la bande à gauche de f_p est dite Bande Latérale inférieure (BLI). La transmission d'un signal A-M nécessite donc une bande de fréquence égale à deux fois la bande du signal modulant : $B=2W$.

II.3.4. Le taux de modulation

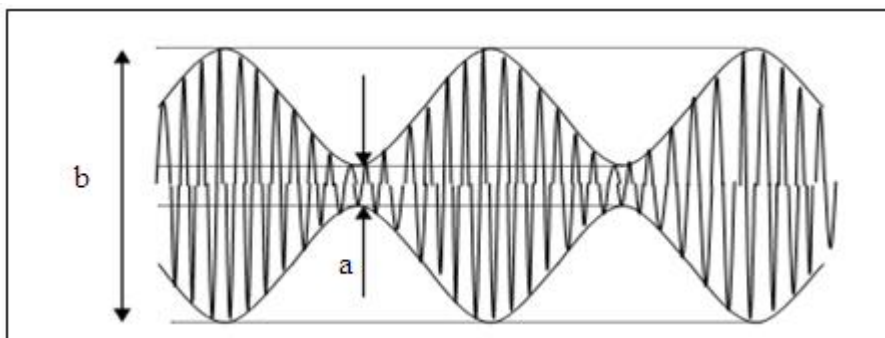
La valeur maximale pour $m=100\%$. Le taux de modulation est déterminé directement du graphe de l'onde modulée par mesure des valeurs a et b de la figure III.5.

$$a = u_0(1 - m) - (-u_0(1 - m)) = 2.u_0(1 - m) \quad (\text{II.13})$$

$$a = u_0(1 + m) - (-u_0(1 + m)) = 2.u_0(1 + m) \quad (\text{II.14})$$

$$a/b = (1 - m)/(1 + m).a/b \quad (\text{II.15})$$

$$m = (b - a)/(b + a) \quad (\text{II.16})$$



FigII.5 : Présentation temporelle.

II.3.5. Qualité de la modulation

La tension U_0 joue un rôle important dans la qualité de la modulation en effet, de la valeur du décalage en tension dépend de la fidélité de l'enveloppe du signal modulé par rapport au signal modulant.

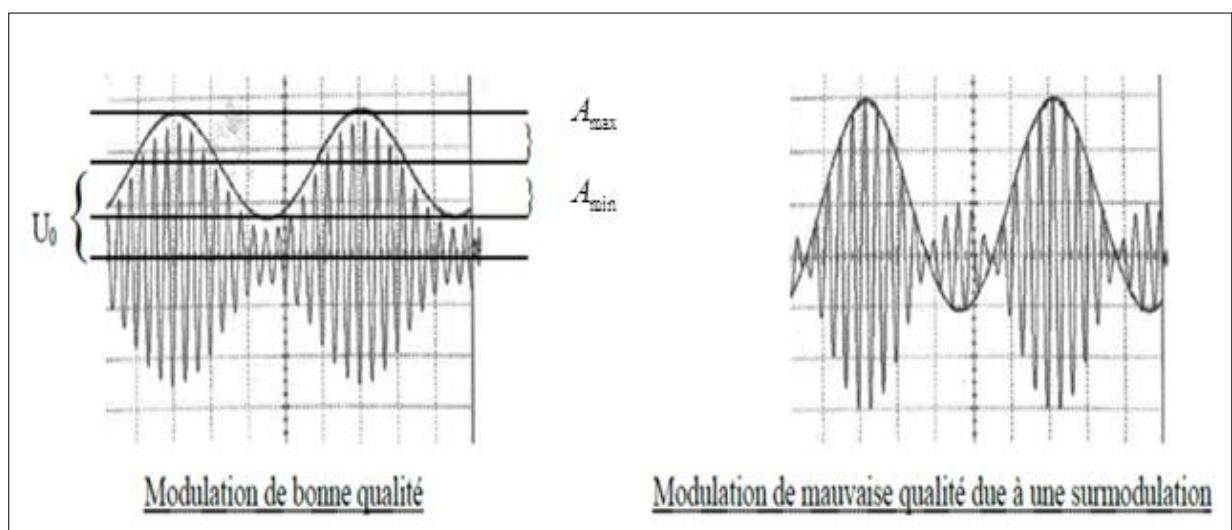
Pour que la modulation soit de bonne qualité, l'enveloppe du signal modulé doit être fidèle au signal modulant. Le décalage en tension U_0 doit alors être supérieur à l'amplitude

A_m du signal modulant, soit $U_0 > A_m$ soit $\frac{A_m}{U_0} < 1$ ou $m < 1$, m étant le taux de modulation.

Si la modulation est de mauvaise qualité, l'enveloppe du signal modulé n'est pas fidèle au signal modulant. Cela est dû au fait que le décalage en tension U_0 est alors inférieur à

l'amplitude A_m du signal modulant, soit $U_0 < A_m$ soit $\frac{A_m}{U_0} > 1$ ou $m > 1$: il y a sur modulation.

La figure suivante représente les différentes qualités de la modulation.



FigII.6: Représentation temporelle de la qualité modulation d'amplitude.

II.3.6. Puissance

La puissance nécessaire à la transmission du signal est obtenue en élevant le signal à la carré. S'il s'agit d'une tension (d'un courant), il suffit de diviser (multiplier) par la résistance de charge, souvent constituée par l'antenne de l'émetteur. A un facteur constant près, la modulation AM en courant ou en tension est donc identique.

Calculons la puissance moyenne du signal $s(t)$. Nous nommerons P_p la puissance en l'absence de signal modulant ($m(t)=0$). Pour cela nous prendrons le cas d'un signal modulant $m(t)$ sinusoïdale. Le signal $s(t)$ est périodique de période T . On a alors :

$$P = \alpha \cdot \int_T S^2(t) \cdot dt \quad (\text{II.17})$$

Ouest une impédance si $s(t)$ est un courant et une admittance si $s(t)$ est une tension

$$p = \alpha \int_T \left[(+m \cos(\omega_m \cdot t))(A_p \cos(\omega_p \cdot t)) \right]^2 \cdot dt \quad (\text{II.18})$$

Après le développant, on obtient les deux termes suivantes :

Le terme $p = \alpha \frac{A_p^2}{2}$ en représente la puissance en l'absence de signal modulant. C'est la

puissance qui est constamment nécessaire pour transmettre au moins la porteuse. Le terme

$p = \alpha \frac{m^2}{2} \frac{A_p^2}{2}$ en est la puissance effectivement utilisée pour le signal informatif $m(t)$.

II.3.7. Inconvénient de la modulation d'amplitude avec conservation de la porteuse

- En observant le spectre d'un signal quelconque modulé, on constate que l'information est comprise dans les bandes latérales.
- La puissance contenue dans la raie à la fréquence f_p n'est pas de la "puissance utile".
- Le rendement d'une modulation d'amplitude avec conservation de la porteuse n'est donc pas optimum. (rendement = $\frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance totale consommée}}$)
- De plus, en l'absence d'information, la puissance consommée n'est pas nulle : la raie à f_p existe toujours [24].

II.4. La modulation d'amplitude double bande sans porteuse

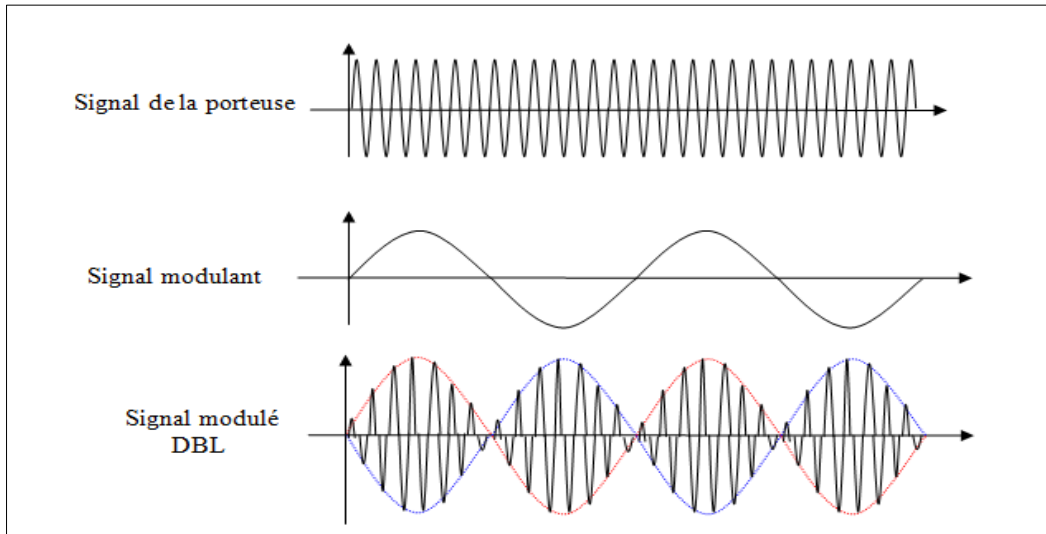
Cette technique consiste à multiplier la porteuse $p(t)$ par le signal modulant $m(t)$ au moyen d'un circuit multiplieur de tension. La modulation d'amplitude à double bande avec porteuse présente l'inconvénient de transporter la plus grande partie de son énergie dans la porteuse. Or l'information utile se trouve contenue dans les bandes latérales. Une première solution moins gourmande en énergie consiste à supprimer la porteuse lors de l'émission. On aura à faire à de la modulation double bande sans porteuse (DSB ou Double Side Band) dont l'expression est donnée par :

$$s(t) = A \cdot m(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta) \quad (\text{II.19})$$

$$m(t) = B \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \quad (\text{II.20})$$

$$s(t) = A \cdot B / 2 \cdot (\cos(\omega_0 + \omega_1) + \cos(\omega_0 - \omega_1)) \quad (\text{II.21})$$

II.4.1. La représentation temporelle



FigII.7: Représentation temporelle de signaux sans porteuse.

II.4.2. Le spectre en fréquence

La représentation spectrale de S (f) module de la transformée de Fourier de S(t) appelée spectrale des(t) est donnée par la figure ci-dessous. On calcule la transformée de Fourier du signal.

$$s(t) = k.A_p \cos(2.\pi.f_m.t) * (A_p.\cos(2.\pi.f_p.t)) \tag{II.22}$$

$$p(t) = A_p.\cos(2.\pi.f_p.t) = A_p * (\delta(f - f_p) / \delta(f + f_p)) / 2 \tag{II.23}$$

$$s(f) = k.A_p [(\delta(f - f_p) / \delta(f + f_p)) / 2] * A_m [(\delta(f - f_m) / \delta(f + f_m)) / 2] \tag{II.24}$$

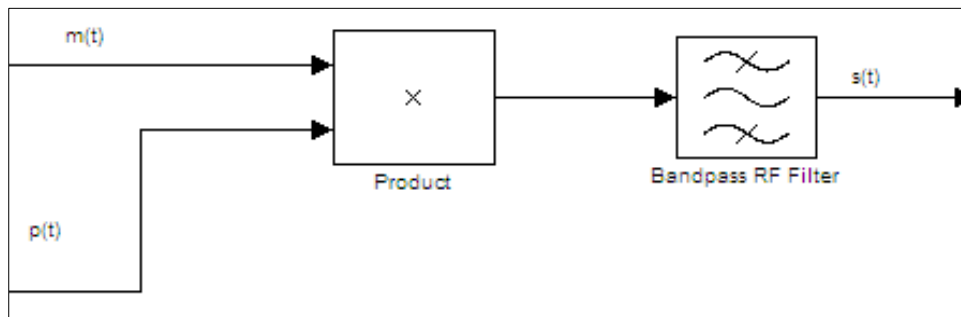
$$s(f) = \frac{k.A_p.A_m}{2} [\delta(f - (f_p + f_m)) + \delta(f + (f_p + f_m)) + \delta(f - (f_p - f_m)) + \delta(f + (f_p - f_m))] \tag{II.25}$$

II.5. Modulation Bande Latérale Unique(BLU)

Il a été vu précédemment que pour la modulation AM, les deux bandes latérales sont porteuses de la même information. Il est donc envisageable de n'en transmettre qu'une des deux, ce qui permet d'une part de réduire la bande de fréquence allouée pour transmettre le signal et d'autre part de réduire la puissance à émettre pour transporter la même quantité d'information. Ce type de modulation est appelée modulation à bande latérale unique ou BLU (SSB : Signal Side Band).

II.5.1. Principe de la modulation en Bande Latérale Unique

La technique la plus simple et la plus communément employée pour obtenir un signal en modulation SSB consiste à réaliser une AM sans porteuse puis à filtrer l'une ou l'autre des deux bandes. Pour conserver l'USB (respectivement la LSB), il serait théoriquement possible de n'utiliser qu'un filtre passe-haut (respectivement passe-bas). Néanmoins, en pratique des filtres passe-bande sont employés afin de réduire la puissance du bruit. Le schéma de principe d'un modulateur SSB est donné ci-dessous [26].



FigII.8 : Modulation en bande latérale unique.

II.6. Démodulation d'amplitude

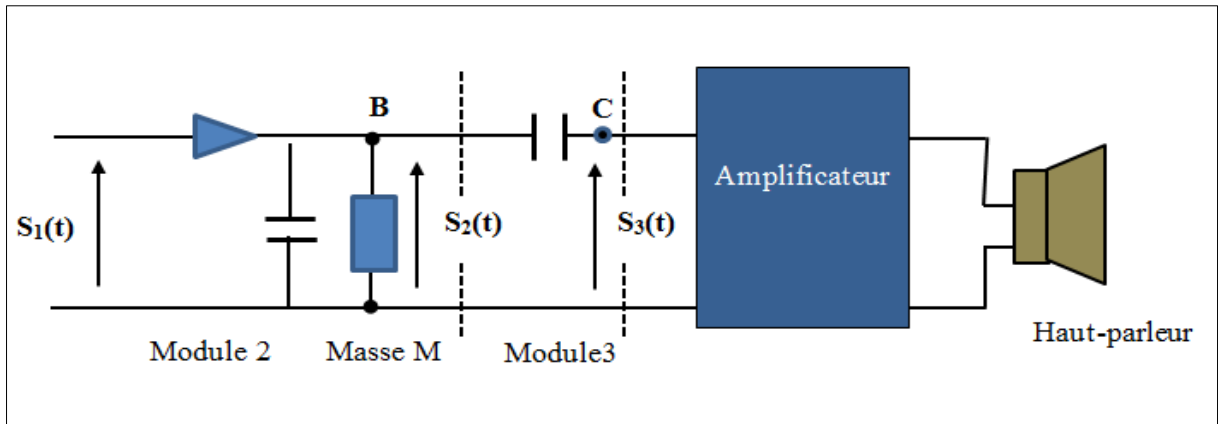
II.6.1. Définition

La démodulation est une technique qui permet de récupérer le message transmis par modulation, il faut donc éliminer le signal de la porteuse en modifiant le moins possible le message transmis. Pour la démodulation analogique d'amplitude, on distingue 2 techniques :

- Démodulation cohérente ou synchrone (par produit).
- Démodulation par détection d'enveloppe.

II.6.2. Principe de la démodulation d'amplitude

II.6.2.a. Schéma de principe



FigII.9 : Principe de la démodulation d'amplitude.

La tension modulée $s(t)$ doit être démodulée quand elle arrive dans un poste radio. Cela consiste à récupérer son enveloppe. L'enveloppe de la tension modulée correspond au signal à transmettre (musique, speaker etc...).

Le module 2 est constitué d'une diode et d'un circuit parallèle constitué d'un condensateur et d'un conducteur ohmique de résistance R .

La diode permet de supprimer la partie de la tension $s(t)$ négative. En effet elle ne laisse passer que le courant qui circule de B vers M. Elle est bloquante dans le sens inverse. Le circuit RC permet de sélectionner que l'enveloppe du signal $s_1(t)$. Pour que la tension $s_2(t)$ soit identique à celle de l'enveloppe il faut que la constante de temps du dipôle RC doive être très supérieure à la période T_P de la porteuse $s(t)$.

Le module 3 constitué d'un condensateur permet de supprimer la composante continue du signal $s_2(t)$.

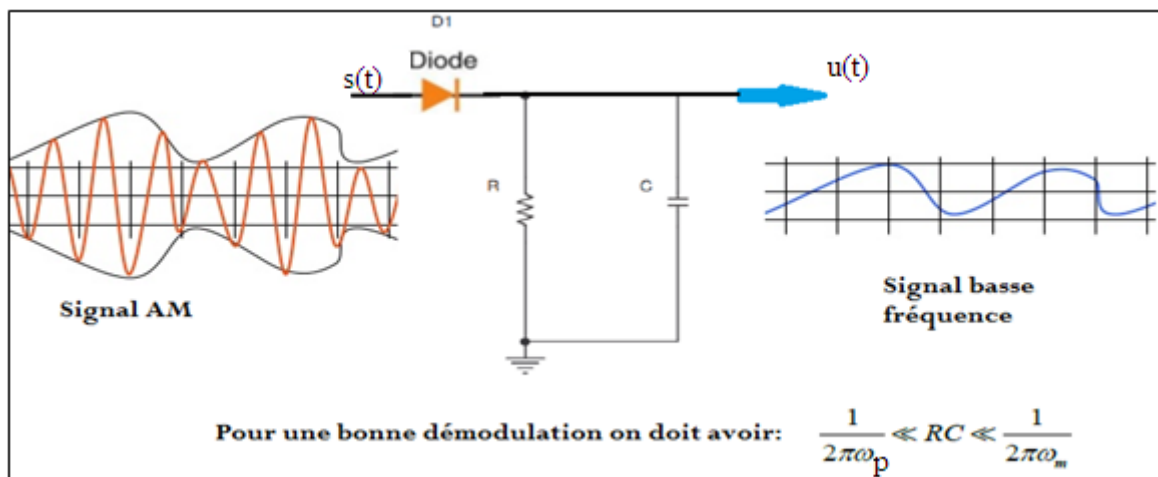
La tension $s_3(t)$ correspondant au signal initial à transmettre est ensuite envoyée dans un amplificateur branchée sur un Haut-parleur qui transforme la tension électrique en onde sonore de même fréquence [27].

II.7. Techniques de démodulations

II.7.1. Démodulation par détection d'enveloppe

La figure II.10 montre le circuit le plus simple pour réaliser la détection d'enveloppe composé d'une diode suivie d'une résistance et d'une capacité. Le fonctionnement du détecteur d'enveloppe est le suivant. Pendant l'alternance positive du signal modulé, la diode

conduit et la capacité se charge rapidement à la valeur maximale du signal d'entrée. Dès que le signal diminue en dessous de sa valeur pic, la diode ne conduit plus. Nous avons alors la lente décharge de capacité C au travers de la résistance R jusqu'à la prochaine alternance positive ou le signal d'entrée devient à nouveau plus élevé que la tension aux bornes de la capacité amenant la diode à conduire, la capacité se charge alors à nouvelle valeur pic et le processus se répète [28].



FigII.10 : Montage détecteur d'enveloppe.

Pour un fonctionnement optimal la constante de temps dans les limites $1/f_p \ll RC \ll 1/f_m$ si la condition $RC \ll 1/f_m$ n'est pas vérifiée, c'est-à-dire que le circuit de détection présente une constante de temps relativement élevée, le signal $u(t)$ aura tendance à ne pas suivre le signal $s(t)$ lorsque l'enveloppe décroît trop rapidement. A l'opposée, si la condition $RC \gg 1/f_p$ n'est pas respectée, le condensateur aura tendance à se décharger trop rapidement donnant un signal détecté $u(t)$ trop ondulé.

NB :

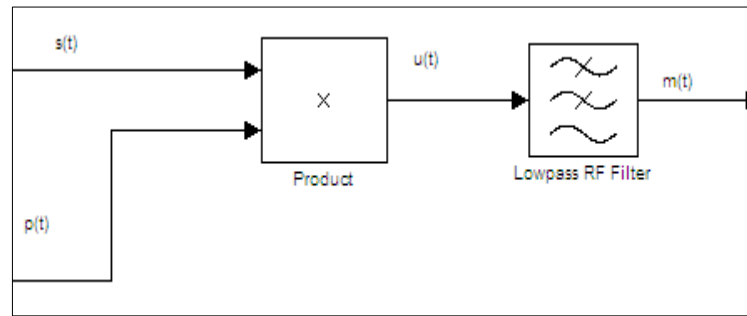
La détection d'enveloppe ne peut être utilisée si le taux de modulation est supérieur à un ou à porteuse supprimée, car dans ce cas, le signal démodulé ne correspond plus au message elle requiert une enveloppe de unipolaire.

II.7.2. Démodulation par détection synchrone (ou cohérent)

La démodulation synchrone est la plus utilisée dans les montages actuels, car elle permet une meilleure restitution du message que la détection d'enveloppe. Le principe consiste à multiplier le signal modulé $s(t)$ par un signal généré par un oscillateur local de même fréquence et de même phase que la porteuse. Le filtre Passe-Bas permet ensuite

d'éliminer les raies créés par la multiplication, autour des fréquences f_0 et $2f_0$: le signal BF $m(t)$ est restitué [29].

Cette démodulation est nécessaire pour la modulation d'amplitude sans porteuse, mais elle peut être aussi utilisée pour la modulation d'amplitude avec porteuse. Elle consiste en un circuit multiplieur mis en cascade avec un filtre passe-bas.



FigII.11 : Montage de détection synchrone.

Le signal $u(t)$ à la sortie du multiplieur s'exprime

$$\text{On a } S(t) = k.[m.\cos(2.\pi.f_s.t) + 1]\cos(2.f_p.t) \tag{II.26}$$

$$\text{Et on suppose disposer de } P(t) = A_p.\cos(2.\pi.f_p.t) \tag{II.27}$$

(Signal de même fréquence et en phase avec la porteuse). Alors, en sortie du multiplieur, on récupère

$$U(t) = k.[m.\cos(2.\pi.f_m.t) + 1]\cos(2.\pi.f_p) \times A_p.\cos(2.\pi.f_p.t) \tag{II.28}$$

$$\begin{aligned} U(t) &= k.A_p [m.\cos(2.\pi.f_m.t) + 1]\cos^2(2.\pi.f_p.t) = k.A_p [m.\cos(2.\pi.f_m.t) + 1] \frac{1 + \cos(4.\pi.f_p.t)}{2} \\ &= \frac{k.(A_p)}{2} [1 + m.\cos(2.\pi.f_m.t) + \cos(4.\pi.f_p.t) + m.\cos(2.\pi.f_m.t).\cos(4.\pi.f_p.t)] \end{aligned} \tag{II.29}$$

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'ensemble des techniques de la modulation/démodulation AM et leurs expressions mathématiques, qui nous permettent d'avoir l'émission/réception de l'information de bonne qualité.

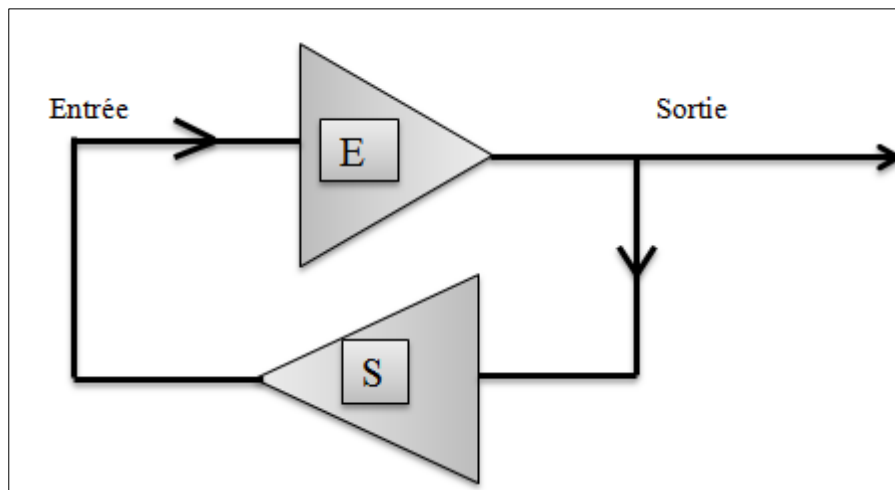
III.1. Introduction

Après l'étude théorique bien détaillée de la modulation AM avec porteuse, nous allons nous intéresser dans ce chapitre à la simulation et la réalisation d'un modulateur/démodulateur AM.

III.2. Les éléments de base d'une modulation

III.2.1. L'oscillateur :

Est un amplificateur (système bouclé) placé volontairement dans un état d'instabilité. Il est constitué d'une chaîne directe E apportant de l'amplification et un quadripôle de réaction (chaîne de retour) qui réinjecte à l'entrée de l'amplificateur une fraction du signal de sortie S (réinjecte la tension de sortie vers l'entrée) [30].



FigIII.1 : Principe d'un oscillateur.

III.2.2. Critère de stabilité de Barkhausen

La condition pour avoir une oscillation stable est donc :

$$E.S=1 \quad \text{(III.1)}$$

Cette condition est appelée le critère de stabilité de Barkhausen, en hommage à Heinrich. Barkhausen qui l'a énoncé en 1920. E et S sont des nombres complexes, on peut donc décomposer l'équation (1.3) en module et phase, et l'on obtient alors les deux conditions de Barkhausen [31]:

$$\text{Module de}(E.S)=1 \quad \text{et} \quad \varphi_E + \varphi_S = 0 = \pm 2\pi = \pm 360^\circ \quad \text{(III.2)}$$

III.2.3. L'oscillateur de Colpitts

Ce type est par contre très courant. Le principe de son fonctionnement est de prélever une partie du signal de sortie et de le réinjecter à l'entrée d'un amplificateur comme dans tous les oscillateurs ; mais Cette fois-ci au lieu d'effectuer le prélèvement du signal au moyen d'un transformateur ou d'un autotransformateur, on le fait par un diviseur capacitif.

On montre que la fréquence d'oscillation est définie par la résonance de L en parallèle avec la capacité équivalente à C, C1 et C2 [32].

III.2.4. Avantages

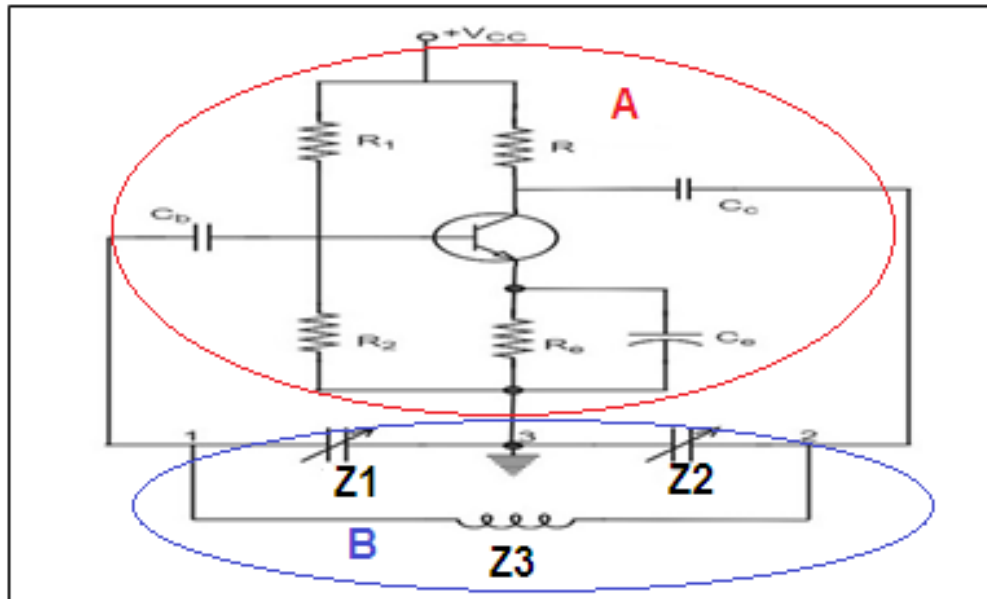
Les avantages de l'oscillateur Colpitts sont les suivants :

- L'oscillateur Colpitts peut générer des signaux sinusoïdaux de très hautes fréquences.
- Il peut résister aux hautes et basses températures.
- La stabilité de la fréquence est élevée.
- La fréquence peut être modifiée en utilisant les deux condensateurs variables.
- Moins de composants suffisent.
- L'amplitude de la sortie reste constante sur une plage de fréquences fixe.
- L'oscillateur Colpitts est conçu pour éliminer les inconvénients de l'oscillateur de Hartley et ne présente aucun inconvénient particulier. C'est pourquoi il existe de nombreuses applications d'un oscillateur Colpitts.

III.2.5. Les applications de l'oscillateur Colpitts

- L'oscillateur Colpitts peut être utilisé comme générateur d'onde sinusoïdale haute fréquence.
- Ceci peut être utilisé comme capteur de température avec certains circuits associés.
- Principalement utilisé comme oscillateur local dans les récepteurs radio.
- Il est également utilisé comme R.F. Oscillateur.
- Il est également utilisé dans les applications mobiles.
- Il a beaucoup d'autres applications commerciales.

➤ **construction**



FigIII.2 : Oscillateur de Colpitts.

Les résistances R1, R2 et Re fournissent les conditions de polarisation nécessaires au circuit le condensateur Ce fournit AC la terre fournissant ainsi toute dégénérescence du signal. Cela permet également une stabilisation de la température.

Les condensateurs Cc et Cb sont utilisés pour bloquer DC. Et de fournir un AC. Chemin Le starter radiofréquence offre une très haute impédance aux courants haute fréquence, ce qui signifie qu'il court-circuite pour DC. Et ouvre pour AC. Par conséquent, il fournit DC charge pour le collecteur et conserve le fichier AC courants hors DC source d'approvisionnement.

➤ **Circuit de réservoir**

Le réseau de détermination de fréquence est un circuit résonant parallèle constitué de condensateurs variables C1 et C2 ainsi que d'un inducteur L. Les jonctions de C1 et C2 sont mises à la terre. Le condensateur C1 a l'une de ses extrémités connectée à la base via Cc et l'autre à l'émetteur via Ce. La tension développée à travers C1 fournit la rétroaction régénératrice requise pour les oscillations soutenues.

➤ **Opération:**

$$V_1 = BV_s = \frac{Z_1}{Z_2 + Z_3} \quad (\text{III.3})$$

Chapitre III Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation

$$Z_P = Z_1 // (Z_2 + Z_3) = \frac{Z_1(Z_2 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \quad (\text{III.4})$$

On a : $V_s = AV_1$ (III.5)

✓ A : c'est la chaîne directe : $A = \frac{-Z_P // R_C}{r_e}$ (III.6)

✓ B : c'est la chaîne de retour : $B = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$ (III.7)

Condition d'oscillation est :

$$A.B=1 \quad , \quad \text{Donc} \quad \frac{c_2}{c_1} = \frac{R_C}{r_e} \quad (\text{III.8})$$

Sachant que :

$$c_2 \gg c_1 \quad \text{On a : } B = \frac{c_2}{c_1} \quad \text{et} \quad |A| = \frac{R_C}{r_e} \quad \text{Avec} \quad r_e = \frac{h_{ie}}{(\beta + 1)} \quad (\text{III.9})$$

$$C_{eq} = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} \approx c_1 \quad (\text{III.10})$$

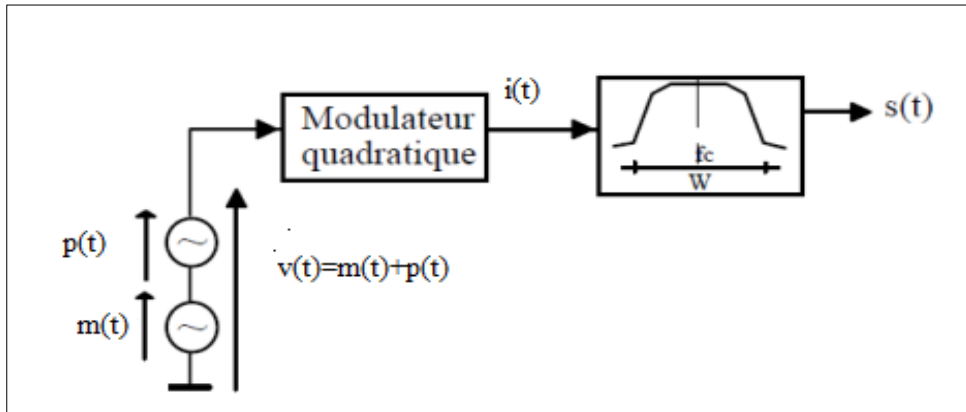
$$\text{Avec : } Z_1 = \frac{1}{j c_1 \omega} \quad , \quad Z_2 = \frac{1}{j c_2 \omega} \quad \text{et} \quad Z_3 = j L \omega \quad (\text{III.11})$$

$$Z = \frac{Z_L Z_c}{Z_L + Z_c} = \frac{j L \omega \left(\frac{1}{j C_{eq} \omega} \right)}{j L \omega + \frac{1}{j C_{eq} \omega}} = \frac{\frac{L}{C_2}}{j \left(L \omega - \frac{1}{C_2 \omega} \right)} \quad (\text{III.12})$$

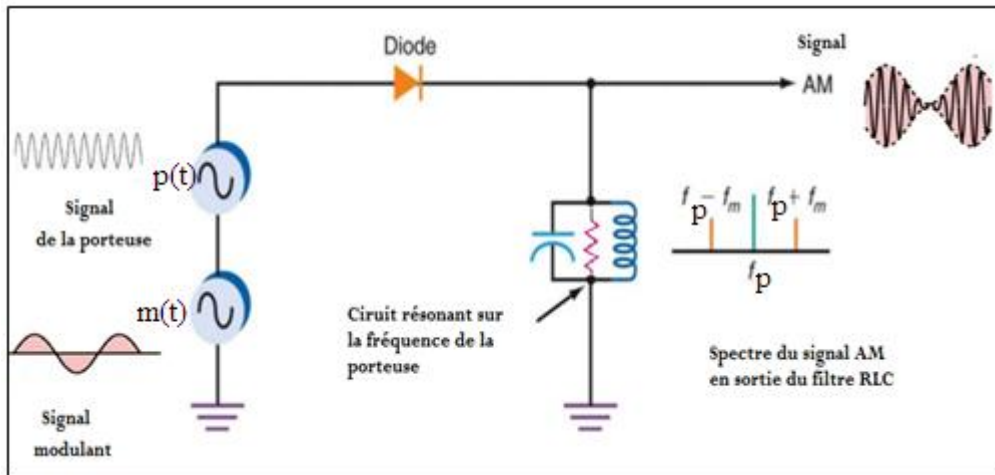
Donc la fréquence de résonance est donné par :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C_2}} \quad (\text{III.13})$$

III.3. Modulateur :



FigIII.3 : Schéma bloc d'un modulateur (non linéaire) [3].



FigIII.4 : Schéma électronique d'un modulateur (non linéaire).

Pour réaliser une modulation d'amplitude on doit utiliser un système répondant à une loi non linéaire de la forme générale :

$$i(t) = aV + bV^2 + cV^3 + \dots + xV^n \tag{III.14}$$

Nous pouvons cependant simplifier les calculs en prenant une simple loi quadratique

$$i(t) = f(V^2) \text{ Telle que : } i = aV + bV^2 \tag{III.15}$$

Si $V(t)$ représente $m(t)+P(t) = A_m \cos(\omega_m \cdot t) + A_p \cos(\omega_p \cdot t)$ on obtient :

$$i(t) = a(A_m \cos(\omega_m \cdot t) + A_p \cos(\omega_p \cdot t)) + b(A_m \cos(\omega_m \cdot t) + A_p \cos(\omega_p \cdot t))^2 \tag{III.16}$$

En développant et en regroupant il vient : $b(A_m^2 + A_p^2)$

$$i(t) = \frac{b(A_m^2 + A_p^2)}{2} + aA_m \cos(\omega_m t) + aA_p \cos(\omega_p t) - \frac{bA_m \cos(2\omega_m t)}{2} - \frac{bA_p^2 \cos(2\omega_p t)}{2} + bA_m A_p (\cos(\omega_p - \omega_m)t - \cos(\omega_p + \omega_m)t) \quad (\text{III.17})$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{b(A_m^2 + A_p^2)}{2} \text{ La composante continue.} \\ + aA_m \cos(\omega_m t) + aA_p \cos(\omega_p t) \text{ Les composantes aux fréquences } f_m \text{ et } f_p. \\ - \frac{bA_m \cos(2\omega_m t)}{2} - \frac{bA_p^2 \cos(2\omega_p t)}{2} \text{ Les composantes aux fréquences } 2f_m \text{ et } 2f_p. \\ + bA_m A_p (\cos(\omega_p - \omega_m)t - \cos(\omega_p + \omega_m)t) \text{ Les ondes latérales supérieures et inférieures} \end{array} \right.$$

Il est important de souligner ici l'effet d'un élément non linéaire qui produit :

- une raie de composante continue.
- une raie à la fréquence f_m , une autre à la fréquence f_p .
- une raie à la fréquence $2f_m$, une autre à la fréquence $2f_p$.
- une raie à une fréquence égale à la différence des fréquences, et une autre à la somme des fréquences.

En pratique on n'utilise pas une diode pour produire un signal modulé en amplitude, on emploie plutôt des modulateurs à tubes ou à transistors [33].

III.4. Démodulateur

III.4.1. Les filtre

III.4.1.a. Rôle des filtres

Le rôle principal des filtres en électronique et en traitement du signal est d'atténuer certaines composantes d'un signal (partie inutile du signal) et de laisser passer d'autres (partie utile du signal). Plusieurs types de filtres existent, à titre d'exemple : les filtres passe-bas, passe-haut, passe Bande etc...

Les filtres peuvent être classés selon leurs natures (analogiques, numériques), selon leurs Composants (actifs, passifs) ou selon leurs degrés. Nous allons dans la suite de ce chapitre nous Intéresser aux filtres passe bas passifs (utilisant des composants passifs que les résistances et les capacités) et passe bas actifs (utilisant des composants actifs tels que les amplificateurs opérationnels ou les transistors) de premier et de second ordre [34].

III.4.1.b. Filtre passe bas passif du premier ordre(ou cellule RC)

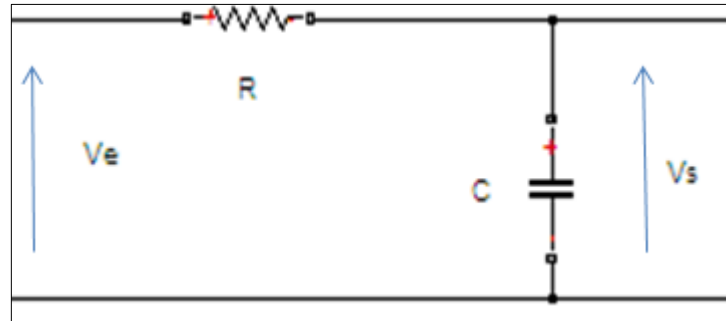


Fig.III.5 : Filtre passe bas premier ordre.

Nous supposons que le filtre est à vide. V_e est la tension sinusoïdale d'entrée, V_s est la tension sinusoïdale de sortie.

➤ **Calcul de V_s en fonction de V_e**

Comme le filtre est à vide(le courant de sortie est nul).

On peut appliquer le pont diviseur de tension pour calculer V_s de V_e . Le pont diviseur nous donne :

$$V_s = V_e \cdot \frac{Z_C}{Z_C + Z_R} \quad \text{(III.18)}$$

La fonction de transfert (notée T complexe) est le rapport $\frac{V_s}{V_e}$:

$$T = \frac{V_s}{V_e} \quad \text{(III.19)}$$

On en déduit que : $T = \frac{Z_C}{Z_C + Z_R}$ (III.20)

Sachant que l'impédance de la résistance vaut $Z_R = R$, et l'impédance de condensateur vaut $Z_C = \frac{1}{jC\omega}$. On en déduit que La fonction de transfert du filtre passe bas est :

$$T = \frac{\frac{1}{jC\omega}}{\frac{1}{jC\omega} + R} = \frac{1}{1 + jRC\omega} \quad \text{(III.21)}$$

Appelons ω_0 le rapport $\omega_0 = \frac{1}{RC}$, La fonction de transfert du filtre passe bas du premier ordre est :

$$T = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \quad (\text{III.22})$$

III.4.1.c. Le filtre passe bas actif de second ordre

Les filtres de *Sallen & Key* sont des filtres actifs construits à partir de réseaux RC comportant seulement des résistors et des condensateurs. L'absence de bobines d'auto-induction permet de les faire fonctionner à basse fréquence, par exemple pour le traitement du signal audio.

Pour les filtres actifs de second ordre, plusieurs structures existent, on intéresse à savoir la structure de *Sallen & Key* [35].

La figure suivante montre le schéma d'un filtre passe-bas de *Sallen & Key* :

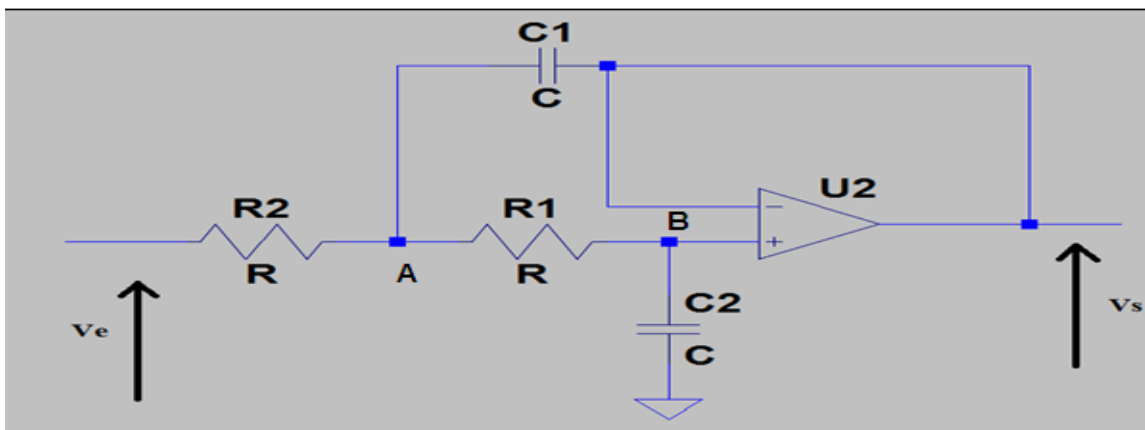


Fig.III.6 : Un filtre passe-bas de Sallen & Key.

Afin de calculer la fonction de transfert de cette structure, le théorème de Millman dans les deux Nœuds A, B sera utilisé. Comme l'amplificateur est supposé idéal on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} V^- = V^+ \\ i^- = i^+ = 0 \\ V_d = V^- - V^+ \\ R_i \rightarrow \infty \\ R_o \rightarrow 0 \end{array} \right. \quad (\text{III.23})$$

Chapitre III Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation

$$V = \frac{\sum \frac{E_i}{R_i}}{\sum \frac{1}{R_i}} \quad (\text{La loi de Millman}) \quad (\text{III.24})$$

Nous obtenons dans le nœud A :

$$V_A = \frac{\frac{V_e}{R_1} + \frac{V_B}{R_2} + \frac{V_s}{1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{PC_2}} \quad (\text{III.25})$$

Et dans le nœud B :

$$V_B = \frac{\frac{V_A}{R_2} + \frac{0}{1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{PC_1}} = \frac{\frac{V_A}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + PC_1} \quad (\text{III.26})$$

$$\text{On a : } V^- = V^+ \Rightarrow V^- = V_B = V_s \quad (\text{III.27})$$

$$V_A = \frac{\frac{V_e}{R_1} + \frac{V_s}{R_2} + V_s \cdot PC_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + PC_2} \quad (\text{III.28})$$

$$V_s = \frac{\frac{V_A}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + PC_1} \quad (\text{III.29})$$

Donc la fonction de transfert du filtre de Sallen& Key est donné pare:

$$T = \frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{P^2 R_2 C_1 C_2 + P(R_1 + R_2)C_2 + 1} \quad (\text{III.30})$$

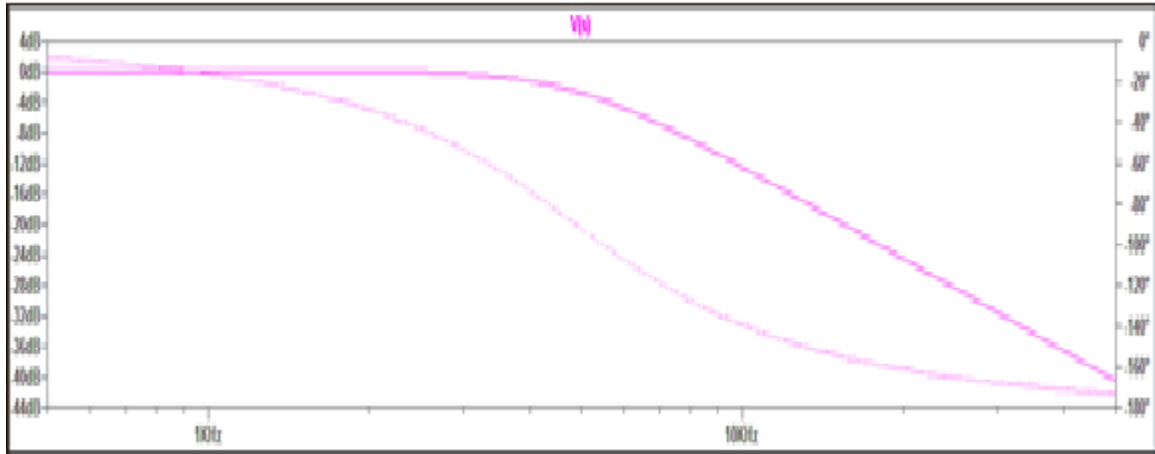


Fig.III.7 : Digramme de bode(le gain et la phase).

III.5. Partie matériel et logiciel

III.5.1. Logiciel de simulation LTspice XVII

LTspice est un logiciel professionnel de simulation des circuits électroniques analogiques. Elle est développée par le fabricant de circuits intégrés *Linare Technologie(LT)* le logiciel se présente comme un éditeur graphique de schéma électrique. Il est disposé également d'un outil de visualisation des résultats de simulation, et de plusieurs bibliothèques de composants pour les éléments passifs traditionnels (Résistances, condensateurs, inductances, diodes, etc.), pour quelques composants actifs (essentiellement des produits *LT* mais aussi des transistors de différents types) ainsi que pour des fonctions mathématiques [35].

III.5.2. Simulation de la modulation /démodulation AM

On utilise par le logiciel LTspice XVII pour obtenir la simulation suivante :

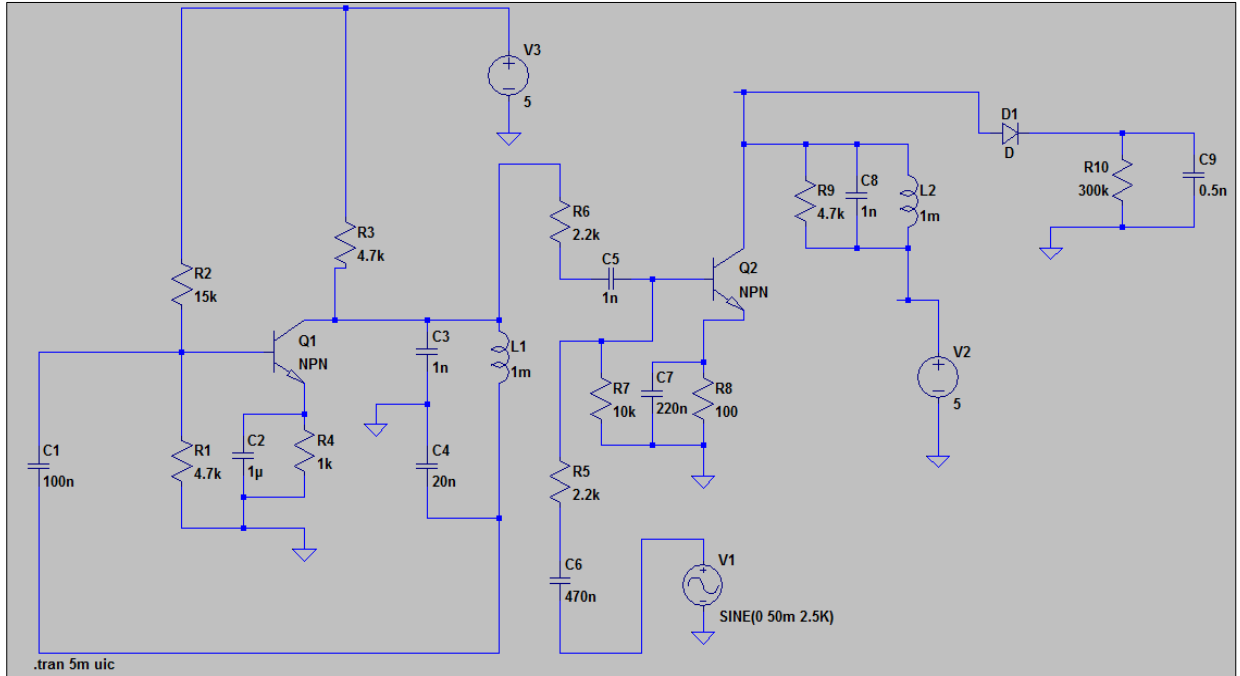


Fig.III.8: Schéma bloc de la modulation AM.

➤ Description du montage

Le schéma représente la modulation/démodulation AM, qui contient trois parties : la première Partie est celle de l'oscillateur Colpitts qu'on déjà expliqué **FigIII.2** (oscillateur de Colpitts). La deuxième partie est celle du modulateur à base d'un transistor bipolaire qui contient un circuit résonant RLC branché au collecteur pour sélectionner le signal modulé. Il est coupé à l'oscillateur par une résistance R6 série avec une capacité C5. Le signal base fréquence (modulant) est couplé à la base du transistor de modulateur par une résistance R5 en série avec une capacité C6.

La troisième partie est celle de la démodulation par détection d'enveloppe. Le circuit est très simple. Il consiste d'une diode de détection en association avec un filtre RC passe-bas.

III.5.2.a. Les simulations de la modulation/ démodulation AM

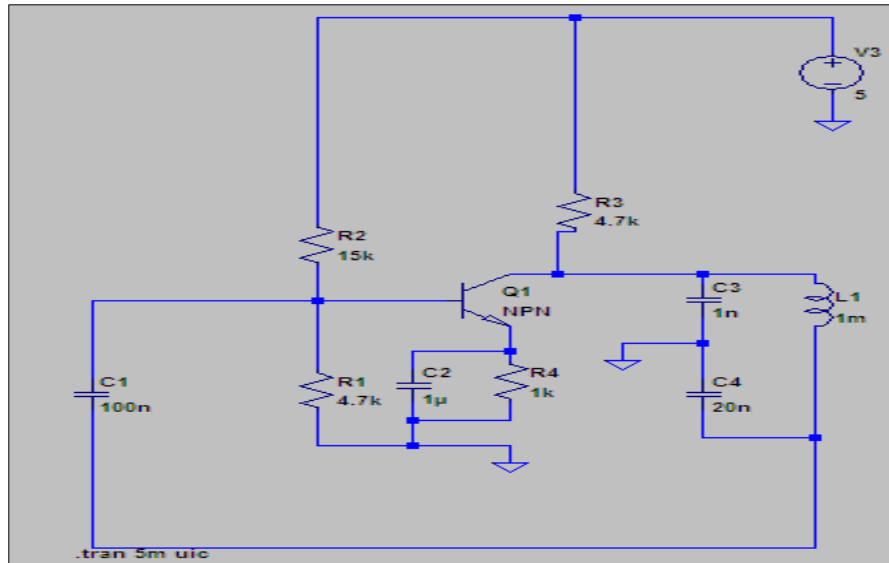


Fig. III.9 : Schéma bloc de l'oscillateur Colpitts.

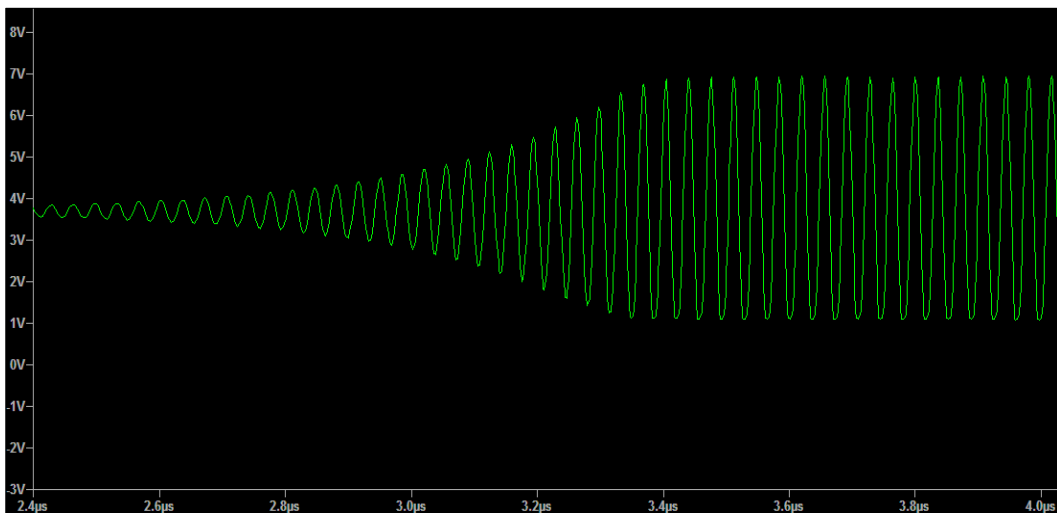


Fig.III.10 : La simulation de l'oscillateur Colpitts.

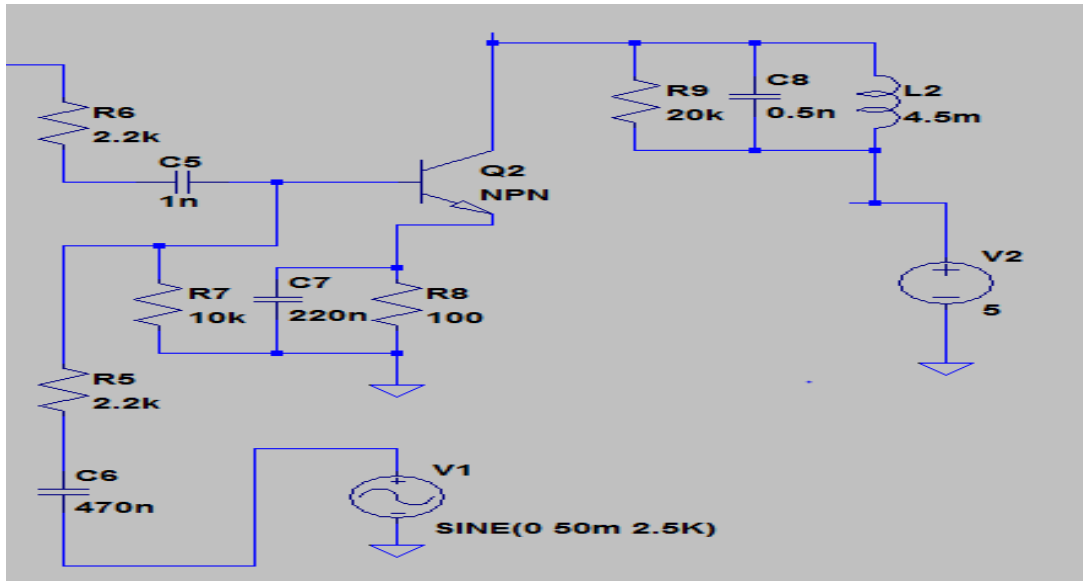


Fig.III.11: Schéma bloc de modulateur AM.

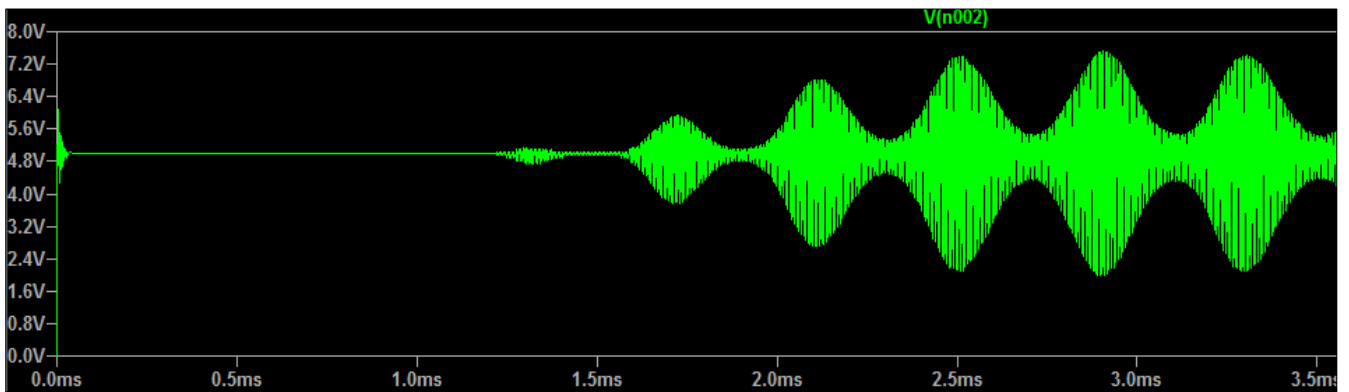


Fig.III.12 : La simulation de la modulation AM.

III.5.3. Simulation de la démodulation AM par un filtre passe bas (1ere ordre)

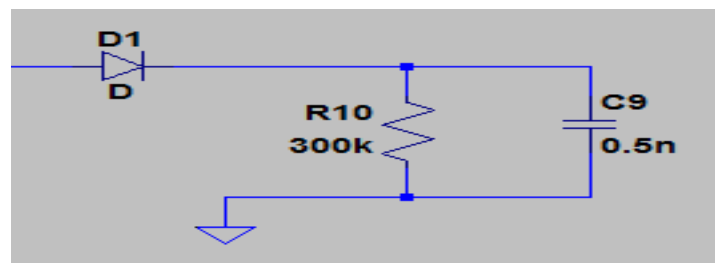


Fig.III.13 : Le schéma de la démodulation AM.

Chapitre III Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation

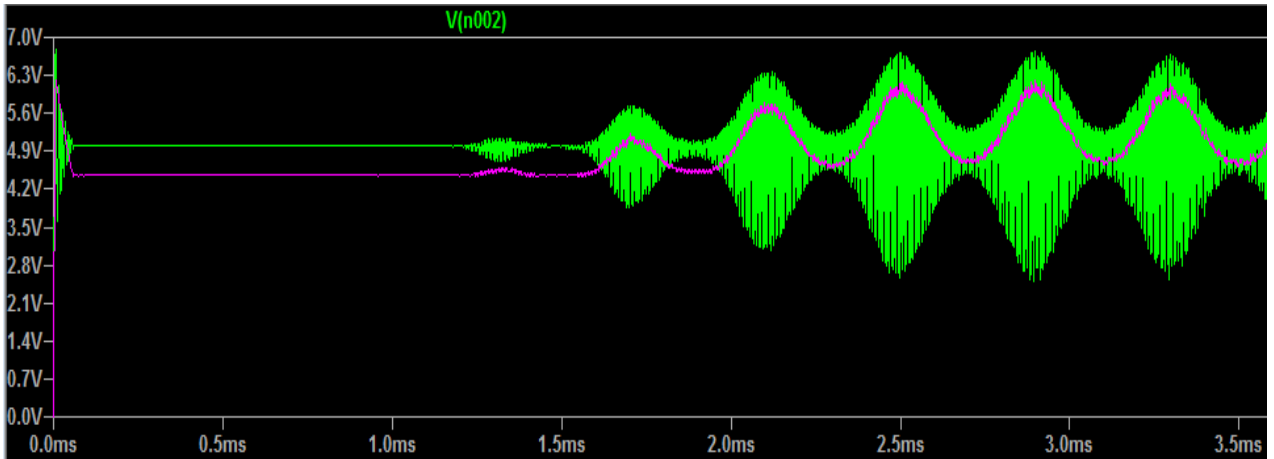


Fig.III.14: La simulation de la démodulation AM.

Signal modulé : —

Détection d'enveloppe : —

Pour une vision claire de la détection d'enveloppe, nous avons garanti le graphique précédente

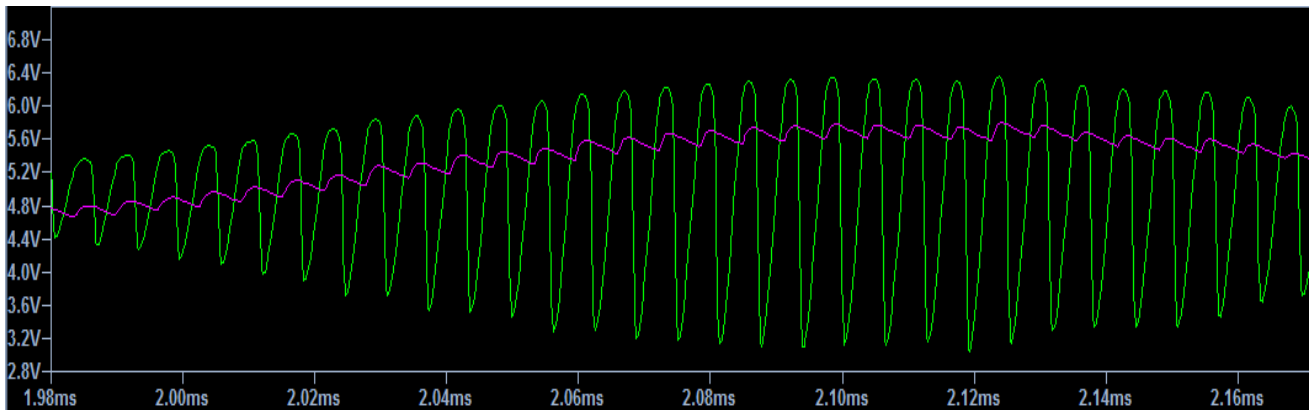


Fig.III.15 : Simulation de la démodulation par détection de crête.

III.5.4. Simulation de la démodulation AM par un filtre passe bas (seconde ordre)

Pour le schéma ci-dessous nous avons gardé le même montage précédant et on ajoute un filtre actif de seconde ordre (Sallen & Key) :

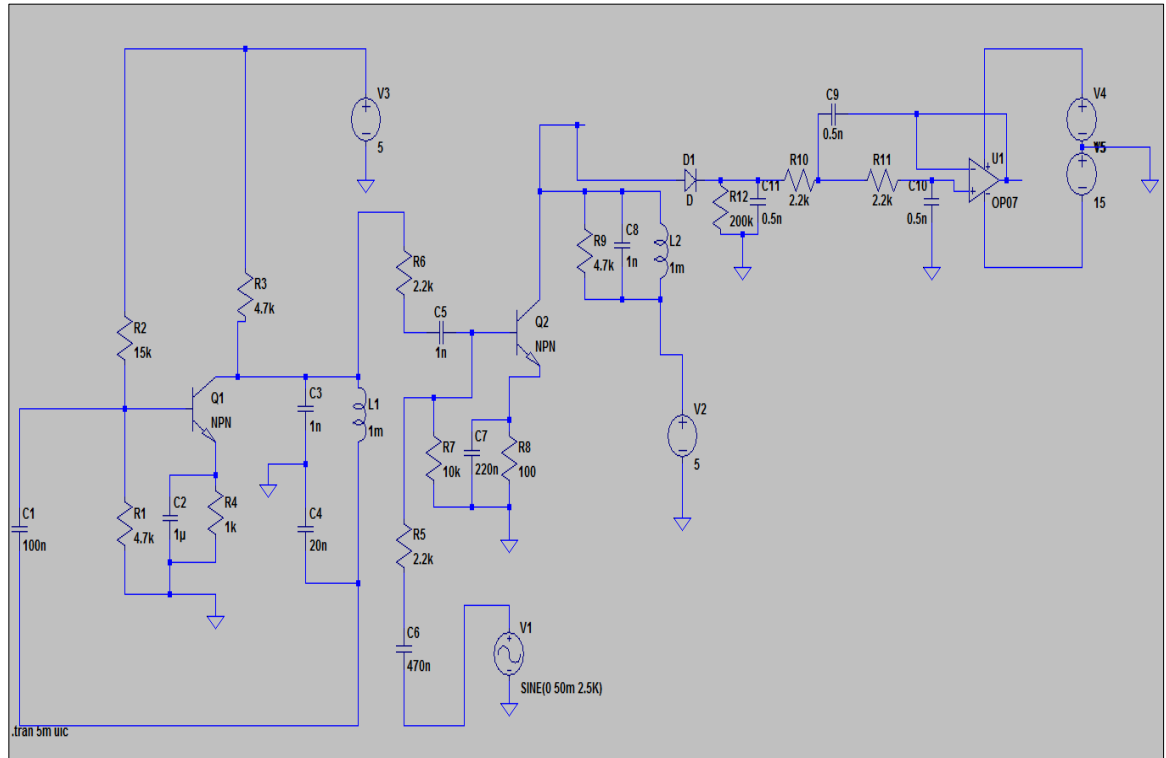


Fig.III.16 : Schéma bloc de la démodulation par le filtre Sallen & Key.

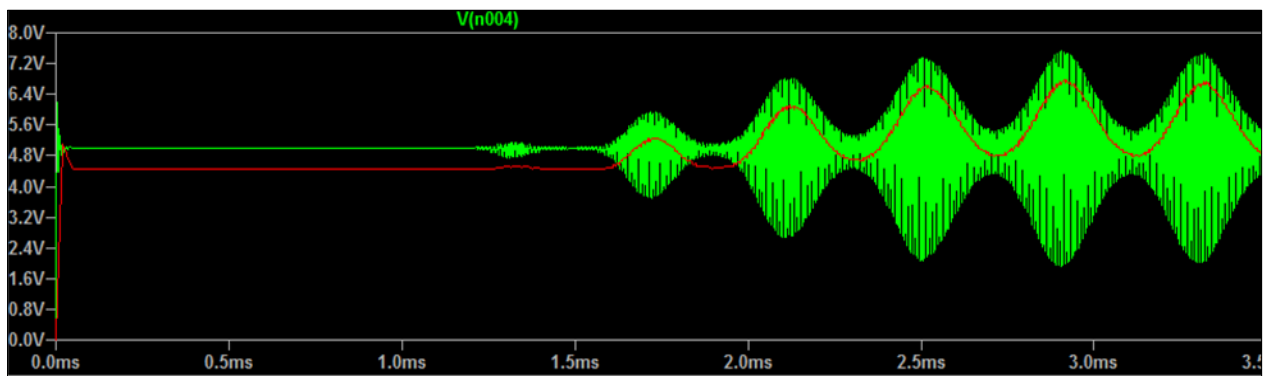




Fig.III.17 : Résulta de simulation par Sallen & Key.

Signal modulé : 

Le signale récupéré : 

Chapitre III Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation

Pour une vision claire de récupération d'information, nous avons coupé le signalé modulé.

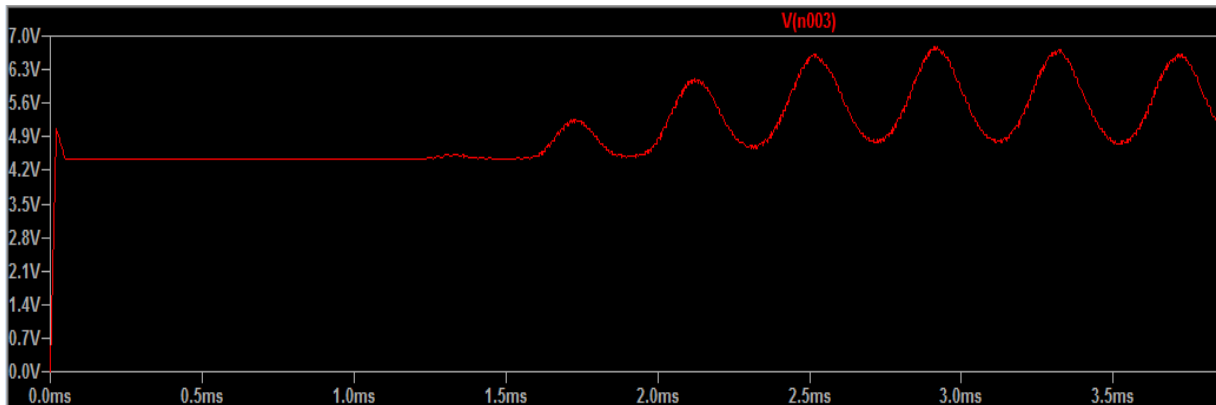
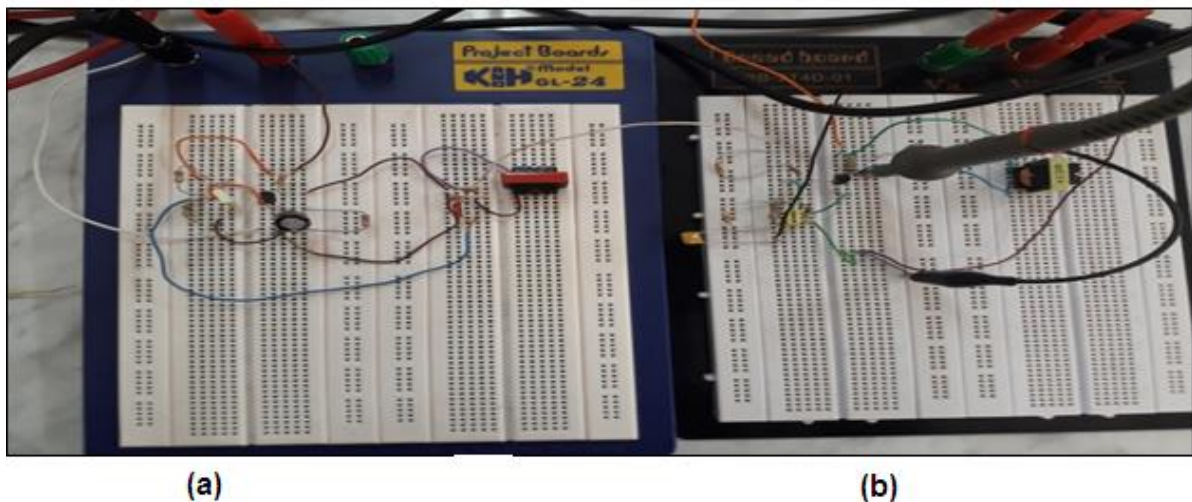


Fig.III.18 : La simulation de récupération d'information par le filtre Sallen & Key.

La figure ci-dessous représente le circuit d'un modulateur à base transistor Sur la plaque d'essai.



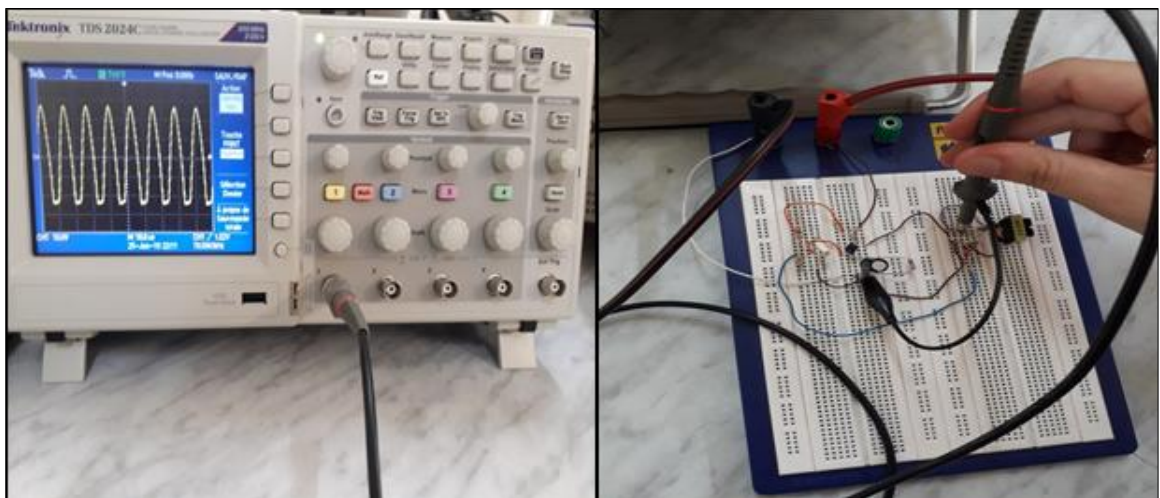
FigIII.19 : Le circuit électronique de la AM(a)L'oscillateur Colpitts (b) modulateur

Sur la plaque d'essai.

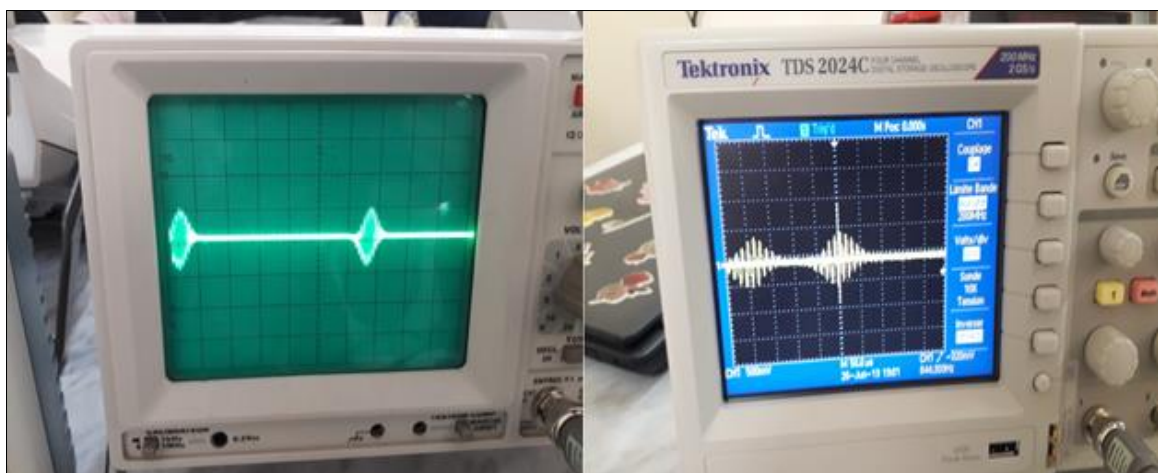
Le montage précédent constitué de deux parties. Partie oscillateur (Colpitts) qui représente le signalé de la porteuse (HF).et l'autre partie le modulateur. Une fois que l'oscillateur est implémenté sur la plaque d'essai et pour assurer le bon fonctionnement de ce dernier nous mettons une sonde sur la sortie (collecteur du transistor). La figure suivante

Chapitre III Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation

représente le signal d'information affiché sur l'oscilloscope, ce qui indique le bon fonctionnement de l'oscillateur. En reliant entre l'oscillateur et le modulateur nous avons obtenu le résultat suivante sur l'oscilloscope.



FigIII.20 : *L'oscillateur Colpitts et leur résultat.*



FigIII.21 : *L'information envoyée par l'oscillateur.*

III.6. Etapes de développement d'un circuit imprimé

Voici, en étape, le mode opératoire à suivre pour fabriquer un circuit imprimé en utilisant un typon :

Chapitre III Réalisation de la platine d'expérimentation pour la modulation AM/démodulation

L'étape1 : découpage à l'aide d'une cisaille et nettoyage de la plaque cuivrée.

L'étape2 : préparation du typon sur des papiers photon avec une imprimante laser

L'étape3 : transfert du toner :

- ✓ Placer la face imprimée sur la plaque cuivrée et chauffer un fer à repasser.

L'étape4 : mettre dans de l'eau, puis enlever le papier photo.

L'étape5 : développement à l'acide.

L'étape6 : rinçage à l'eau pour éliminer l'acide.

L'étape7:perforation, à l'aide d'une mèche de diamètre (0.8mm) procéder à la perforation de tous les parasites.

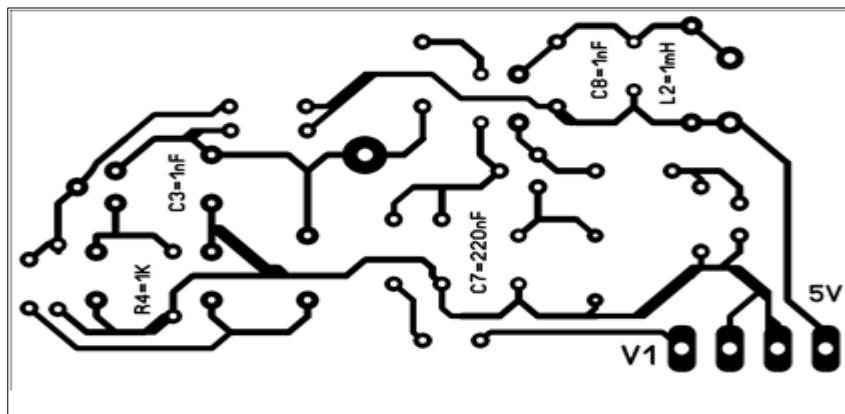


Fig.III.22 : Schéma sprint-layout de circuit imprimé.

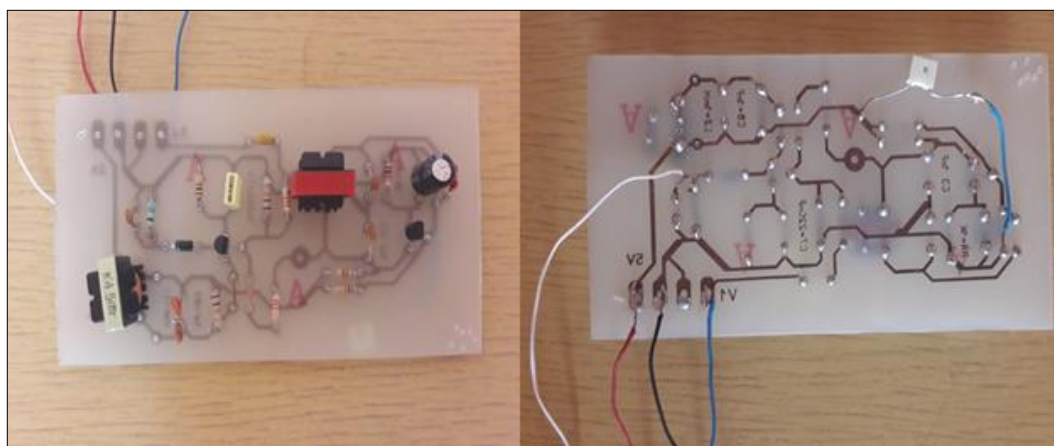
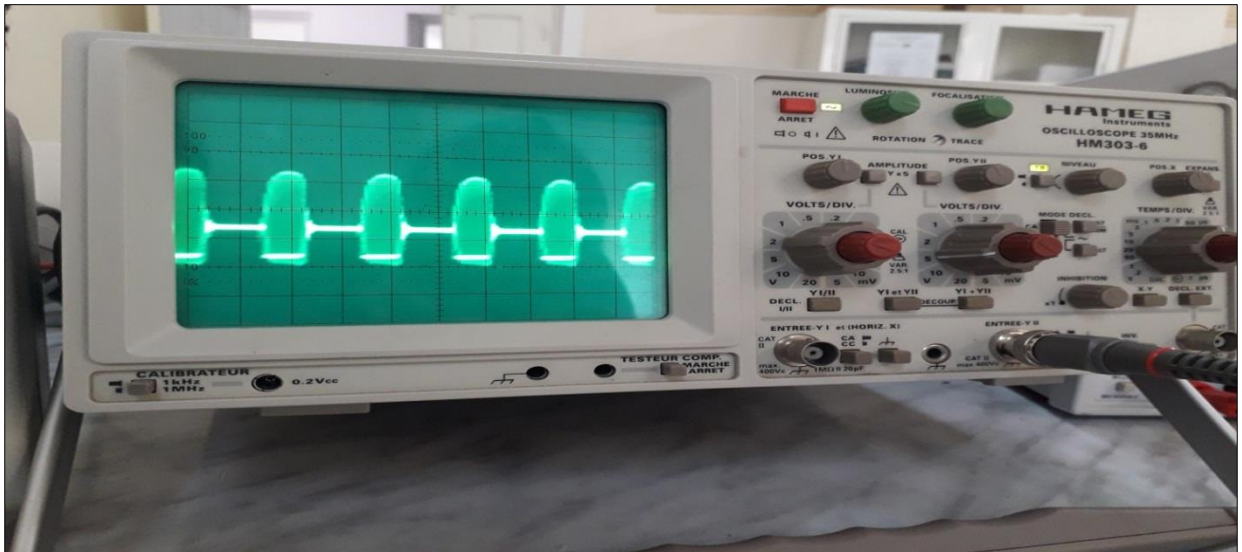


Fig.III.23 : Photo de la carte finale.



FigIII.24: Photo du résultat de la carte finale.

III.7. Conclusion

En clair, comme nous venons de le voir, ce chapitre était consacré, à la conception, simulation et réalisation d'un circuit modulateur à signal porteuse, il a donné une vision sur notre travail.

Conclusion générale

La modulation d'amplitude est la plus ancienne technique de modulation, mais néanmoins ayant fait ses preuves. Son plus gros avantage est la simplicité de réalisation de la modulation et de la démodulation. Il en résulte qu'un système de modulation d'amplitude est relativement bon marché, ce qui explique la raison pour laquelle la diffusion de programme radio AM est populaire depuis si longtemps.

Le travail effectué a été consacré à l'étude et la réalisation d'une maquette didactique pour la modulation AM. Cette maquette sera utilisée au profit de l'étudiante troisième année License télécom.

Pour bien présenter notre travail, nous avons commencé par introduire un état de l'art sur les ondes électromagnétiques et leurs différentes caractéristiques.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié en détail la modulation AM et les différentes techniques de cette méthode ainsi que la condition nécessaire pour avoir une bonne qualité de AM (le taux de modulation).

Le dernier chapitre a été consacré pour présenter les différents résultats de simulation et de réalisation.

Comme perspective à ce travail de fin d'études, nous proposons l'étude et la réalisation de la modulation FM.

Bibliographie

- [1] **S. HADAD**, “*Télécommunication fondamentales : Cours et Exercices*,” Université Mohamed seddik BEN YAHIA de Jijel, 2018.
- [2] **S. TERTOIS**, “*Réduction des effets des non-linéarités dans une modulation multi-porteuse à l’aide de réseaux de neurones*,” Thèse de doctorat, Université de rennes 1, 2003.
- [3] **M. BOURAS**,” *Fonctions de l’électronique “*, chapitre II : modulation et démodulation d’amplitude “, mémoire de master, université de M’Sila. 2018.
- [4] <file:///C:/Users/User/Desktop/Cours%20Télécommunications%20Fondamentales.pdf> (consulter le 22/03/2019).
- [5] **M. BAGHOUL**, “radio communication : cours,” Université Mohamed seddik BEN YAHIA de Jijel, 2018.
- [6] **B. BENAMAR, H. KHAOUANI**, “*Générateur d’impulsions rectangulaires avec rapport cyclique ajustable et gammes de fréquence 19 HZ au 769 KHZ* “, Mémoire de Master, Université Abou BAKR BELKAID – Tlemcen, 2015 .
- [7] <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/physique-chimie/essentiel-sur-ondes-electromagnetiques-communication.aspx> (Consulté le 28/05/2019).
- [8] <http://www.forumaterna.org/files/liversblancs/historeradio-4.pdf>. (Consulté le 28/05/2019).
- [9] **T. BENHABLES**, “*télécommunications fondamentales : cours et td*,” Université des frères MENTOURI Constantine 2010.
- [10] https://sti.acversailles.fr/IMG/pdf/Ressources_les_communications.pdf. (Consulté le 04/05/2019). 2008.
- [11] <http://histoire.info.online.fr/eniac.html>, (consulté le 02/06/2019).
- [12] <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/arpnet>, (consulté le 02/06/2019).
- [13] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Minitel>, (consulté le 02/06/2019).
- [14] <http://www.mobilophiles.com/2014/10/le-premier-telephone-portable-au-monde-le-motorola-dynatac-8000x-dit-brick-phone.html> , (consulté le 02/06/2019).
- [15] <https://selectra.info/telecom/guides/comprendre/frequences>, (consulté le 15/05/2019).
- [16] <https://www.unidivers.fr/forfait-telephone-mobile-changer-operateur-mode-emploi/> , (consulté le 02/06/2019).
- [17] <https://www.phonandroid.com/huawei-mate-9-date-de-sortie-prix-fiche-technique.html>, (consulté le 02/06/2019).

- [18] <http://www.utl-morlaix.org/2017/01/09/les-oem-ondes-electromagnetiques-et-leurs-applications-cr-4/> , (consulté le 23/04/2019).
- [19] **A.AIT BAHA**, “*ondes radio et leur application: modulation des ondes radio* “, mémoire de master, université ibn Zohar Agadir, (consulté le 09/05/2019), 2017.
- [20] <http://tpeondesetsante.e-monsite.com/pages/partie-1.html> , (consulté le 09/05/2019).
- [21] <https://couleur-science.eu/?d=89cef3--les-différentes-ondes-auxquelles-nous-sommes-soumis> , (consulté le 09/05/2019).
- [22] <https://www.forumatena.org/files/livresblancs/IntroductionALaradio.pdf> , (consulté le 09/05/2019).
- [23] https://xcotton.pagespersoorange.fr/electron/DOSSIER_Modulation_et_PLL_Chevilard_Desmouliere.pdf, (consulté le 09/05/2019).
- [24] https://www.lias-lab.fr/perso/fredericlaunay/Cours/T1/T1_TP4&5_AM.doc , (consulté le 23/03/2019).
- [25] **J .ABHRY, Z. ELAARABI**, “ *Modulation & Démodulation d'Amplitude & BLU en radiofréquence (Outils de simulation: Matlab & PSpice)* “, mémoire, Université Hassan II Ain Chock, Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, 2010,
- [26] <https://fr.scribd.com/doc/45922713/Modulation-demodulation-am-et-blu> (consulter le 25/04/2019)
- [27] http://thierry.col2.free.fr/restreint/exovideo_lycee/resum_spe/ch5_produire_son_communiquer.htm, (consulté le 23/03/2019).
- [28] **H. HSU**, (2004), signaux et communication, Edi science, France IME25110 Baume-les-Dames,
- [29] <http://ebrois.free.fr/cours/electronique/am/am.htm>, (consulté le 23/03/2019).
- [30] http://issammabrouk.weebly.com/uploads/2/0/6/1/20614048/les_oscillateurs.pdf (Consulter le 04/03/2019).
- [31] https://physique.maennel.pagesperso-orange.fr/Wa_files/8_20Th_C3_A9orie_20des_20oscillateurs_20v4.pdf, (Consulté le 23/03/2019).
- [32] : **O. PILOUD**,” le radio amateur”, Edition TECHNIP, 25rue Gignoux, 75015paris, France, 2007.
- [33] : **P. CORNELIS**, “les modulations”, mémoire de master, rue Ballings, 88 1140 Bruxelles, 2000

- [34] : http://issammabrouk.weebly.com/uploads/2/0/6/1/20614048/les_filtres_actifs_2_1.pdf , (Consulté le 23/05/2019).
- [35] : http://thierryperisse.free.fr/documents/LTspice/Notice_utilisation_LTspiceUPS-CV-2010-14.pdf, (consulté le 23/04/2019)
-