Table des matières

Remerciements 1
Table des matières 2
ACRONYMES (en français) 3
INTRODUCTION GENERALE 4
Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA S.N.R.T 5
1-Historique 5
2-Organigramme de la S.N.R.T (Station régionale de Fès) 5
a)Direction générale de radiodiffusion 6
b)Unité de maintenance 6
3-Equipements et fonctionnement des appareils 6
a)L'onduleur 6
b)Le système informatique NETIA 7
c)Le microphone 7
d)L'insert téléphonique 8
e)La console (ou le pupitre) 8
f)Le codec 9
g)Le NAGRA 9
Chapitre 2 : ETUDE DE L'EMISSION RADIO DEPUIS LA STATION B.F EN PASSANT PAR LA H.F JUSQU'AU RECEPTEURS (cas de la SNRT FES) 10
1-Introduction 10
2-Basse fréquence 10
3-Haute fréquence 11
1-La génération puis l'amplification de la porteuse haute fréquence 12
2-Amplification du signal B.F 12
3-La modulation puis le transport vers l'antenne 12
4-La diffusion 13
4-Le récepteur 15
Chapitre 3 : OPTIMISATION DE L'EMISSION F.M :EMETTEUR DE ZARHOUN 16
1-Cahier de charge 16
2-Objectif visé 16
3-Simulations 16
CONCLUSION GENERALE 30
GLOSSAIRE 31

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

ACRONYMES (en français)

A.M: Modulation d'amplitude

C.A.N: Convertisseur Analogique Numérique

C.D.M : Centre de contrôle et de distribution de Modulation

C.N.A: Convertisseur Numérique Analogique

F.M: Modulation de fréquence

L.A.N: Réseau local

L.G.D: Ligne Grande Distance

O.N.E : Office National d'Electricité

P.M : Modulation de phase

S.N.R.T: Société Nationale de Radiodiffusion et de Télévision

U.P.S: Unité de Prise de Son

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la nuit des temps, l'homme s'échange de l'information sous diverses formes. Au cours du développement des dispositifs de télécommunication, il est rapidement apparu indispensable de coder l'information à transmettre, soit pour adapter l'information au canal de transmission (fibre optique, câble coaxial, faisceaux hertziens), soit pour transmettre simultanément plusieurs signaux informatifs sur un seul et même canal. De ce fait, le codage de l'information s'est révélé être un point-clef qui fait aujourd'hui encore l'objet de recherches et de normalisation. L'une des formes de codage de l'information parmi les plus simples et les plus anciennes consiste à effectuer une translation en fréquence du signal informatif. Ce type de codage est appelé modulation. Dans le cas du traitement analogique des signaux, on distingue trois types de modulations: la modulation d'amplitude (AM), la modulation de phase (PM) et la modulation de fréquence (FM).

Le fonctionnement de ces trois modulations repose sur la modification d'une des caractéristiques (fréquence, phase ou amplitude) d'un signal, généralement sinusoïdal, de haute fréquence, qui est transmis tel quel en l'absence de signal informatif. Pour ce faire, la radiodiffusion utilise des émetteurs qui permettent une amplification puis une modulation soit AM, soit FM du signal informatif sonore à transmettre.

Notre projet a pour objectif de faciliter la transmission du signal entre la station radio et l'émetteur. Pour ce faire, nous allons d'abord commencer par présenter l'organisme d'accueil, puis nous expliquerons la Basse fréquence et la Haute Fréquence avant de finir par le travail effectué suivant le cahier de charge qui nous a été fixé.

Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA S.N.R.T

1. Historique

Quelques dates importantes nous permettent de nous faire une idée sur l'évolution de cette institution :

L'ancêtre de la S.N.R.T, Radio Maroc, commença à émettre lors du protectorat le **13 avril 1928**sous tutelle de l'O.C.P.T

En **octobre 1966**, la Radiodiffusion Marocaine devient un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière

En **1978**la S.N.R.T est alors rattachée à l'Administration Centrale du Ministère de l'Information.

En **avril 2005**, la SNRT succède à la RTM.

2. Organigramme de la S.N.R.T (Station régionale de Fès)

La figure ci-dessous représente l'organigramme de la direction régionale de radiodiffusion où nous avons effectué notre stage de fin de cycle :

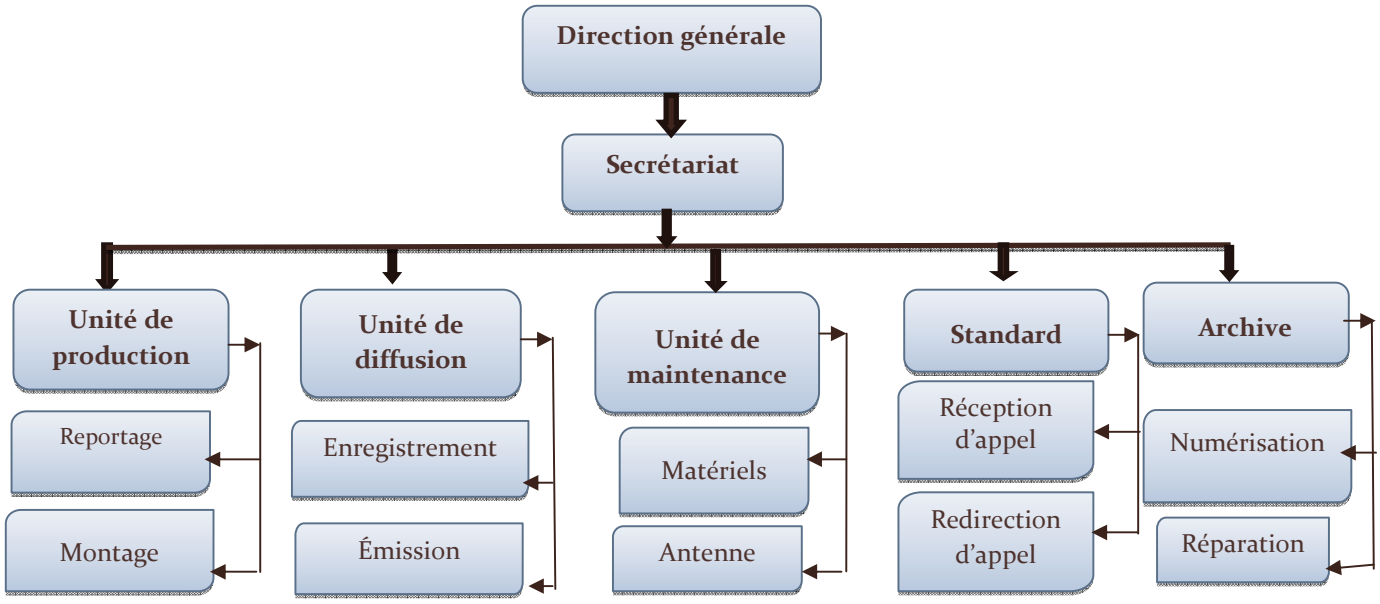


FIGURE 1: Organigramme de la direction de la station régionale SNRT Fès

Nous allons donc définir l'action du service dans lequel nous avons effectué notre stage et de la direction générale

a) Direction générale de radiodiffusion

Elle a pour mission de définir et de contrôler les orientations en matière de programmes et d'information radiophoniques diffusées à l'antenne, d'œuvrer à la promotion de la culture nationale et à sa diffusion sur le territoire, d'assurer les partenariats et de gérer tout l'aspect officiel et juridique de l'institution.

b) Unité de maintenance

Cette unité a été notre réel endroit de travail. En effet, elle assure la maintenance et le bon fonctionnement de tous les appareils de la station, lecontrôle journalier de l'antenne de la station et de la qualité des signaux émis, puis de la bonne réception au niveau des émetteurs AM et FM.

3. Equipements et fonctionnement des appareils

La station régionale S. N.R.T de Fès dispose de plusieurs appareils de radiodiffusion qui permettent aux techniciens et aux journalistes d'assurer la transmission de l'information à travers le territoire. Dans ce volet, nous allons présenter succinctementles différents équipements nécessaires à cette transmission.

a) L'onduleur

Un onduleur (fig. 2) est un dispositif permettant à la station de disposer du courant électrique même en cas de coupure. C'est un convertisseur permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.

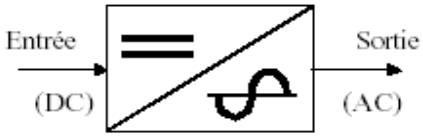


Figure 2 : schéma symbolique de l'onduleur.

b) Le système informatique NETIA

NETIA permet aux différentes unités de coordonner leur fonctionnement à travers le serveur informatique qui le gère. Il est constitué de la base de données acquise au niveau des archives, de la production, de l'enregistrement du montage et de la diffusion. Son fonctionnement est simple et est basé sur le réseau local L.A.N qui permet au switch d'envoyer les paquets d'information à travers les divers ordinateurs de la station (fig 3)

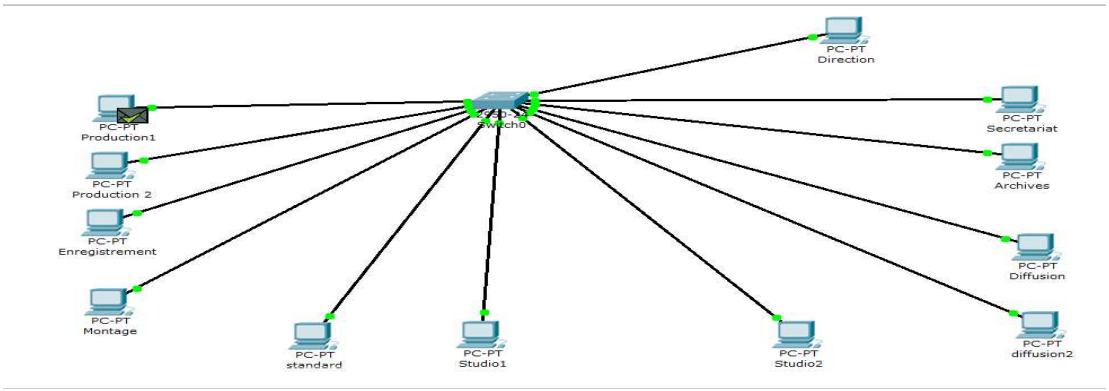


Figure 3: Simulation du système L.A.N utilisé par la station

A travers ce petit exercice nous avons, vérifié tous les protocoles réseauxrequis (ARP, ICMP…) et dans la station, cela fonctionne à merveille.

c) Le microphone

Il est à la base de la qualité de réception du signal sonore.

- **Principe**

Les microphones sont des transducteurs: ils transforment l'énergie mécanique véhiculée par une onde sonore, en énergie électrique.

Il existe plusieurs types de microphones se caractérisant par leur courbe de réponse, leur alimentation et leur direction :

- Microphone dynamique
- Microphone à condensateur (électrostatique)
- Microphone à électret
- Microphone à ruban
- Microphone à zone de pression

d) L'insert téléphonique

Il peut s'adapter à n'importe quel type de console (ou de pupitre). Il est souvent utilisé pour les jeux en direct, les débats ou conférences nécessitant des intervenants externes, et aussi en cabine journaliste. Il permet :

- D'envoyer le signal téléphonique du pupitre vers le correspondant et vice versa
- De mettre le correspondant en attenteavant de le passer à l'antenne (fig 4).

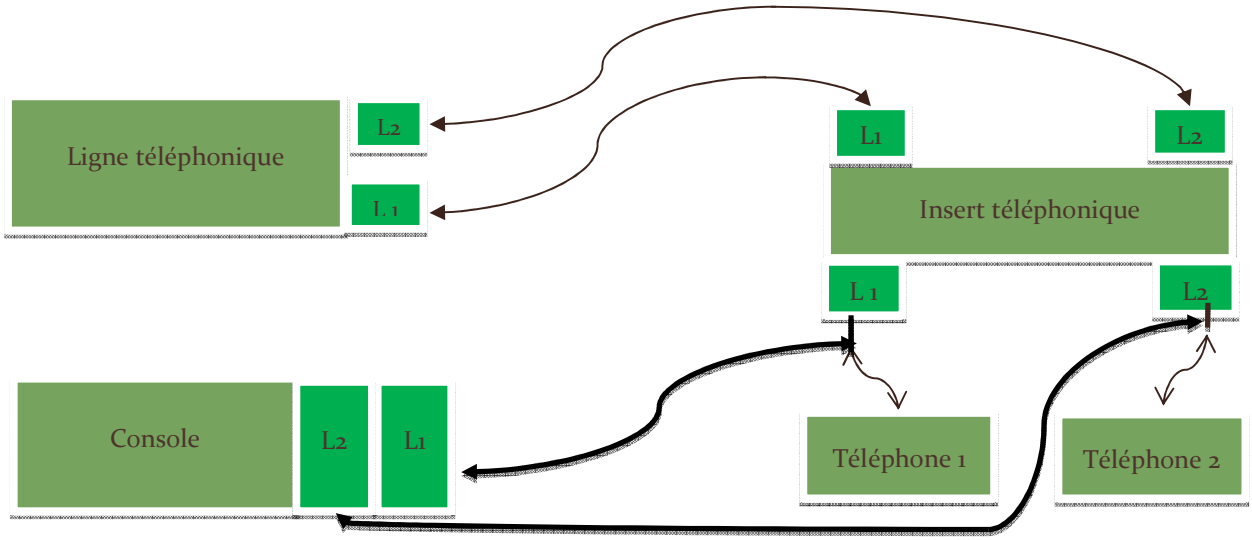
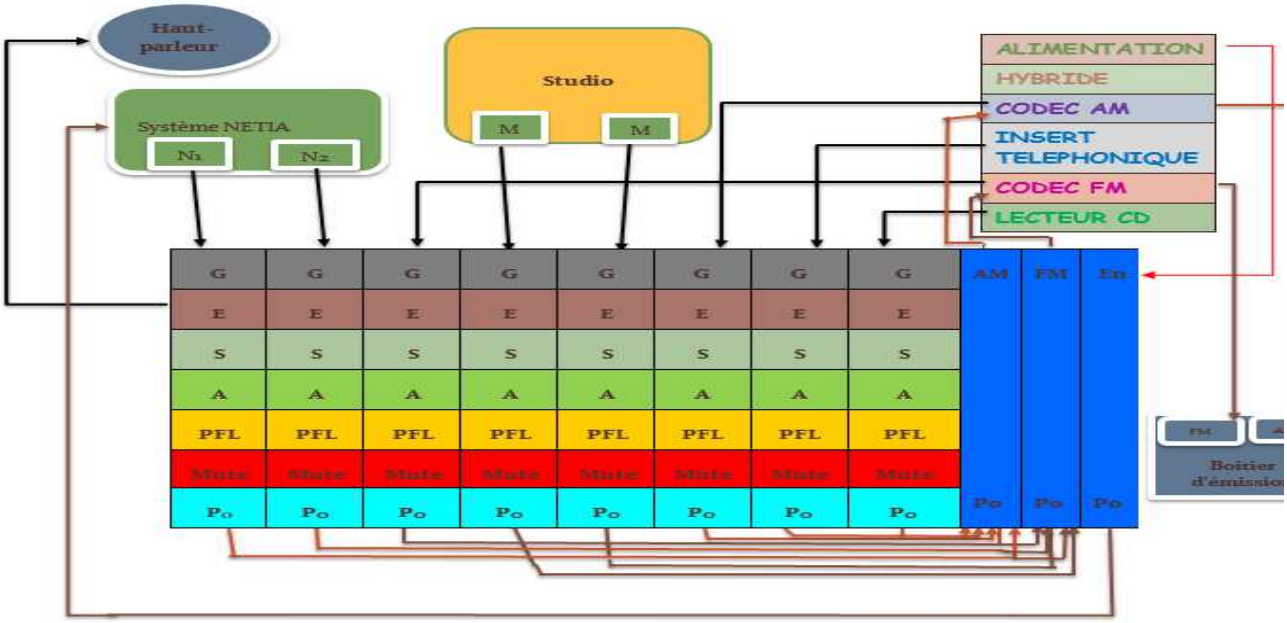


Figure 4: Cheminement de l'appel téléphonique depuis la source vers la console en passant par l'insert téléphonique

e) La console (ou le pupitre)

C'est l'appareil qui gère tous les auxiliaires, et tous les composants internes au studio. Il permet de corriger le signal provenant du microphone, d'envoyer le signal vers les auxiliaires, de recevoir les signaux de l'extérieur, d'assurer toute la liaison entre les différentes entrées et sorties. Elle assure également le mixage (fig. 5).



Légende :M : Microphone, N : Ligne du système NETIA, G: Gain, E: Equaliseur rotatif, S: Stéréophonie (Left and Right), PFL: Ecoute avant émission, Po: Potentiomètre rectiligne, En : Enregistrement

Figure 5 : Le câblage de la console et des auxiliaires

f) Le codec

C'est la compression des deux mots codage-décodage, il joue le rôle d'un C.A.N et d'un C.N.A. Il permet donc de numériser le signal, de le compresser avant de l'envoyer vers les émetteurs puis, de le décompresser et de le rendre analogique lors de la réception. Il est donc très important dans la liaison entre la station et les émetteurs.

g) Le NAGRA

Il s'agit d'un appareil d'enregistrement et de lecture utilisé lors des reportages. Il peut faire aussi:

- Le montage
- Le mixage
  L'émission directe. Il peut faire une liaison directe entre un point extérieur (stade de foot….) et la station BF à travers les lignes MARNIS ou les lignes PTT.

Chapitre 2 : ETUDE DE L'EMISSION RADIO DEPUIS LA STATION B.F EN PASSANT PAR LA H.F JUSQU'AU RECEPTEURS (cas de la SNRT FES)

1. Introduction

La diffusion de la radio nécessite trois étapes essentielles que sont :

- La Basse fréquence
- La haute fréquence
- La réception du signal

Chacune de ces étapes nécessite un ensemble de méthodes et de procédés que nous allonsprésenter dans la suite.

2. La Basse Fréquence

La B.F, c'est l'étape de mise en forme du signal. Elle commence par la collecte du signal sonore émis par le journaliste ou l'invité dans l'émission à diffuser. La qualité de la réception de ce signal dépend :

- La position des divers microphones qui définissent une réception en stéréophonie pour la modulation F.M ou en monophonie pour la modulation A.M
- Du type de microphone
- De la bonne insonorisation du studio

Lorsque le signal analogique est généré par le microphone, il doit être modifié car celui-ci comporte plusieurs bruits et défauts liés à la voix humaine. Le signal est donc acheminé vers le pupitre où on réduit les bruits et les différents défauts. Ensuite, le signal analogique modifié sort du pupitre et va vers le codec, qui le numérise avant de l'envoyer vers les émetteurs selon deux cas (fig. 10):

- Dans le cas AM, il est directement envoyé vers l'émetteur en utilisant un codec identique à celui de la station (via les lignes MARNIS).

- Dans le cas FM, le signal est envoyé au centre de modulation qui se charge de sa redirection vers l'émetteur (par satellite).

La B.F permet donc de mettre en formele signal sonore émis par le journaliste ou l'intervenant. Grâce au pupitre, le signal sonore analogique engendré par le microphone est travaillé, corrigé puis il est envoyé vers l'émetteur de diffusion à travers le processus détaillé dans les lignes précédentes. Les émetteurs, à leur tour vont assurer la seconde étape de cette transmission sonore. Ils vont assurer la modulation du signal.

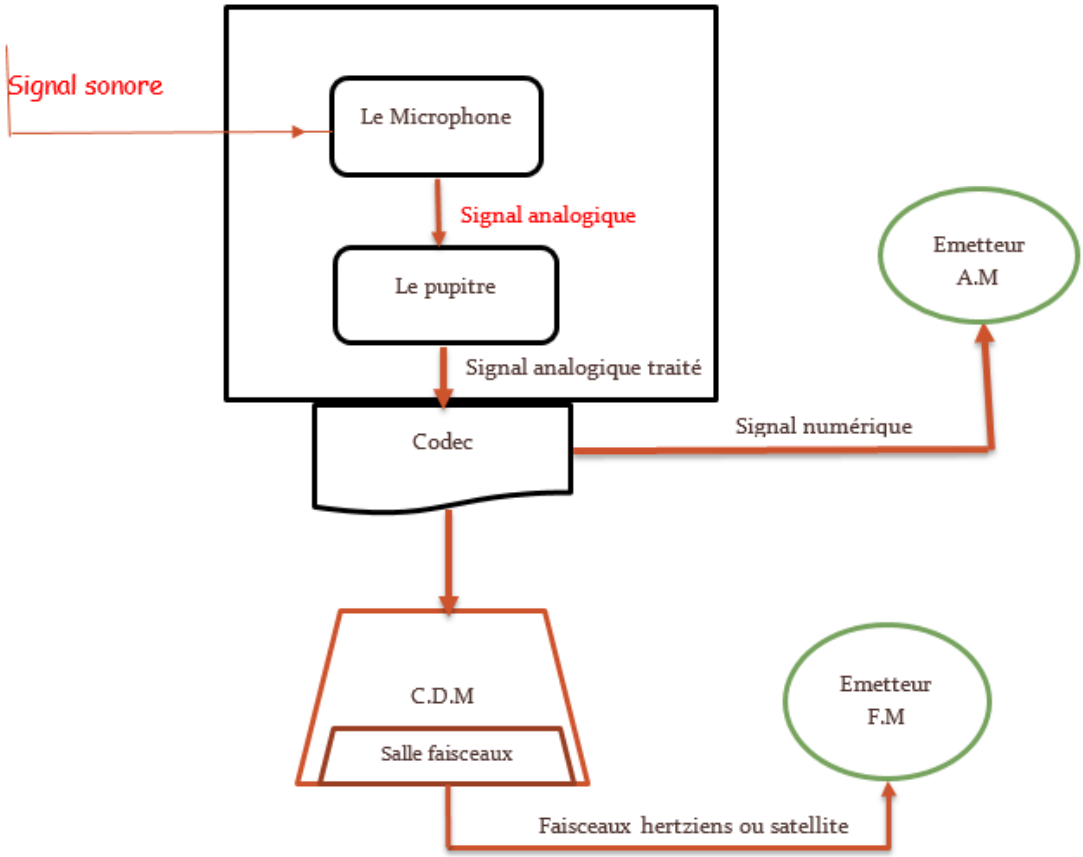


Figure 11: Récapitulatif du processus de la B.F

3. La haute fréquence

La H.F commence au niveau des stations d'émetteurs (AM ou FM), car c'est à ce niveau que le signal B.F portant l'information sera amplifié puis multiplié par la porteuse pour en assurer la modulation. En effet, le fonctionnement des émetteurs se résume en cinq étapes précises :

- Génération et amplification de la fréquence porteuse
- Amplification de puissance
- Modulation de la porteuse par le signal à transmettre
- Transport de l'énergie vers l'antenne
- Rayonnement d'une onde électromagnétique à travers les pilons

1- La génération puis l'amplification de la porteuse haute fréquence

Elle est possible grâce à cinq étages d'amplification H.F, composée chacun de tubes tétrodes, de tubes pentodes, ou de vapotrons selon le cas et alimentés par des tensions redressées proportionnelles à leurs caractéristiques. Ces étages d'amplification sont suivis de circuits oscillants permettant de choisir la fréquence sur laquelle l'on veut générer la porteuse (612KHz dans le cas AM et 98.4MHz dans le cas FM), dans les gammes de fréquences existantes (voir tableau ci-dessous).

Modulation	AM	FM
Gamme de fréquence	525KHz-→1605KHz	88MHz-→106MHz

2- Amplification du signal B.F

L'amplification est utilisée pour éviter la perte d'information due à la faible intensité dusignal provenant du studio.Le signal B.F reçu est conduit vers les cinq étages d'amplification B.F composé essentiellement de tétrodes alimentées par des tensions redressées proportionnelles à leurs caractéristiques.

3- La modulation puis le transport vers l'antenne

IL s'agit de multiplier le signal H.F généré puis amplifié avec le signal B.F amplifié. Après ceci, le signal modulé sera envoyé vers le feeder dont la longueur correspond à celle de la longueur d'onde, puis suivi d'un boitier de sélection qui permet grâce à un circuit électronique de filtrer la fréquence voulue (éliminer les fréquences parasites), avant d'aller frapper la base de l'antenne de longueur équivalent à la moitié de celle du feeder (**La longueur d'une antenne est égale à L/2 où L est la longueur d'ondes dans le vide de la porteuse émise**). Le tableau n°1, ci-dessous donne les caractéristiques des émetteurs de Sbayoun et Zerhoun à une vitesse de propagation $c=3x10^8$ m/s.

Emetteur	Sbayoun	Zerhoun
Fréquence, f	612 KHz	98.4 MHz
Longueur d'onde, λ	490.2m	3.04m
Long. du feeder	490.2 m	3.04 m
Long de l'antenne	245 m	1.5 m

Tableau1: récapitulatif des caractéristiques des émetteurs

4- La diffusion

La diffusion des ondes par l'antenne nécessite la présence d'eau et de cuivrequi facilitent la propagation de l'onde électromagnétique à travers les diverses couches d'air. En effet, plus la conductivité du sol est grande, moins une onde de fréquence donnée pénètre profondément dans le sol.Les tableaux ci-dessous donne [ref : http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM10/RM10E06.html]:

* la permittivité ε du sol, constante entre 1 et 100 MHz
* la conductivité σ (en siemens/m) à diverses fréquences

*p : profondeur de pénétration en mètre à différentes fréquences

Nature du sol	ε	σ à 1MHz	σ à 10MHz	σ à 100MHz	σ à 1GHz
Sol très sec	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
Glace d'eau douce à -10°C	3	0.00001	0.00003	0.00008	0.0004
Sol de conductibilité moyenne	15	0.001	0.001	0.002	0.04
Terrain très humide	30	0.01	0.01	0.02	0.2
Eau douce à 20°C	80	0.003	0.003	0.005	0.2
Eau de mer à 20°C	70	5	5	5	5

Tableau n° 2 : présentant la perméabilité et la conductivité en fonction de la nature du sol

Nature du sol	p à 1MHz	p à 10MHz	p à 100MHz	p à 1GHz
Sol très sec	90	90	90	40
Sol de conductibilité moyenne	30	15	6	0.5
Terrain très humide	5	3	1	0.2
Eau douce à 20°C	15	10	4	0.3
Eau de mer à 20°C	0.3	0.08	0.015	0.001

Tableau n°3: présentant le taux d'absorption en fonction de la nature du sol

On remarque sur ces deux tableaux que les sols humides ont une grande conductivité, et donc la pénétration de l'onde dans le sol est faible, ce qui permet d'éviter l'absorption du signal par le sol avant la diffusion.

Les ondes AM sont des ondes de sol et ne sont donc pas influencé par des obstacles ce qui leur confère une large zone de couverture (propagation par onde de sol), tandis que les ondes FM sont des ondes directes et sont donc réfléchis par des obstacles (propagation en vue directe).

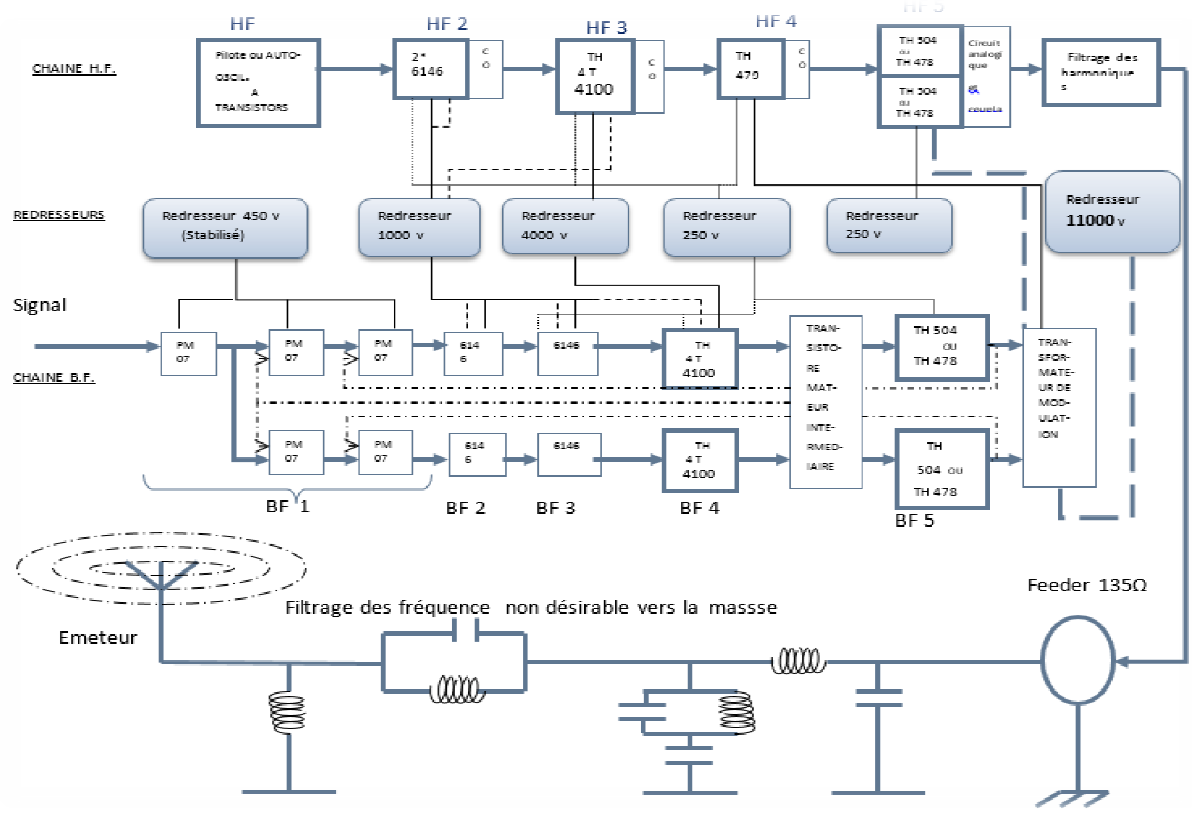


Figure 12: Schéma synoptique de l'émetteur de sbayoun

L'émetteur AM de Sbayoun est alimenté sous une haute tension triphasée de 24kV par l'O.N.E, tension réduite puis redressé à 12kV grâce à un transformateur abaisseur puis à un redresseur pour l'alimentation des tubes ; et aussi une basse tension de triphasées de 380V pour le chauffage des tubes et pour les auxiliaires d'automaticité. C'est un émetteur de type TRE-2230 développant une puissance de 400kW (voir schéma synoptique fig.12 ci-dessus). La chaine HF se compose de cinq étages dissymétriques fonctionnant en classe C (voir glossaire) et la chaine BF se compose de cinq étages symétriques qui fonctionnent en classe A.

Quant à l'émetteur de Zarhoun, il a une puissance de 10Kw.

4-LE RECEPTEUR

Le récepteur doit :

- Capter des signaux (antenne et feeder)
- Faire une amplification sélective (en fréquence)
- Sélectionnerlesignal utile (filtrage)
- Effectuer la démodulation

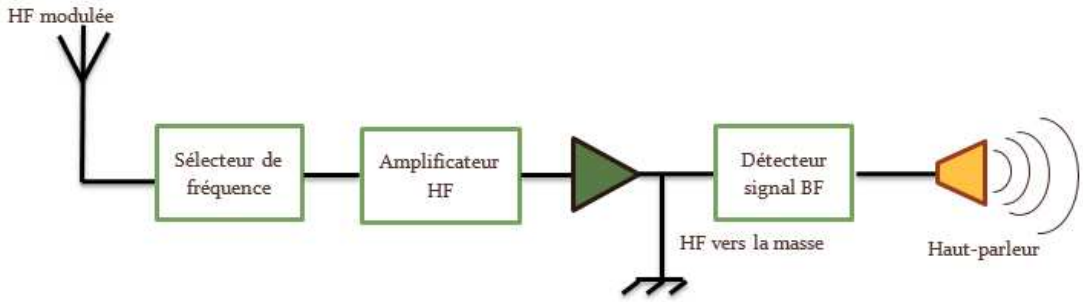


Figure 13 : Etapes de réception du signal

Nous pouvons donc dire que la propagation des ondes radio depuis la station jusqu'au récepteur se fait grâce à une succession d'étapes précises expliqué dans les lignes précédentes.

Nous allons maintenant passer à la dernière partie de notre rapport dans laquelle nous allons présenter le travail effectué.

Chapitre 3 : OPTIMISATION DE L'EMISSION F.M :EMETTEUR DE ZARHOUN

1-CAHIER DE CHARGE

* Comprendre et pouvoir expliquer le cheminement du signal depuis le microphone jusqu'aux récepteurs audio.

*Trouver une solution au problème suivant: La station régionale de la SNRT de Fès diffuse en AM et en FM à travers deux émetteurs que sont respectivement celui de Sbayoun et celui de Zarhoun. Le problème est que la station n'a pas de visibilité directe avec l'émetteur FM de Zarhounsans passer par un réémetteur àDahr El Mehrez , et est obligée de passer par le CDM sis à Rabat qui enverra le signal vers Zarhoun où il sera amplifié, modulé et propagé sous forme d'ondes.

*Simuler si possible la solution pour voir si elle est théoriquement correcte.

2 -OBJECTIF VISE

On sait que les ondes AM sont des ondes de sol et donc elles couvrent une grande région alors que les ondes FM sont des ondes directes. Nous avons également remarqué que lors de certaines émissions, les intervenants appellent depuis laâyoun et donc, nous avons supposé vu la proximité entre Sbayoun et Zarhoun que les ondes AM émises à Sbayoun sont captées à Zorhoun.

Nous avons donc pensé à une solution simple : **Mettre un récepteur AM à Zorhoun pour démoduler le signal, puis le moduler en FM.** Nous allons donc faire des simulations sur Matlab pour voir si **un signal modulé AM, après être démodulé peut être remodulé en FM puis démodulé à nouveau.**

3-SIMULATIONS

La question principale à laquelle on veut répondre par ces simulations est : en faisant un double procédé de modulation comme on l'a proposé, peut-on obtenir un signal démodulé FM semblable au signal émis ?

Nous avons donc essayé la simulation avec les fréquences réelles des porteuses, en utilisant un procédé identique à celui de la théorie.

On désire transmettre un signal sinusoïdal dans la bande de fréquence audible (20Hz→20KHz).Nous avons commencé par paramétrer ce signal (voir tableau 4).

Type du signal modulant	Fréquence du signal	Echantillonnagesur la période	Amplitude du signal
Sinusoidal	20KHz	$\frac{1}{10000000}$	1 V

Tableau 4 : Caractéristiques du signal modulant

Nous obtenons le signal modulant sur l'oscilloscope (voir fig. 14)

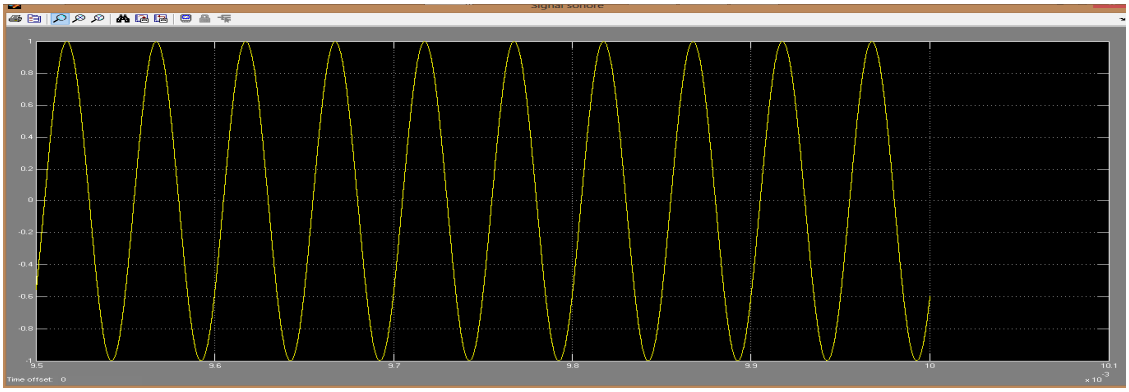


Figure 14: Signal modulant de 20KHz

Nous allons dans un premier lieu, faire une modulation puis une démodulation AM. Pour moduler un signal en AM, il faut multiplier le signal à transmettre par une porteuse. Nous avons donc paramétré une porteuse AM (voir tableau 5)

Type du signal modulant	Fréquence du signal	Echantillonnagesur la période	Amplitude du signal
Sinusoïdal	612KHz (fréquenceréelle AM)	$\frac{1}{10000000}$	1 V

Tableau 5 : Caractéristiques de la porteuse AM

Nous obtenons comme signal de la porteuse AM sur l'oscilloscope :

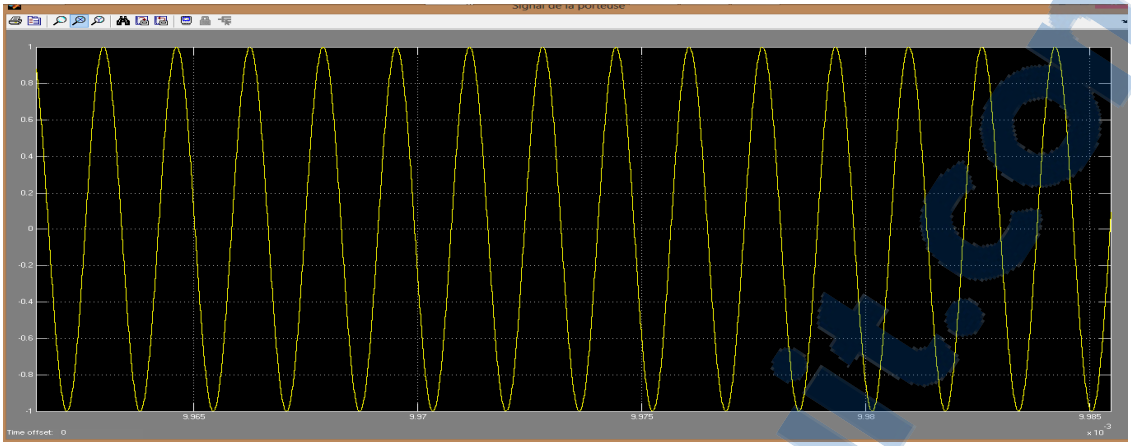


Figure 15: Signal de la porteuse AM de 612KHz

La multiplication des deux signaux (la porteuse de 612KHz et le signal modulant de 20KHz) se fait dans le bloc **produit1** de la figure 16, avec l'indice de modulation **m=Gain=1**.

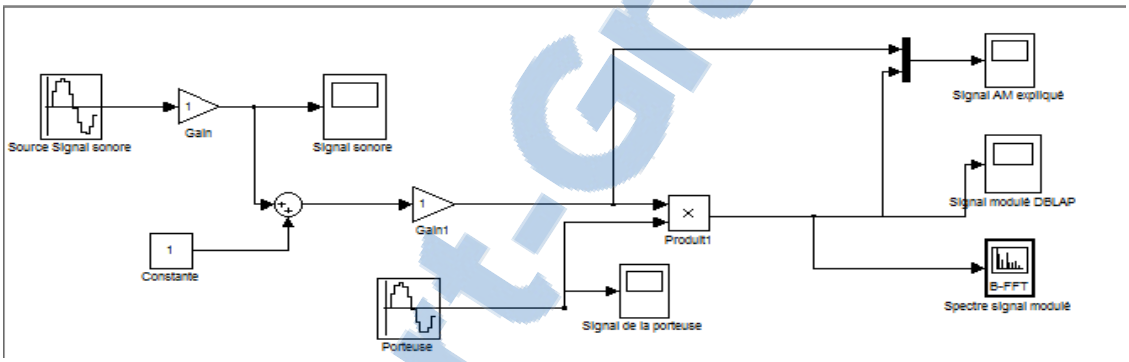


Figure 16: Modèle de la modulation AM avec les fréquences réelles

A la sortie de ce bloc, on obtient le signal de la figure 17 :

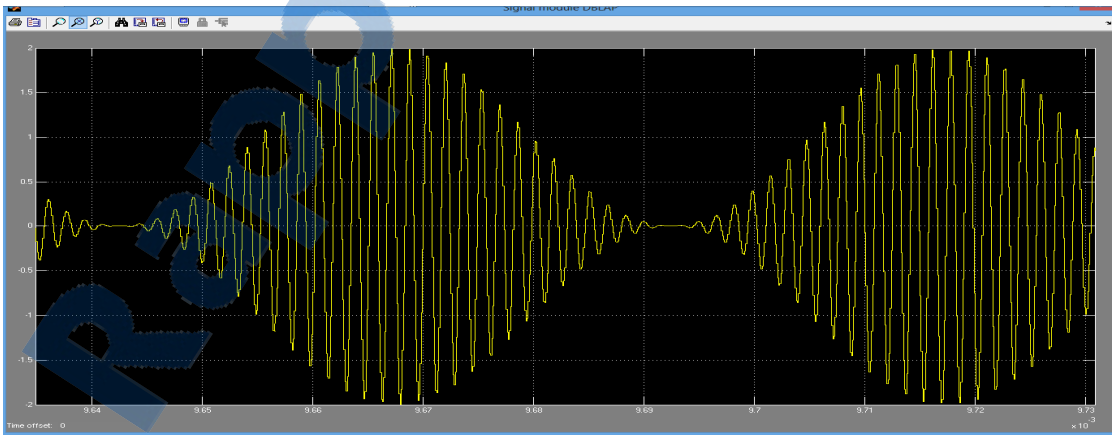


Figure 17: Signal modulé AM (612KHz)

Ce signal obtenu correspond à celui d'un signal modulé AM d'amplitude 2V. En effet, théoriquement, en supposant un signal modulant sinusoïdal, l'expression du signal modulé AM s(t) est :

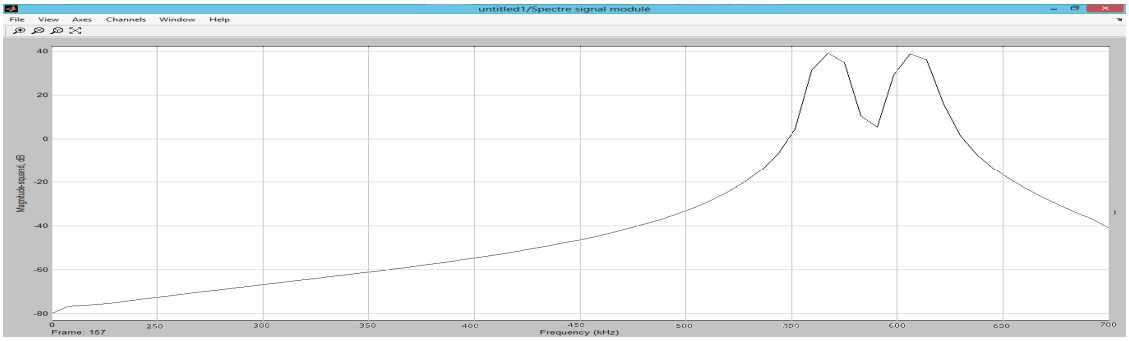
$S(t)= A(1+ m \sin(\omega_m t)) \sin(\omega_p t)$

La valeur du $\sin(\omega_p t)$ est comprise entre 1 et -1, de ce fait, la valeur de s(t) est comprise dans un intervalle bien précis :

$-A (1+m \sin(\omega_m t)) << s(t) << A (1+m \sin(\omega_m t))$

Ces deux enveloppes reflètent l'allure du signal modulé AM. La valeur maximale de ce signal (crête de modulation) est définie lorsque $\sin(\omega_m t)=1$ avec $Y_{crête}=A(1+m)$, et la valeur minimale (creux de modulation) lorsque $\sin(\omega_m t)=-1$. **Dans notre cas, ayant une modulation m=1 donc 100%, les valeurs maximales et minimales prennent des valeurs particulières : $Y_{crête}=A(1+m)= 2A$ (avec A=1) et $Y_{creux}=0$.**

En observant le spectre fréquentiel de ce signal modulé AM, on a :



<u>Figure 18:</u> Spectre du signal modulé AM (612KHz)

Ce résultat est cohérent car théoriquement, en développant l'expression d'un signal AM :

$S(t) = A(1+ m \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_p t)$

$$= A (\cos(\omega pt) + m \cos(\omega mt) \cos(\omega pt))$$

$$= A (\cos(\omega pt) + \frac{m}{2} \cos(\omega p + \omega m)t + \frac{m}{2} \cos(\omega p - \omega m)t)$$

La décomposition du spectre de fréquence fait donc apparaitre les expressions $(\omega p + \omega m)$ et $(\omega p - \omega m)$ qui définissent deux bandes latérales d'amplitude $\frac{mA}{2}$.

Dans notre cas, il s'agit des bandes : f_p+f_m= 632KHz et f_p-f_m=592KHz

A présent, nous allons faire l'opération inverse. On choisit de multiplier ce signal modulé par une porteuse de même fréquence (voir bloc **Product** dans la figure 20). Théoriquement, on obtiendrait:

$$S(t) = A(1 + m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt))\,\mathrm{Cos}\,(\omega pt) * E\,\mathrm{Cos}\,(\omega pt)$$

$$= AE(1 + m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt))\,\mathrm{Cos}\,2(\omega pt)$$

$$= \frac{AE(1 + m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt))(1 + \mathrm{Cos}\,(2\omega pt))}{2}$$

$$= \frac{AE}{2} + \frac{AE\,m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt)}{2} + \frac{AE((1 + m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt))\,\mathrm{Cos}\,(2\omega pt))}{2}$$

Ensuite, on place à la sortie du multiplicateur un filtre passe bas (voir composant fig 20) qui va permettre la suppression des hautes fréquences, c'est-à-dire toute l'expression $\frac{AE((1 + m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt))\,\mathrm{Cos}\,(2\omega pt))}{2}$

On obtient donc comme signal à la sortie du filtre :

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

$M(t) = \frac{AE}{2} + \frac{AE\,m\,\mathrm{Cos}\,(\omega mt)}{2}$. On obtient donc le signal modulant avec le facteur multiplicatif qu'est $\frac{AEm}{2}$.

Dans notre cas, le filtre est paramétré de façon à ce qu'il filtre toutes les fréquences au-dessus de 20500Hz (voir fig 19)

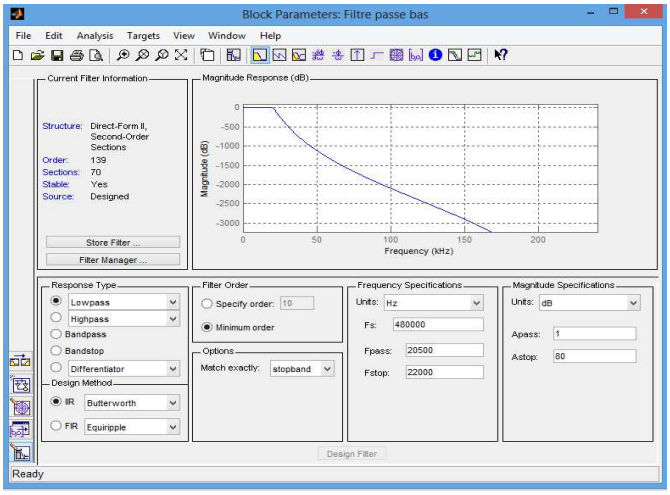


Figure 19: Caractéristiques du filtre passe bas

On obtient comme modèle :

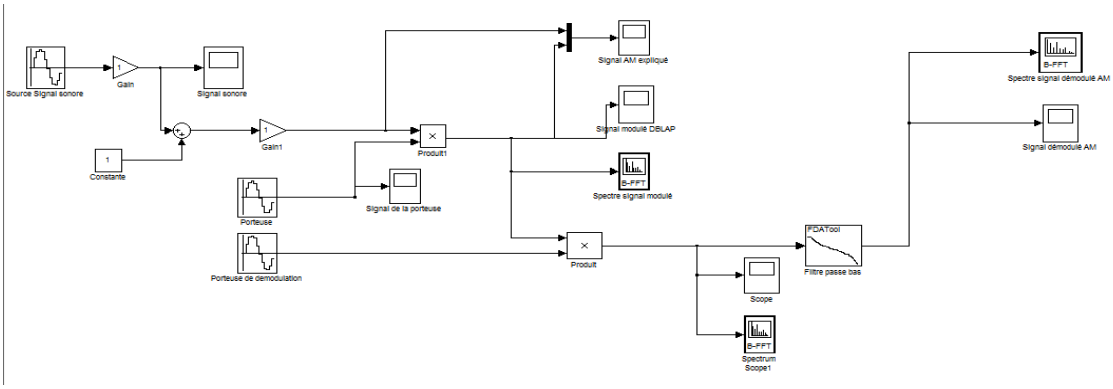


Figure 20: Modèle de la démodulation AM avec les fréquences réelles

A la sortie du bloc Filtre passe bas, on observe sur l'oscilloscope :

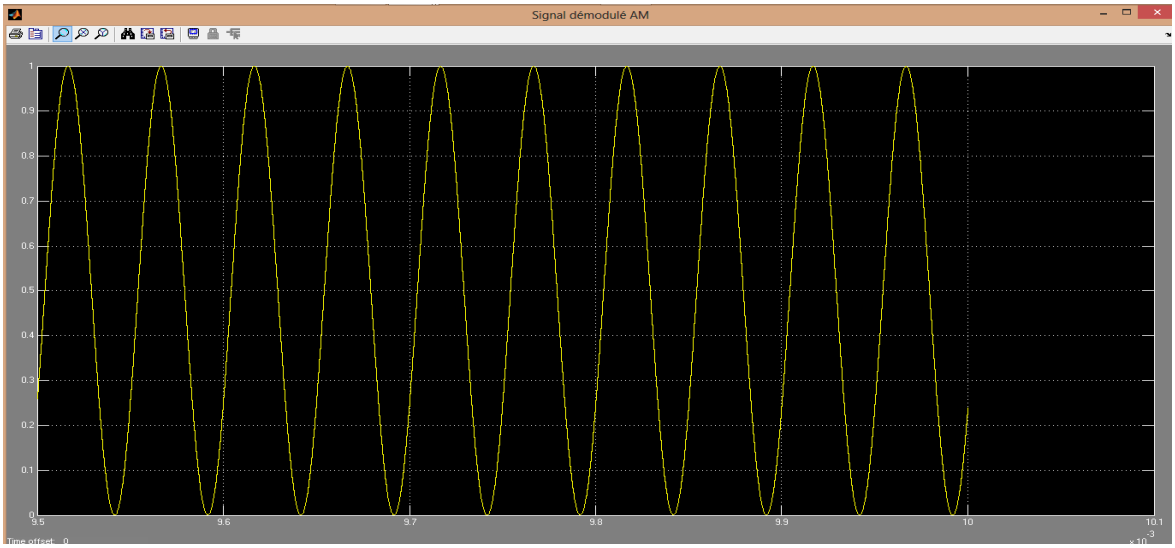


Figure 21: Signal démodulé AM (612KHz)

Le signal démodulé est identique au signal modulant à un facteur multiplicatif près de $\frac{AEm}{2} = \frac{1}{2}$ en plus de la composante continue$\frac{AE}{2} = \frac{1}{2}$

Commespectre, on a:

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

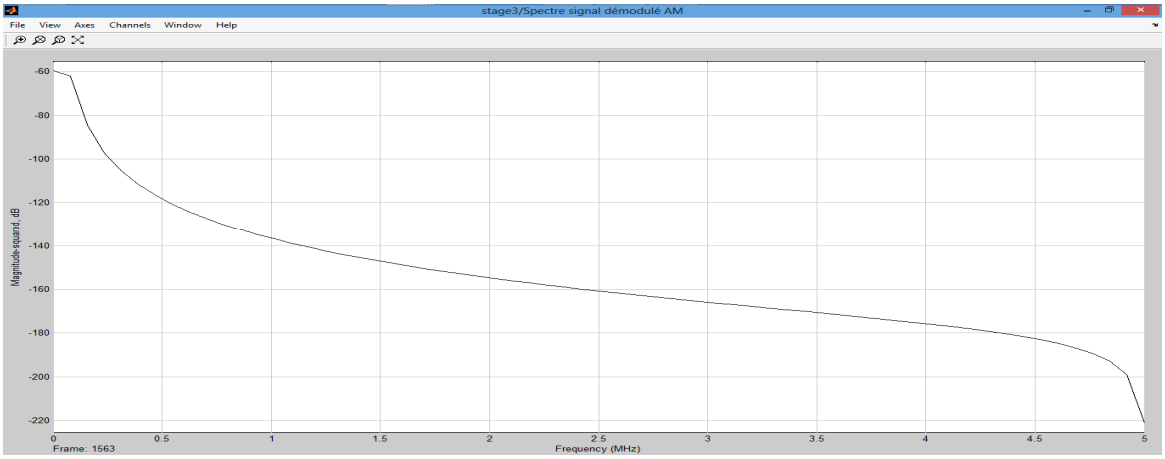


Figure 22: Spectre du signal démodulé AM (612KHz)

Nous pouvons maintenant passer à la modulation puis la démodulation FM. Pour remoduler le signal en FM, il faut le multiplier par une porteuse. Cette multiplication se fait au niveau du bloc Discrète Time VCO de la figure 23.

Nous avons donc commencé à paramétrer le VCO (voir tableau 6)

Echantillonnage du signal	Fréquence de la porteuse FM	Amplitude de la porteuse
$\frac{1}{100000}$	98.4MHz (fréquence réelle FM)	1V

Tableau 6 : Caractéristiques du VCO

On réalise le modèle de simulation :

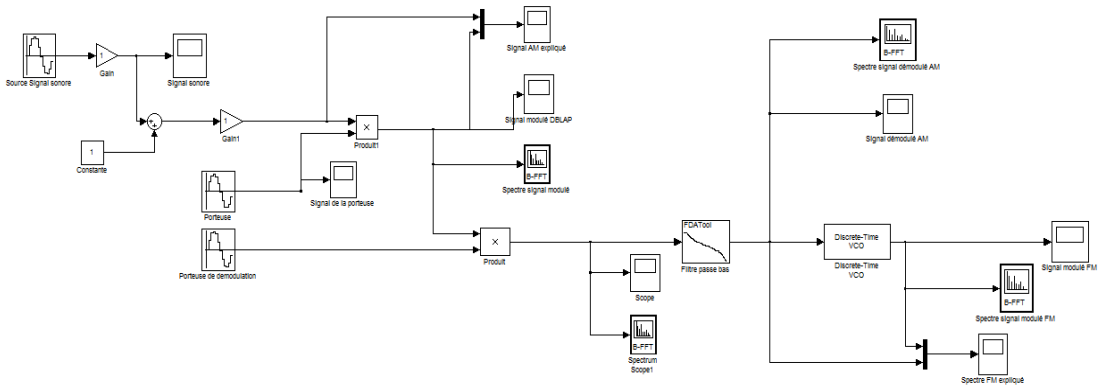


Figure 23: Modèle de modulation FM (98.4MHz)

On observe à la sortie du VCO:

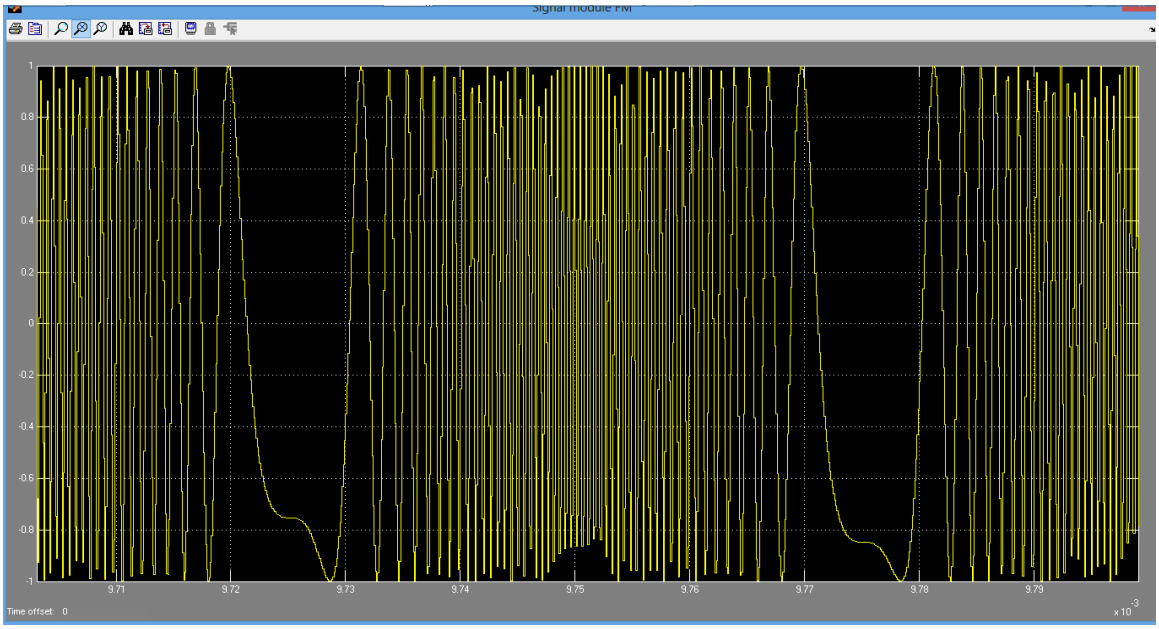
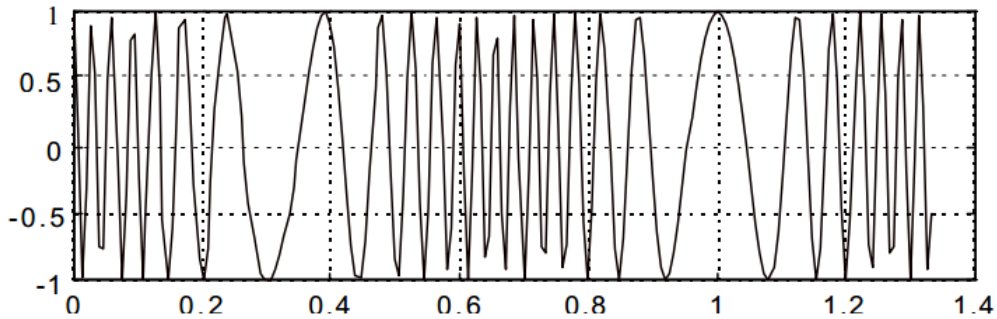


Figure 24: Signal modulé FM (98.4MHz)

Il s'agit d'un signal modulé FM (98.4MHz) identique à celui de la théorie (fig 25), car l'expression d'un signa modulé FM en supposant un signal modulant sinusoïdal est :

$$S(t) = \mathrm{Ap}\ \mathrm{Sin}(\omega\mathrm{pt} + \Delta * \mathrm{Sin}(\omega\mathrm{mt}))$$

Il est essentiel de remarquer que l'indice de modulation, dépend à la fois de la fréquence et de l'amplitude du signal modulant u(t) : δ=Δfs/fm



Signal FM. Porteuse f_p = 10,7MHz, signal modulant sinusoïdal à f_s = 15 kHz, indice modulation δ= 10.

Figure 25: Forme d'un signal modulé FM

Pour démoduler ce signal FM, nous avons aussi utilisé un démodulateur passe bande à la sortie du VCO (voir composant FM **demadulatorpassband** sur la figure 26).

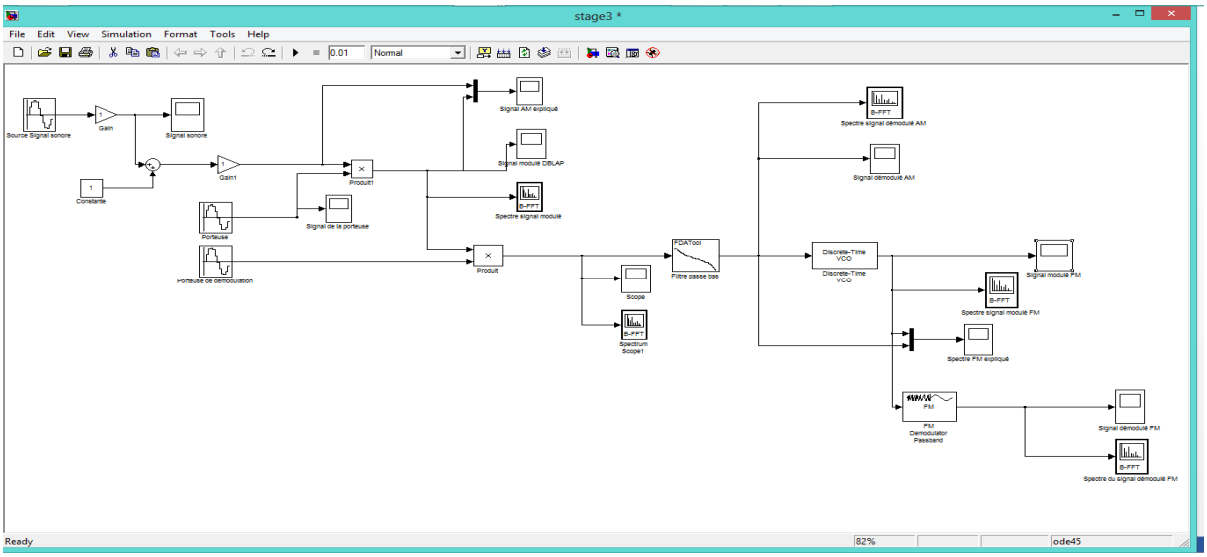


Figure 26: Modèle de démodulation FM

Su papier, pour démoduler ce signal FM, on utilise un démodulateur à boucle à verrouillage de (voir fig 27). Son fonctionnement peut se résumer en quelques étapes :

- lorsque la boucle fonctionne, le VCO se synchronise sur le signal modulé FM S(t) injecté à l'entrée de fréquence $f(t) = fp + kU_m Sin(\omega_m t)$
- le VCO fournit donc à sa sortie un signal de fréquence égale à celle du signal d'entrée $f'(t) = fp + kU_m Sin(\omega_m t)$

- si la fréquence f'(t) varie, c'est que la tension v(t) à l'entrée du VCO varie. En supposant que le VCO est linéaire et caractérisé par sa pente Ko, on a :
  f'(t) = Ko.v(t)

On en déduit aisément l'expression du signal v(t) :

$$v(t) = \frac{f'(t)}{Ko} = \frac{fp}{Ko} + \frac{kUmSin(\omega mt)}{Ko} = Vo + A.\ U_m Sin(\omega_m t)$$

La tension de commande du VCO comporte une composante continue Vo qu'il est facile d'éliminer. Le signal de sortie U(t) est donc identique au signal modulant au facteur $A = \frac{k}{k0}$ près.

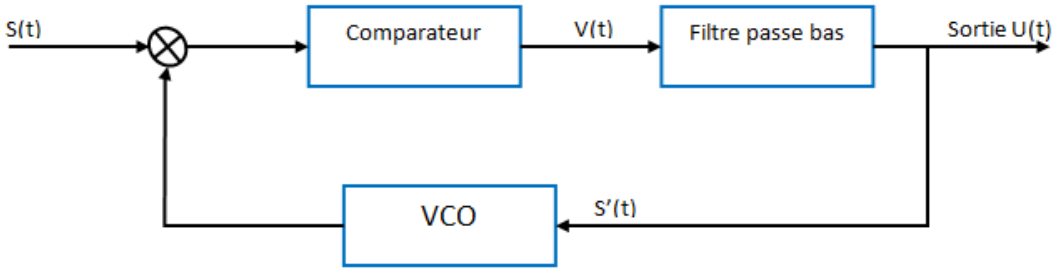


Figure 27 : Schéma du fonctionnent du démodulateur

On obtient comme signal démodulé à la sortie du démodulateur:

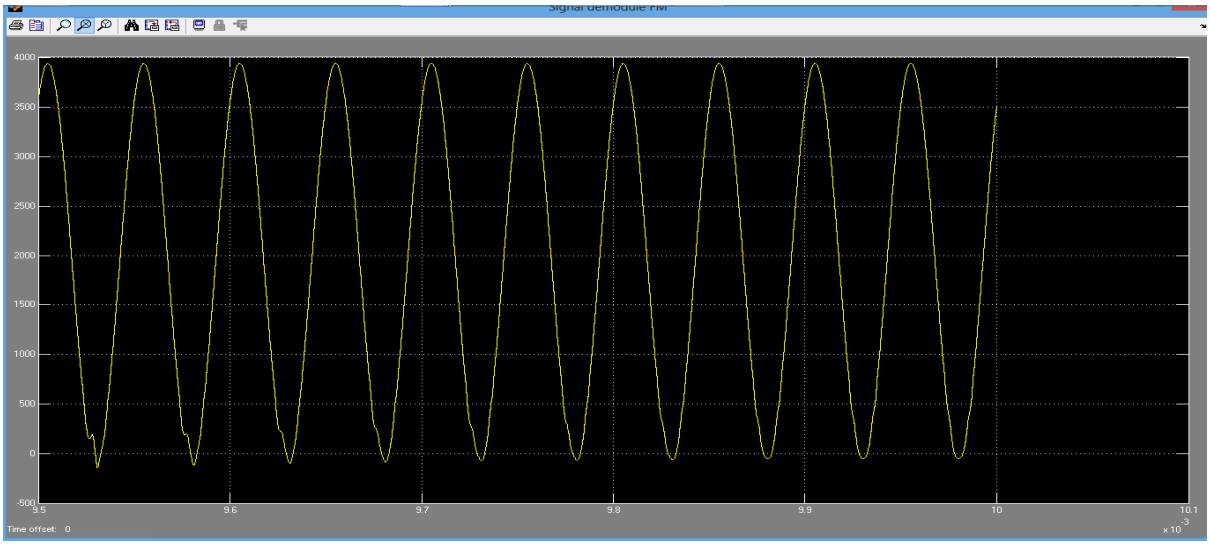


Figure 28: Signal démodulé FM (98.4MHz)

Le signal obtenu est identique au signal modulant de 4KHz généré au début de la simulation, évidemment à un facteur près aussi.

Comme spectre de ce signal démodulé, on a :

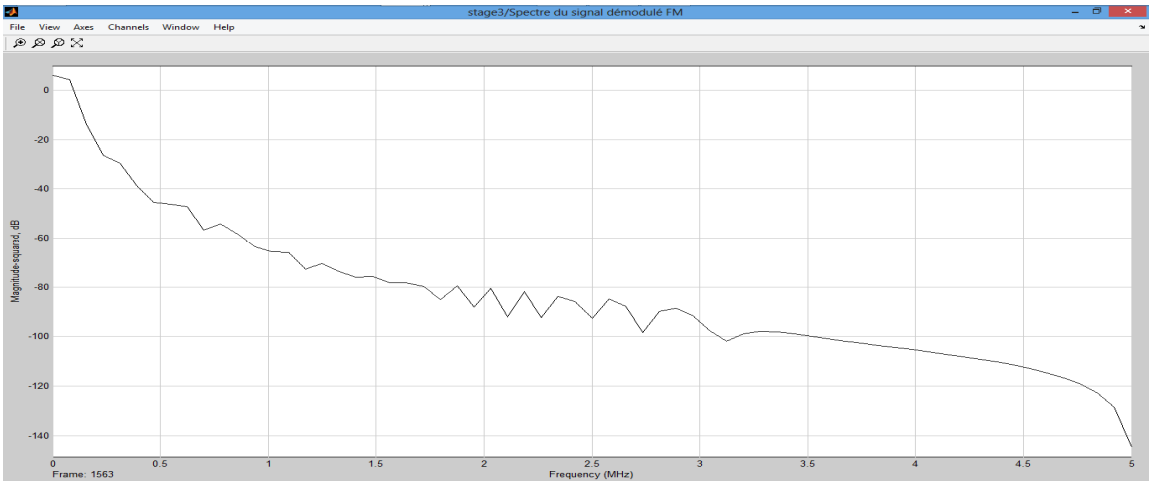


Figure 29: Spectre du signal démodulé FM

En somme, nous pouvons dire que la solution proposée est viable, peu coûteuse et facilitera la transmission du signal depuis la station. L'ayant proposée aux responsables des émetteurs, nous savons que pour la rendre totalement réelle, il faut juste un récepteur professionnel (pas une simple radio) qui serait capable de démoduler le signal AM de façon presque parfaite. Il faudra donc simplement l'accorder sur la fréquence de 612KHz (fréquence de l'émission AM par Sbaayoun), puis diriger le signal reçu et démodulé vers les étages d'amplification BF pour entamer la modulation FM. Cette solution n'a aucune influence sur le fonctionnement interne des émetteurs (voir fig 30).

De plus, si l'émetteur AM est à l'arrêt pour n'importe quelle raison, la station pourra capter le signal par satellite Hotburd (toutes les stations nationales du Maroc émettent sur ce satellite),puis il suffira de démoduler ce signal pour l'amplifier ensuite.

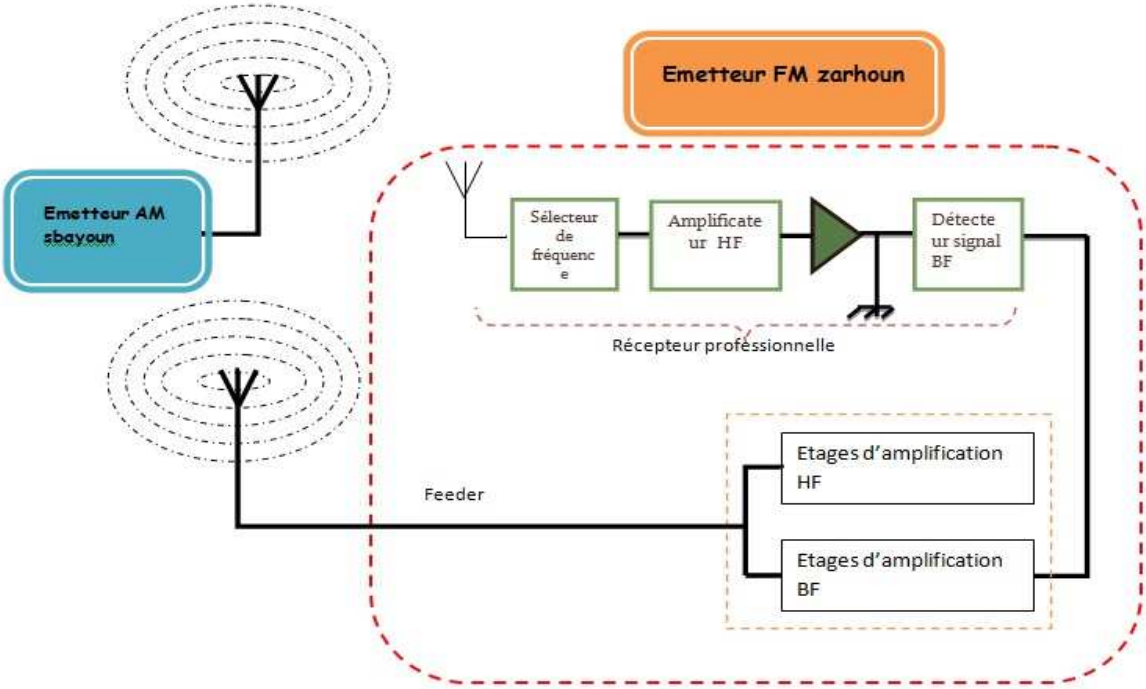


Figure 30 : Schéma synoptique de la solution proposée

Le schéma du récepteur proposé est :

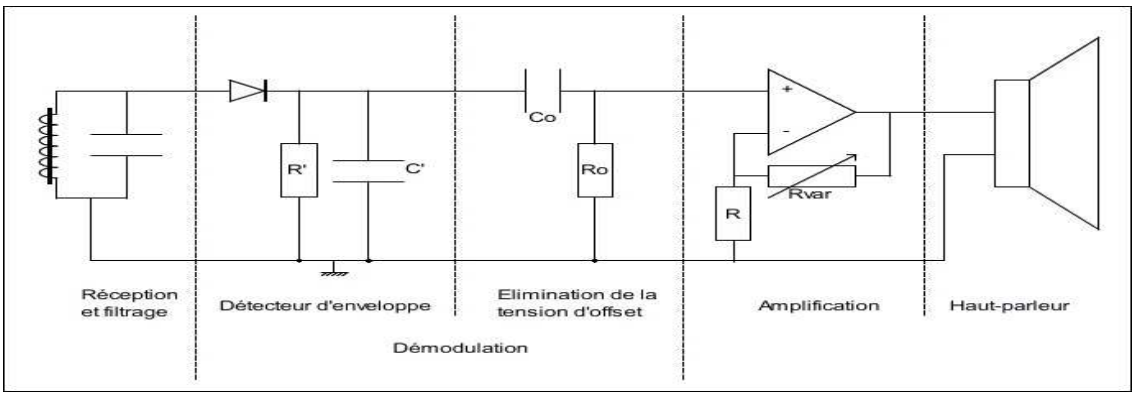


Figure 31 : Schéma du récepteur professionnel

Théoriquement, ce circuit est suffisant pour recevoir un signal électromagnétique modulé en amplitude :

- Le Circuit LC de la partie « Réception et filtrage » doit résonner à la fréquence que l'on souhaite recevoir : $fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

- Le circuit RC parallèle (filtre passe-bas) doit bloquer la grande fréquence de la porteuse tout en laissant passer la fréquence du signal modulant.

Impédance du circuit RC parallèle :$Z = \frac{R}{1+j\omega RC}$

A haute fréquence(ω >> ωf), le filtre se comporte comme un court-circuit (Z-> 0), alors qu'à basse fréquence(ω >> ωf), il se comporte comme une résistance (Z-> R).

Ce filtre bloque donc les hautes fréquences et laisse passer les basses fréquences.

- Le circuit RC série est un filtre passe-haut, dont l'objectif est de supprimer la tension d'offset (ω >> ωf alors H(jω)→0), signal de basse fréquence. En effet, la fonction de transfert d'un tel circuit est:

$$H(j\omega) = \frac{Vs}{Ve} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega f}{\omega}} avec\ \omega = \frac{1}{RC}$$

- Le montage amplificateur qui suit n'a pour but que l'ajustement de l'amplitude du signal de sortie, et donc le volume sonore qui sera ensuite émis par le haut-parleur.

Dans la pratique, la diode que l'on utilise en entrée du détecteur d'enveloppe à une tension de seuil. Donc, il faut que le signal que l'on fait passer au travers de la diode soit toujours au-dessus de la tension de seuil pour ne pas perdre une partie de l'information. Il est alors nécessaire d'amplifier la tension reçue par le circuit LC. Pour cela, on utilise un amplificateur non inverseur (voir fig. 32)dont l'équation de sortie est:$Vs = \frac{R2}{R1+R2} Ve$

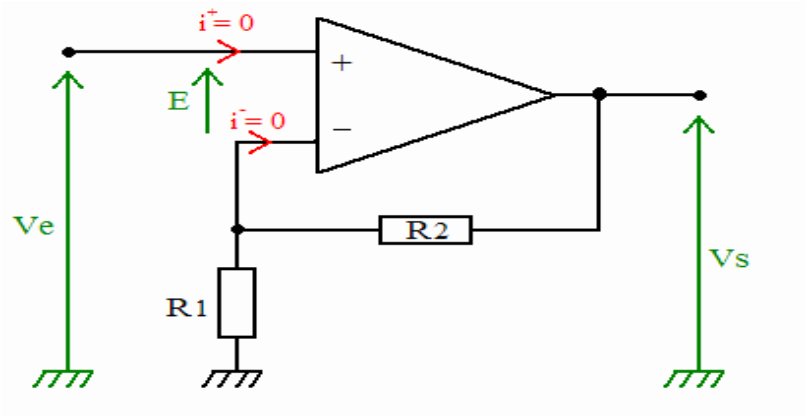


Figure 32 : Amplificateur non inverseur

Suivant cette théorie, nous avons simulé le circuit proposé sur MultiSim en remplaçant l'antenne par un signal d'amplitude 2V et de fréquence 612KHz, nous avons donc :

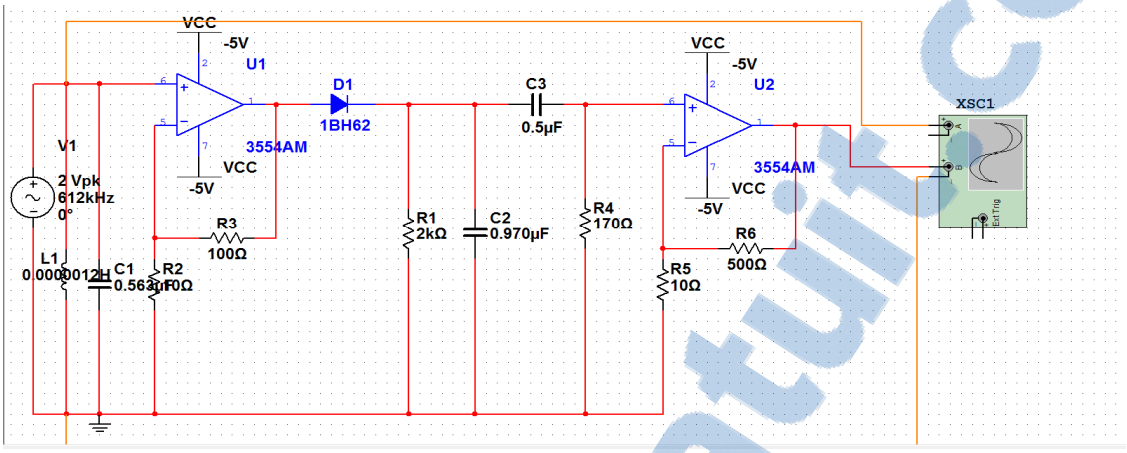


Figure 33 : Simulation du circuit du récepteur radio

On obtient sur l'oscilloscope (voir fig. 34) un signal périodique (en rouge) dont la composante négative est supprimée et dont la fréquence est inférieure. En d'autre terme, à la sortie, on entendrait la radio facilement.

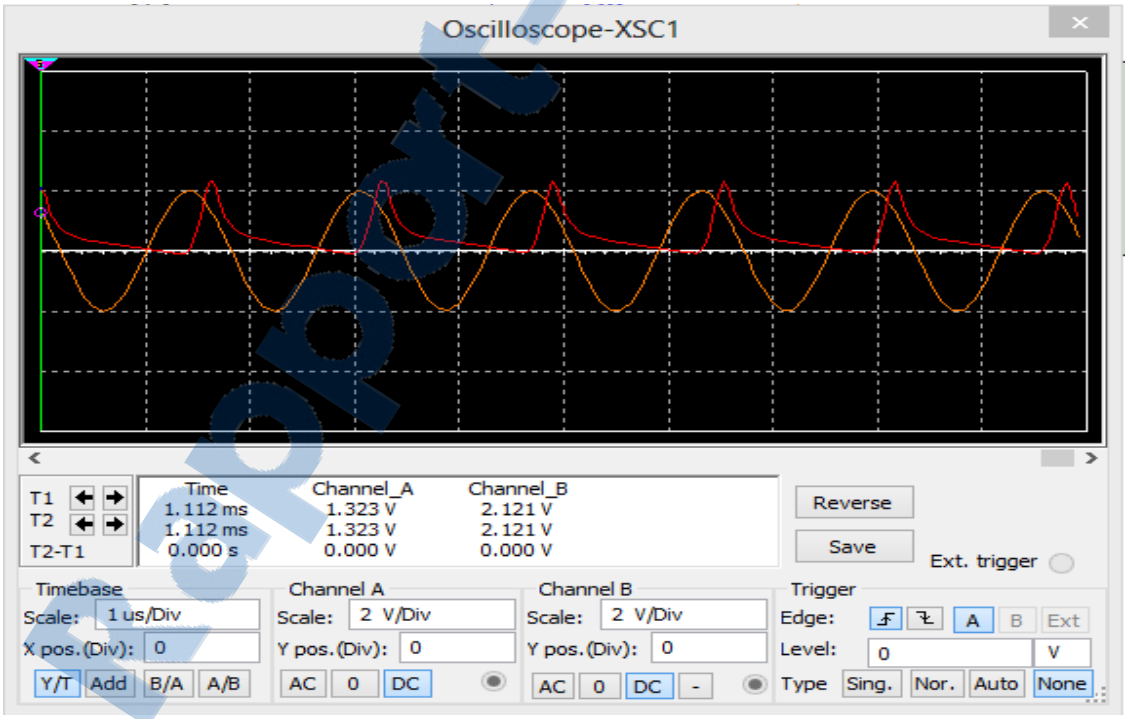


Figure 34 : Signal obtenu sur l'oscilloscope

En conclusion, nous pouvons dire que la propagation des ondes radio nécessite une amplification basse fréquence, puis une modulation soit AM ou FM en haute fréquence afin de pouvoir émettre à travers l'antenne des ondes électromagnétiques. Afin de raccourcir la transmission du signal entre la station et le centre émetteur FM sis à Zarhoun, nous avons fait une succession de simulation puis nous sommes parvenus à trouver une solution simple, efficace et facile à mettre en place.

CONCLUSION GENERALE

Notre projet a consisté en l'optimisation d'un émetteur FM affilié à la diffusion des émissions de la station régionale SNRT de Fès. La mise en place de ce récepteur permettra de minimiser les moyens matériels utilisés pour capter le signal provenant de la station et de raccourcir le trajet suivi par ce signal.

En vue d'une meilleure réception du signal, nous avons pensé que les dernières technologies utilisant la fibre optique seraient plus adaptées aux divers besoins d'informations à travers tout le royaume. Etant plus rapide, et conservant la qualité du signal, ces fibres permettraient une réception presque parfaite du signal en un temps record.

Cette expérience, au-delà de la dimension culturelle et du volet humain qui fut exceptionnel, nous a permis de nous familiariser avec l'esprit du travail d'équipe et de la vie en société. De plus, ce travail a consolidé tous nos acquis dans les domaines du traitement du signal, du réseau, et dans les télécommunications, tout en nous familiarisant avec les logiciels tels que Cisco, Matlab et Pspice.

Ce stage de fin d'étude au sein de la S.N.R.T de Fès, en plus de notre formation complète et professionnelle, nous donne les armes nécessaires pour une expérience supplémentaire en Electronique, Télécommunication et Informatique.

GLOSSAIRE

L.A.N : C'est un ensemble d'ordinateurs personnels (poste client) reliés à des ordinateurs faisant fonction de serveurs par divers types de câblages et adaptateur des réseauxet géré par un ou plusieurs système d'exploitation réseausupportant divers protocoles et standard de communication

La stéréophonie: Le son stéréophonique, plus communément appelé stéréo, est une méthode de reproduction sonore visant à recréer l'illusion d'un espace sonore. Cela est habituellement réalisé à l'aide de deux canaux (gauche et droit) diffusés par deux haut-parleurs. Pour se faire, il suffit de disposer deux microphones en position Y ou X.

La monophonie: Un son monophonique comme son nom l'indique n'est diffusé que sur un seul canal (contrairement au son stéréophonique). Il est en général enregistré par un seul microphone et reproduit par un ou plusieurs haut-parleurs diffusant le même signal.

Insonorisation du studio: Permet d'absorber tous les bruits émis dans le studio afin que ceux-ci ne figurent pas à l'antenne. Ceci est réalisable grâce à des matériaux de construction précis (bois,…)

Convertisseur analogique numérique : Circuit électronique permettant de numériser un signal qui à la base était analogique.Il en existe plusieurs types (code rampe numérique, à pesée successives).

Convertisseur numérique analogique : Circuit électronique ayant pour but le contraire du précédent. Il en existe plusieurs types (R-2R,…).

L.G.D : Ancienne lignes téléphoniques utilisés pour l'envoi du signal analogique modifié. Actuellement remplacé par les lignes MARNIS qui elles, sont totalement numérique.

Lignes MARNIS : Ceux sont des connexions via des câbles permettant l'envoi numérique du signal analogique modifié à travers le territoire marocain. Elles sont utilisées dans la téléphonie et la radiodiffusion grâce à leur installation faite par Marco Télécom.

C.D.M: Sis à Rabat, ce centre a pour objectif le control et la distribution de la modulation en redirigeant les signaux arrivant de certaines stations (Oujda, Fès, Meknès, Tanger…….) radio vers les différents émetteurs du territoire.

Amplificateurs Classe C : Ils amplifient moins de 50% du signal d'entrée. Le taux de distorsion est important, mais leur rendement maximum théorique est compris entre 78% et 100%

Amplificateurs Classe A: Ils amplifient tout le signal d'entrée, limitant la distorsion sur le signal de sortie. Le rendement est faible

V.C.O : Oscillateur contrôlé en tension est un montage qui délivre à sa sortie une tension oscillante dont la fréquence est une fonction linéaire de la tension d'entrée.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES