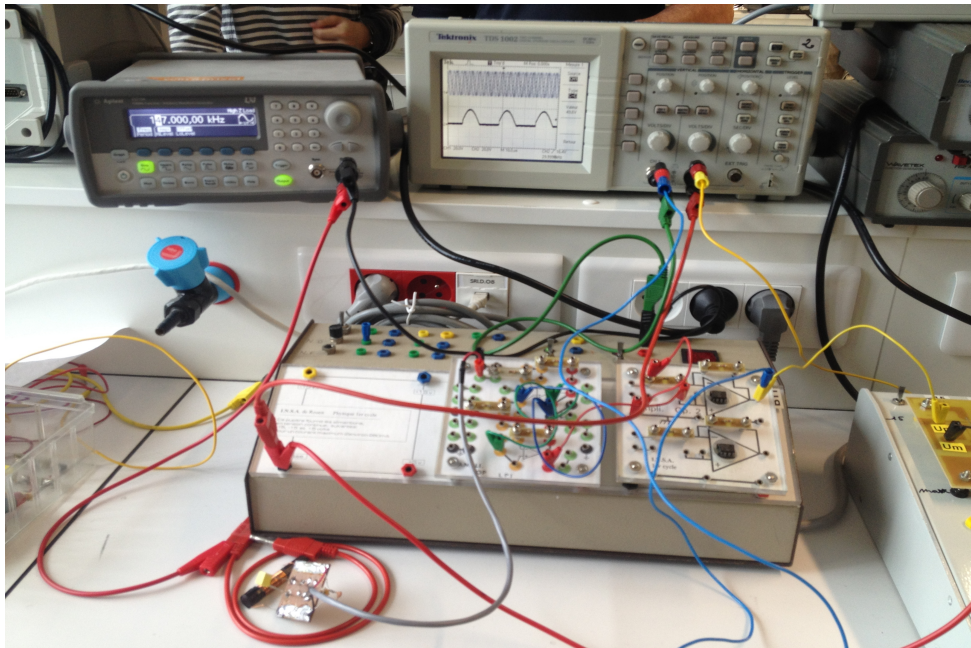


Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2011 – 37

**Principe de fonctionnement
des postes de radio AM/FM**



Etudiants :

Jeyaluxan AKILAN

Hugo DURAND

Charlotte LEMATTRE

Aurélie RODERMANN

Citlali VERGAS MONREAL

Enseignant-responsable du projet :

M. François GUILLOTIN

Date de remise du rapport : **18/06/12**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011 – 37**

Intitulé du projet : **Principe de fonctionnement des postes de radio AM/FM**

Type de projet : **Expérimentation**

Objectifs du projet :

Pour notre projet de P6, nous avons tout d'abord cherché à comprendre le fonctionnement d'un récepteur radio AM. Suite à cela, nous avons réalisé chaque partie du récepteur séparément, vérifié leur fonctionnement avant de les tester avec un véritable signal radio.

Mots-clefs du projet : hétérodyne, résonance, onde.

TABLE DES MATIERES

<u>1</u>	<u>Introduction.....</u>	<u>6</u>
<u>2</u>	<u>Méthodologie / Organisation du travail.....</u>	<u>7</u>
<u>3</u>	<u>Travail réalisé et résultats.....</u>	<u>8</u>
<u>3.1</u>	<u>Historique.....</u>	<u>8</u>
<u>3.2</u>	<u>Conception de l'antenne.....</u>	<u>9</u>
<u>3.2.1</u>	<u>Fabrication de la bobine.....</u>	<u>9</u>
<u>3.2.2</u>	<u>Amplification du signal.....</u>	<u>10</u>
<u>3.2.3</u>	<u>Assemblage des 4 étages.....</u>	<u>11</u>
<u>3.3</u>	<u>Modulation d'amplitude.....</u>	<u>13</u>
<u>3.3.1</u>	<u>Le mélangeur.....</u>	<u>13</u>
<u>3.3.2</u>	<u>La modulation d'amplitude – filtre FI.....</u>	<u>13</u>
<u>3.3.3</u>	<u>La démodulation d'amplitude.....</u>	<u>15</u>
<u>3.4</u>	<u>Montage final</u>	<u>17</u>
<u>4</u>	<u>Conclusions et perspectives.....</u>	<u>18</u>
<u>5</u>	<u>Bibliographie.....</u>	<u>19</u>
<u>6</u>	<u>Annexes</u>	<u>20</u>

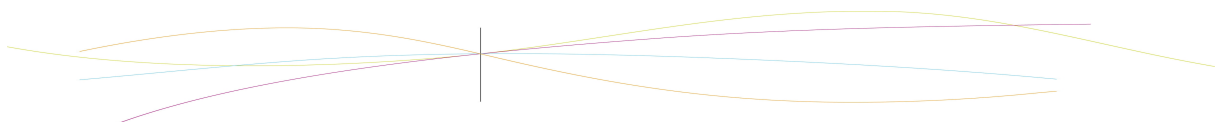
NOTATIONS, ACRONYMES

AM : Modulation d'Amplitude

FM : Modulation de Fréquence

FI : Fréquence Intermédiaire

Ampli OP : amplificateur opérationnel

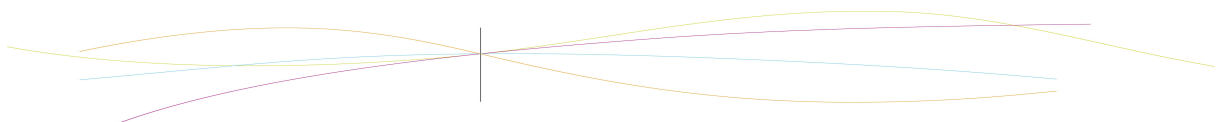


1 INTRODUCTION

Dans la vie de tous les jours, les ondes radio transmettent de la musique, des conversations ou encore des données de manière invisible dans l'air et souvent sur de longues distances. Même si elles sont indétectables pour l'homme, elles ont complètement changé notre mode de vie: que l'on parle d'un téléphone, d'un babyphone ou d'une quelconque technologie sans fil, tous ces appareils utilisent les ondes radio pour communiquer.

Dans le cadre de l'UV P6-3, nous allons nous concentrer sur le fonctionnement des postes de radio AM/FM et plus particulièrement des récepteurs hétérodynes. En effet, bien que difficile à réaliser, c'est le récepteur qui répond le plus aux systèmes de télécommunications mobiles.

Tout d'abord, nous expliquerons la méthodologie suivie pour mener à bien ce projet ainsi que la répartition des tâches. Ensuite, nous expliquerons comment l'antenne a été réalisée et nous finirons par la modulation et la démodulation du signal reçu, étapes importantes pour écouter la radio à partir d'un poste.



2 MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

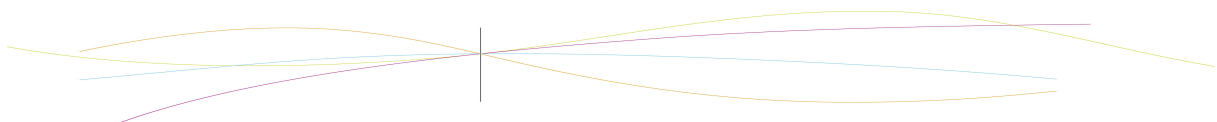
A la lecture du sujet, nous étions tous enthousiastes à l'idée de réaliser notre propre radio. Cependant, notre professeur nous a expliqué à la première séance que la compréhension du fonctionnement passaient par la réalisation, mais que celle-ci restait secondaire.

Nous avons effectué des recherches documentaires sur le fonctionnement des radios AM et FM. C'est sur la radio AM que nous avons porté notre choix car elle semblait plus abordable pour les étudiants. En effet, nos connaissances et les travaux pratiques d'électricité de l'année dernière nous permettait de comprendre le phénomène de réception des ondes radio.

Après avoir défini les différentes parties d'un récepteur AM, nous avons décidé de nous partager le travail en 2 groupes. Le premier s'occupait de la partie antenne et de la première amplification. Le second était en charge de la modulation et de la démodulation d'amplitude, ainsi que du détecteur.

Avant d'aborder le projet à proprement parler, chaque groupe a essayé de comprendre le fonctionnement des différents blocs séparément, c'est-à-dire leur rôle dans le montage et leur impact sur le signal de l'onde radio, de l'antenne au haut-parleur. C'est à ce moment que nous avons découvert toute l'abstraction du projet.

Nous nous sommes ensuite penchés sur la partie pratique du récepteur. De nombreux composants étaient nécessaires, dont certains que nous devons nous-même réaliser. Fréquemment, nous nous sommes rendus compte que la théorie et la pratique ne coïncidaient pas du tout. Il a alors fallu procéder à de nombreux ajustements des valeurs pour obtenir les résultats escomptés. Ce n'est d'ailleurs qu'à la dernière séance de manipulation que nous avons terminé le projet dans son intégralité.



3 TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1 Historique

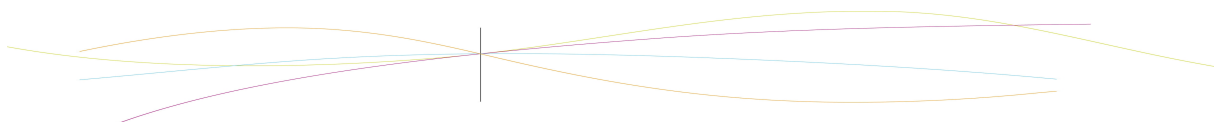
L'apparition de la radio est le fruit du travail de plusieurs inventeurs de la fin du XIXe siècle et du début du XXe.

Hertz est le premier à mettre en évidence les ondes radio. Il est suivi par Tesla qui met au point un générateur hautes fréquences dont il se sert pour réaliser les premières communications radio en 1889. Ce système permet de transmettre des messages à distance en utilisant le langage morse, mais sans utiliser de fils, sources de problèmes de transmission. C'est la Transmission Sans Fil, abrégée TSF. Parallèlement, le russe Alexandre Popov travaille en 1893 sur le principe de l'antenne, qui permettra l'émission/réception à grande distance.

Les essais de radios réussis se multiplient en France et en mer, mais c'est en 1906 que la radio naît officiellement, avec la première transmission de la voix humaine par l'américain Fessenden.

D'abord utilisée surtout dans le cadre de la sécurité maritime, la radio se développe auprès du grand public avec l'apparition des postes récepteurs superhétérodynes que l'on trouve rapidement dans toutes les familles. Ce n'est que dans les années 1960 que le transistor apparaît dans les radios. Ce composant électronique permet de rendre les postes de radio beaucoup plus compacts et transportables partout. La radio devient personnelle.

On différencie la modulation d'Amplitude (AM) de la modulation de Fréquence (FM). La modulation d'amplitude est recevable de beaucoup plus loin, mais restreint la qualité du signal. En effet, toutes les bandes de fréquences ne sont pas restituées. La modulation de fréquence, à l'inverse, émet moins loin mais plus précisément, c'est pourquoi la radio en France s'est essentiellement développée avec la modulation de fréquence. Permettant l'apparition de radios locales et diversifiées.



3.2 Conception de l'antenne

3.2.1 Fabrication de la bobine

Dans une radio, l'antenne est constituée d'une bobine.

Nous avons fabriquée celle-ci à l'aide de différents éléments: un bâton de ferrite de 50mm et du fil de cuivre de diamètre de 0,22mm.

Souhaitant recevoir France Inter, la fréquence de résonance correspondante est $f_0=164\text{kHz}$. Ainsi, nous avons choisis un condensateur de $C=47\text{pF}$ et grâce à l'utilisation de la formule suivante, nous avons trouvé l'inductance: $L=,020\text{H}$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Pour concevoir notre bobine, nous avons du calculer le nombre de tour de fil nécessaire autour du bâton de ferrite pour avoir une fréquence de résonance de 164kHz.

Grâce à la formule suivante, nous avons trouvé le nombre de tour $N=51$ tours

$$L = \frac{\mu_0\mu_r N^2 S}{l}$$

avec $L=0,20\text{H}$

$S=8\text{mm}$ (section effective du bâton de ferrite)

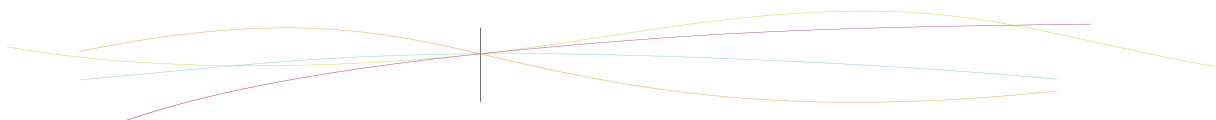
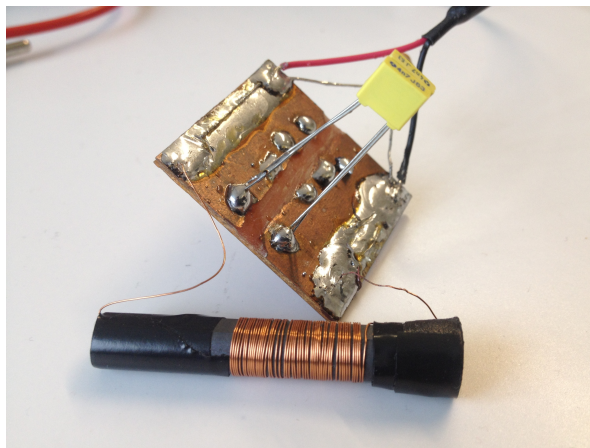
$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ (constante magnétique)

$l=50\text{mm}$ (longueur du bâton de ferrite)

$\mu_r=40$ (perméabilité du vide)

L'étape suivante a été l'enroulage du fil autour du bâton de ferrite. Il a fallu rester très attentif pour ne pas perdre le décompte du nombre de tours.

Le résultat final est le suivant:



Sachant qu'on a pu faire des erreurs en comptant le nombre de tours, nous avons recalculé expérimentalement l'inductance de notre bobine. On place donc celle-ci parallèlement au champ magnétique. Pour cela, on laisse un fil sortir du générateur qu'on place près du circuit bobine-résistance. On branche la sonde à l'oscilloscope et on cherche la fréquence de résonance.

Avec le même condensateur à $C=47\text{pF}$, nous trouvons une fréquence de résonance à 135kHz . En utilisant la formule la 1ère formule du paragraphe, on obtient $L=30\text{mH}$.

Ainsi nous pouvons modifier le condensateur pour obtenir une fréquence de résonance à 164kHz . On trouve $C=33\text{pF}$. On ajoute ensuite un condensateur ajustable de 10pF en parallèle avec celui de 33pF .

En conclusion, nous obtenons bien une fréquence de résonance à 164kHz

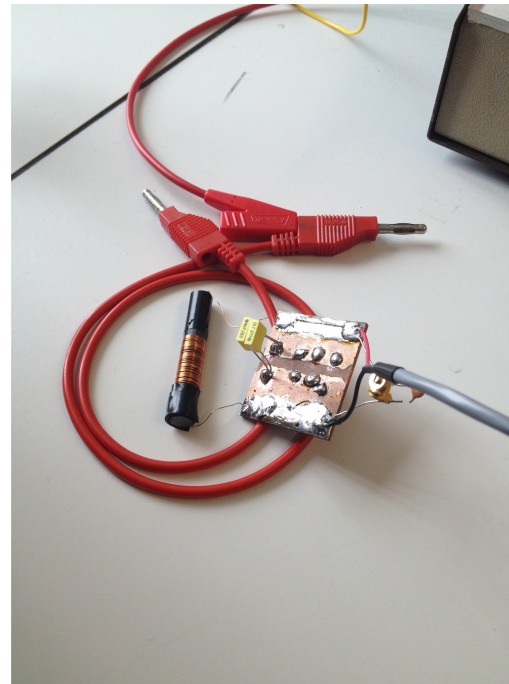
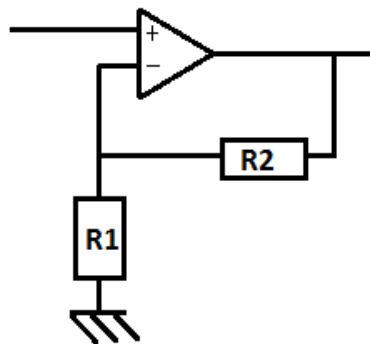


figure 1 : Antenne

3.2.2 Amplification du signal

On va maintenant travailler avec des amplis OP pour amplifier le signal reçu.



Tout d'abord, nous allons travailler pour créer une amplification de 10.

Il nous faut pour cela $R1=1\Omega$ et $R2=10\Omega$ car

$$A=1+(R1/21)=11$$

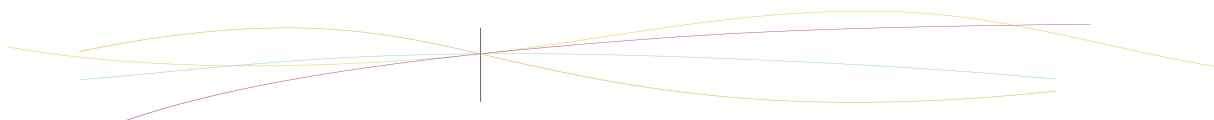
Nous avons 10V en sortie et on sait qu'à

$$U/\sqrt{2} = 10/\sqrt{2} = 7,1$$

on peut visualiser la fréquence de coupure à l'oscilloscope. Elle est de 360kHz . Or nous voulons que cette dernière approche 200kHz .

figure 2 : Ampli OP

Sachant que le produit gain*fréquence de coupure reste toujours constant (autour de 4MHz), on va augmenter le gain pour faire diminuer la fréquence de coupure. On choisit ainsi $R2=20\Omega$ et donc une amplification $A=21$. Finalement nous obtenons bien une fréquence de 200kHz .



Dans un deuxième temps, nous mettons deux AOP en série, ayant chacun $R1=1\Omega$ et $R2=10\Omega$. On obtient une amplification autour de 100kHz car d'un étage à l'autre, les gains se multiplient. Notons que la sortie d'un étage correspond à l'entrée du suivant.

Nous souhaitons obtenir le diagramme de Bode. Pour cela, on fait varier la fréquence d'entrée de 1kHz à 1MHz, en passant par les chiffres significatifs 1,2,4,8 car on veut une échelle logarithmique. On mesure les amplitudes d'entrée A_e et de sortie A_s , puis on calcule le rapport A_s/A_e . On trace le graphe sur synchronie.

Malheureusement, nos mesures n'étant pas assez précises, nous n'avons pas obtenu le bon résultat pour la fréquence de coupure. N'ayant pas eu le temps de refaire cette manipulation, nous ne pouvons inclure le diagramme souhaité. Voici cependant à quoi il doit ressembler :

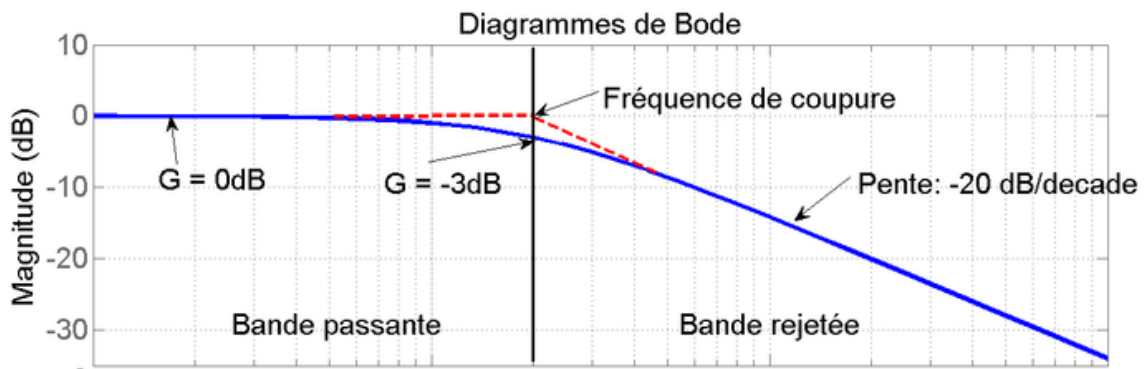


figure 3 : Diagramme de Bode du signal après l'amplification

3.2.3 Assemblage des 4 étages

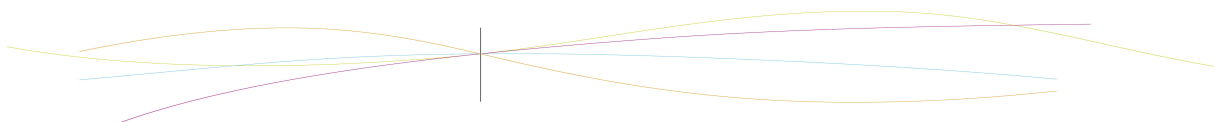
Nous allons réaliser un montage à 4 étages. Pour chaque étage, nous choisissons finalement $R1=6,9\Omega$ et $R2=47\Omega$. On alors $A=7,8$ à chaque étage. Ainsi, comme les gains se multiplient d'un étage à l'autre, nous obtenons un gain total de $(7,8)^4=3800$.

Comme on a amplifié énormément, il faut monter un pont diviseur à l'entrée car la tension de sortie sature.

Nous allons maintenant mesurer le gain expérimentalement, en branchant les étages successivement. Pour cela, nous mesurons la tension d'entrée U_e et de sortie U_s . Le calcul simple de U_s/U_e nous donne l'amplification. Toute l'opération s'effectue à 164kHz.

Etage 1	$U_e=152\text{mV}$; $U_s=940\text{mV}$	Gain=6,18
Etages 1+2	$U_e=100\text{mV}$; $U_s=5,6\text{V}$	Gain=56
Etages 1+2+3	$U_e=30\text{mV}$; $U_s=12,6\text{V}$	Gain=420
Etages 1+2+3+4	Saturation	

figure 4 : Tableau des gains pour les 4 étages



Finalement, on retire le 4ème étage car on sature. Avec 3 étages, on a un gain de 420. La fréquence de résonance est autour de 640kHz. On veut la faire diminuer. Pour cela, on va mettre un condensateur en plus en parallèle sur notre antenne de 10nF. On peut noter que notre condensateur ajustable de 10pF n'est plus adapté : sa variation n'a plus d'influence devant 10nF.

En conclusion, on a une fréquence de résonance de 147kHz. Cela ne correspond pas exactement au résultat escompté de 164kHz, ceci étant du aux erreurs de manipulations.

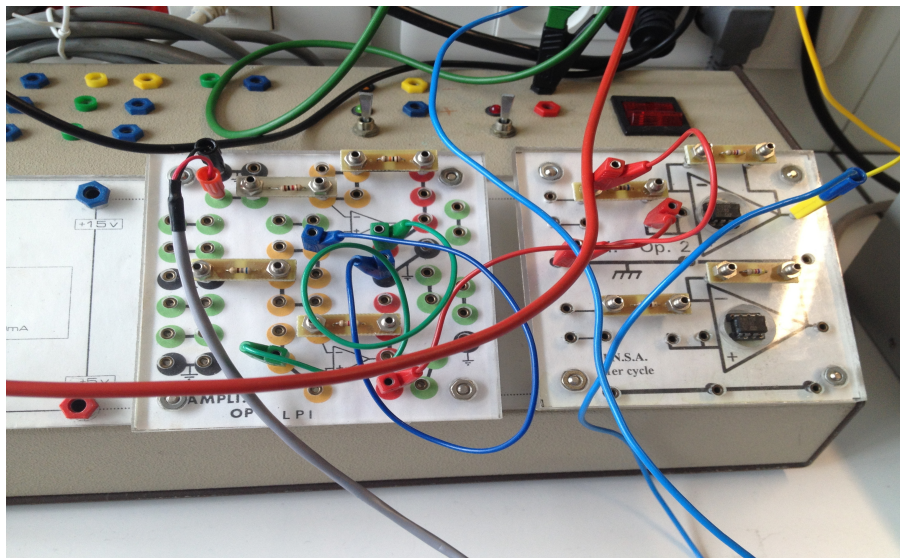
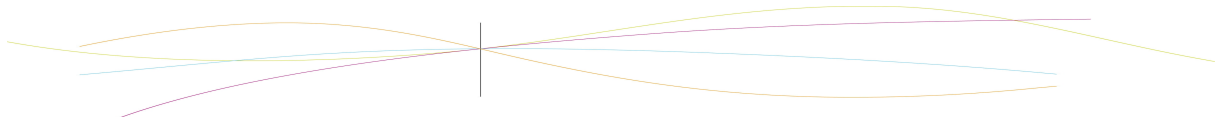


figure 5 : Montage final de l'amplification

Nous allons ensuite passer à la partie modulation du signal.



3.3 Modulation d'amplitude

3.3.1 Le mélangeur

Une autre partie de notre groupe s'est d'abord focalisée sur la partie mélangeur du superhétérodyne (Annexe 1). Celui-ci combine le signal pré-amplifié par l'antenne de 147kHz avec une onde produite par l'oscillateur local de 117kHz en faisant le produit des deux. On obtient alors deux fréquences:

$$f_1 = f_{osc} - f_{ant} = 30 \text{ kHz}$$

$$f_2 = f_{osc} + f_{ant} = 264 \text{ kHz}$$

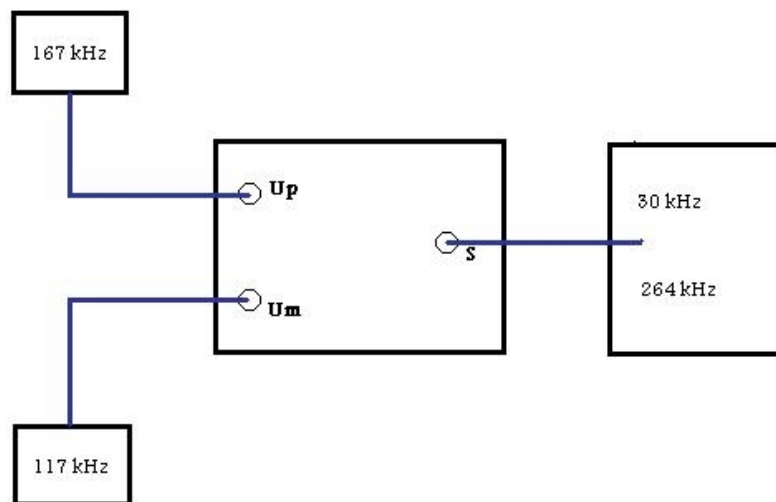


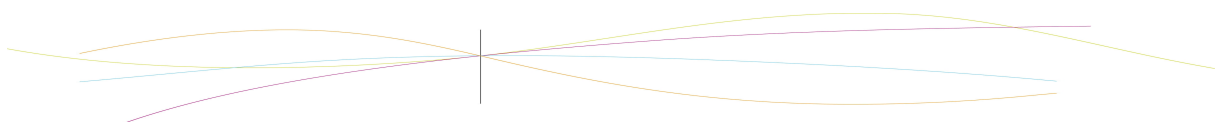
figure 6 : Mélangeur

La mesure ne peut être faire que sur l'amplitude absolue du signal, en général sur la différence suivante : $f_1 = |f_{osc} - f_{ant}| = 30 \text{ kHz}$

De plus, l'oreille humaine peut percevoir au maximum des oscillations de 20kHz. Ainsi, plus la fréquence est basse moins il y aura de parasites dans le signal. Donc celui-ci sera plus audible par l'homme.

3.3.2 La modulation d'amplitude – filtre FI

Le principe du récepteur hétérodyne est de convertir tous les signaux sur une seule et unique bande de fréquence appelée fréquence intermédiaire (FI). Elle permet de ne garder que la bande de fréquences autour de 30 kHz et lui donne ainsi des propriétés de sélectivité idéales tout en respectant la largeur de la bande passante nécessaire.



Pour connaître exactement la fréquence de coupure de notre signal, nous avons réalisé un filtre Sallen-Key passe-bas du 2^e ordre (Annexe 2). Les valeurs des résistances et des condensateurs ont été calculées de la manière suivantes :

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Avec $f = 40 \text{ kHz}$, nous avons trouvé $R = 3,9 \text{ k}\Omega$ et $C = 1 \text{ nF}$ que nous avons repris pour notre passe-bas.

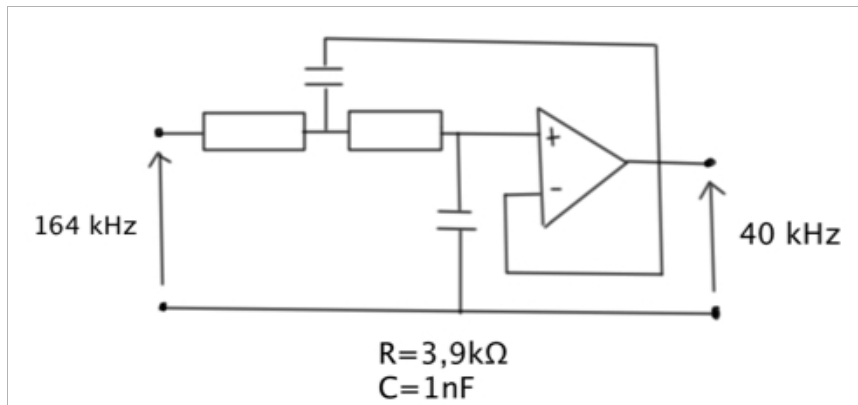
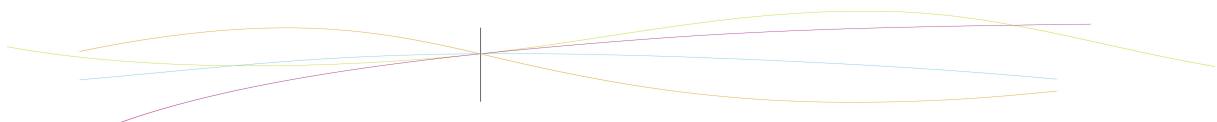


figure 7 : Filtre Sallen-Key 2^e ordre passe-bas

Puis nous avons effectué des mesures de l'amplitude crête à crête à la sortie et à l'entrée de l'ordre de 15,4V avec un changement de fréquence régulier (Annexe 3). Il fallait bien voir la totalité du signal pour qu'elles soient valides. La fréquence de coupure est donc d'environ 30 kHz.

Pour filtrer d'avantage le signal, le professeur nous a installé un passe-bas de 1^{er} ordre, donnant ainsi un filtre passe-bas du 3^e ordre avec le Sallen Key. Nous aurions pu améliorer davantage la qualité du signal avec un passe-bas du 4^e ordre. Cependant, le manque de temps nous a dissuadé de le faire.



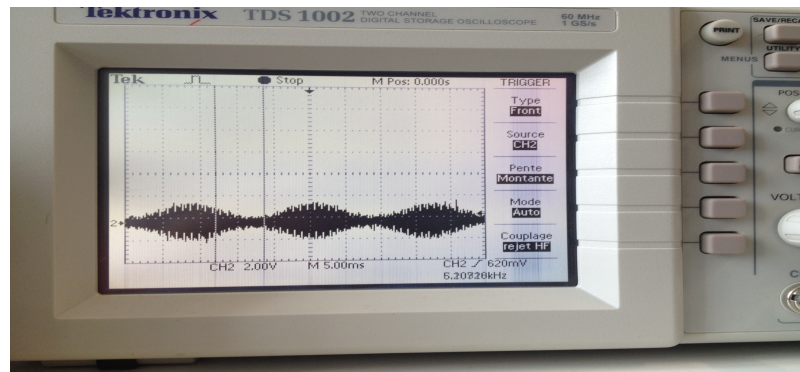


figure 8 : Signal modulé

3.3.3 La démodulation d'amplitude

La démodulation consiste à récupérer l'information transmise en supprimant la porteuse pour ne conserver que l'enveloppe. Cette opération est réalisée avec un détecteur et d'un filtre (R,C).

En plus de ces composants, nous avons ajouté un condensateur de $1\mu\text{F}$ afin de supprimer la composante continue du signal. Autrement dit, on va enlever la tension de décalage du signal modulant.

Le détecteur est constitué d'un redresseur sans seuil. Nous avons d'abord choisi une diode puissance (1N4001) mais elle ne supportait pas notre fréquence intermédiaire. Dans ces conditions, nous avons opté pour une diode de petits signaux fréquence élevée (1N4148).

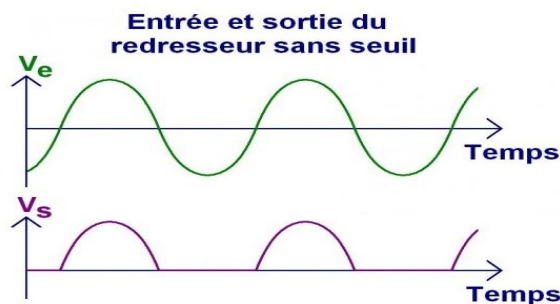
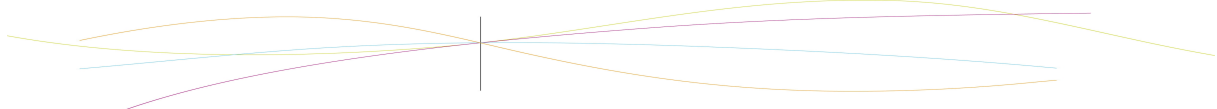


figure 9 : Entrée et sortie du redresseur sans seuil



Grâce au redresseur sans seuil on va pouvoir récupérer uniquement le signal positif.

Enfin, nous avons relié la détecteur à un filtre passe-bas du 1^{er} ordre pour ne garder que les crêtes.

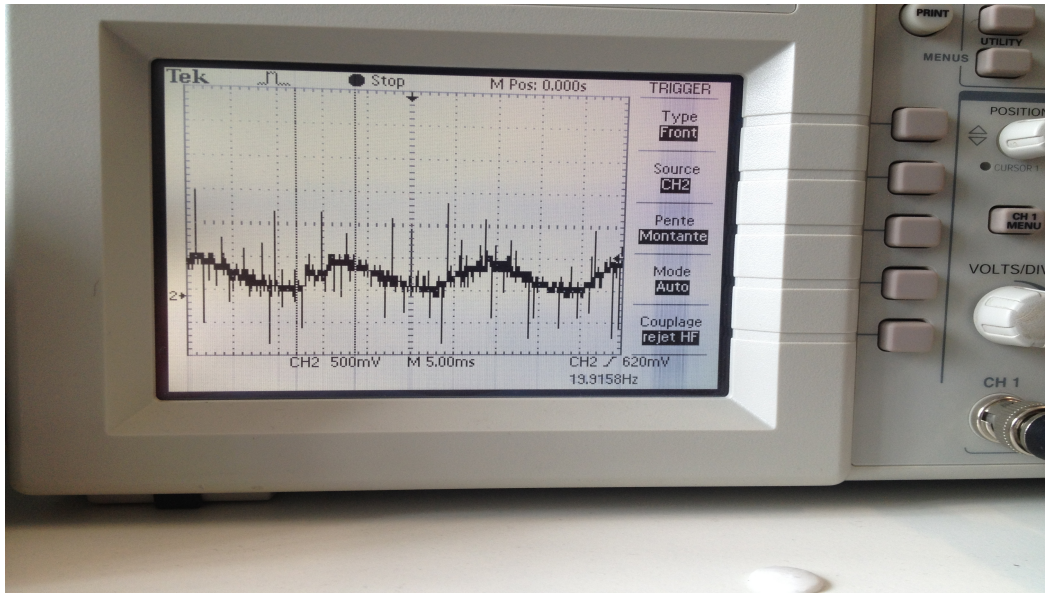
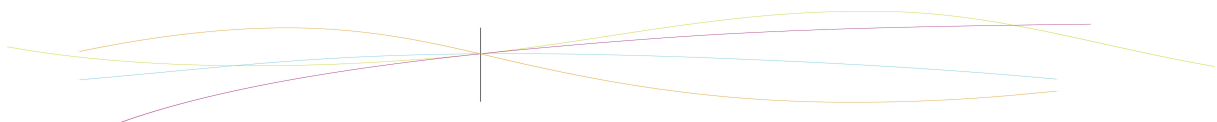


figure 10 : Signal démodulé

Notre signal final pourrait être meilleur:

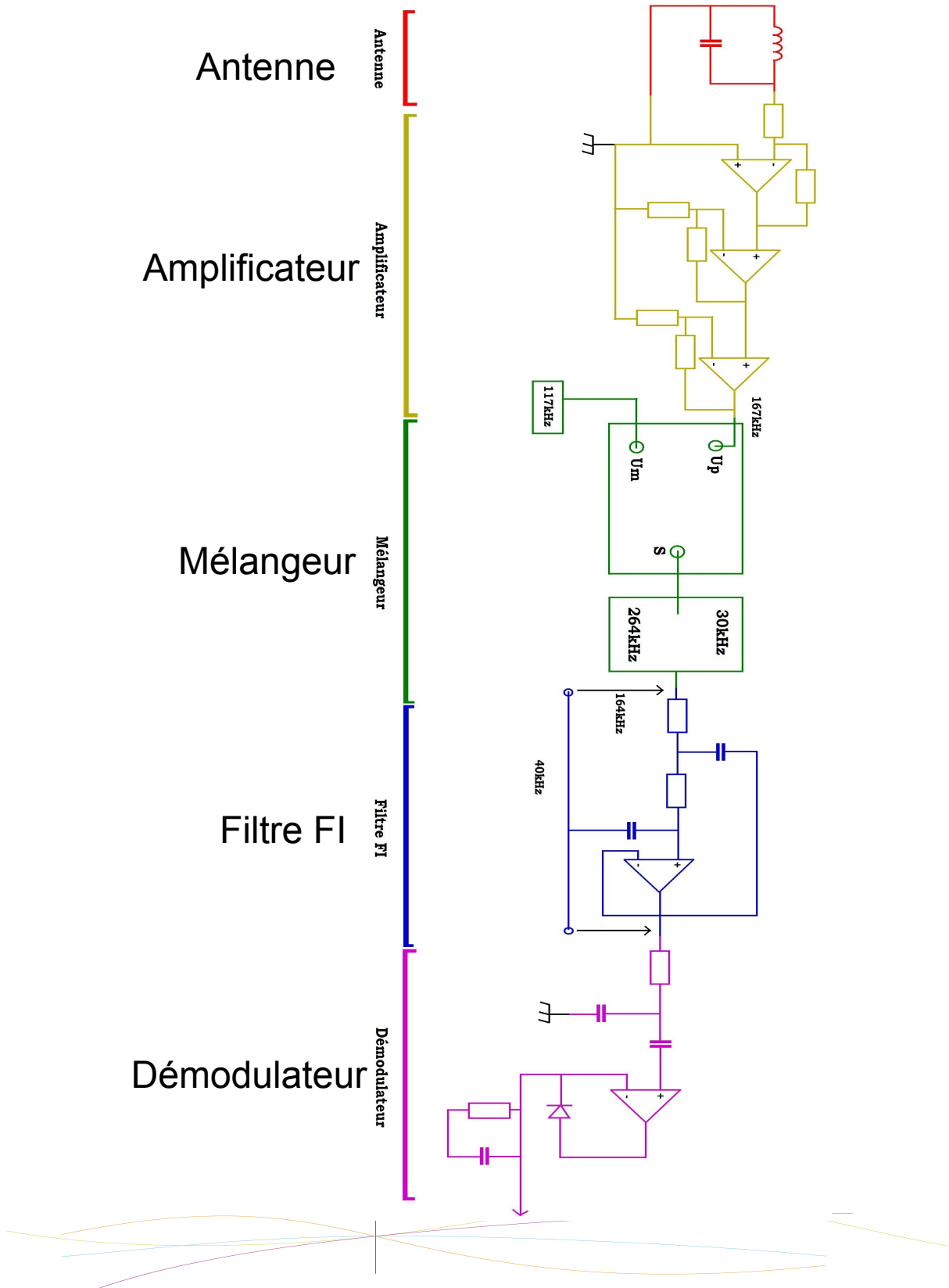
- les aigus ne vont que de 0 à 3 kHz pour un récepteur AM et de 0 à 15 kHz pour un récepteur FM. La qualité du signal FM est donc supérieure à celle du signal AM.
- On aurait du prendre un passe-bande Sallen-Key du 4^e ordre pour que le montage FI aurait pu être plus sélectif.
- La carte multiplieur, qui fait office de mélangeur, ne remplit pas tout à fait son rôle. En effet, en plus des parasites, le produit des 2 tensions de départ n'est pas tout à fait réalisé.

De plus, nous n'avons pas eu le temps de relier tout notre dispositif à un haut-parleur pour vérifier s'il l'on pouvait écouter la radio à la fréquence de France Inter.



3.4 Montage final

Voici notre montage final, accompagné du schéma électronique.



4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les ondes AM présentent l'avantage de pouvoir être reçues à une distance très éloignée de la source, contrairement aux ondes FM. Cependant elles sont beaucoup plus sensibles aux parasites.

Dans notre cas, cette difficulté c'est ressentie puisque, même en émettant nous même la fréquence de 147kHz, des parasites se ressentent dans le montage, et la position de l'antenne par rapport au fil source influe beaucoup sur la qualité de réception.

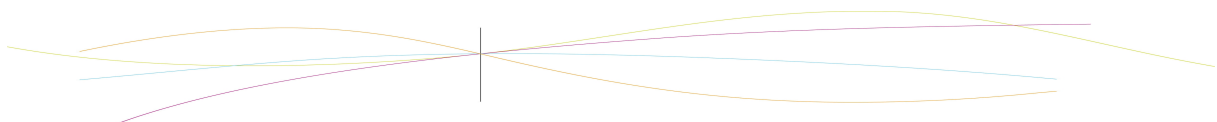
Un autre désavantage des postes AM (que nous n'avons pas rencontré, puisque nous n'avons pas réellement écouté la radio) est que la bande de fréquence retransmise est plus petite que dans le cas des ondes FM. Ainsi le son perd en harmonique et donc en qualité. C'est pourquoi il vaut mieux écouter un concert sur la FM.

Cependant, la réalisation partielle de ce projet nous a permis de découvrir le fonctionnement interne d'un poste de radio AM/FM et de commencer à réaliser le nôtre. Nous nous sommes également rendu compte de l'importance de l'expérimentation pour paramétrer au mieux l'ensemble et le faire fonctionner.

Ceci nous a aidé à enrichir nos connaissances théoriques sur le sujet. Il est toujours utile de faire le lien entre la théorie et la pratique pour se confronter aux problèmes que l'on peut rencontrer lors de la réalisation d'un récepteur superhétérodyne. Ainsi, cette expérience nous servira sans aucun doute dans un proche avenir professionnel. En effet, même si nous ne travaillerons pas tous dans le domaine de la physique, il est toujours intéressant de connaître le fonctionnement d'une radio pour notre culture générale.

Enfin, grâce à ce projet, nous avons eu une nouvelle opportunité de travailler en groupe de 5 personnes. Ceci nous a permis de mêler nos points de vue sur les différentes parties d'analyse et sur la pratique pour surmonter les difficultés et nous réorienter en cas de fausse route.

La réalisation de ce projet a donc été réellement instructive en connaissance pratique et nous a offert la possibilité d'aborder la physique d'une autre façon.



5 BIBLIOGRAPHIE

Sites Internet:

http://tsf.pagesperso-orange.fr/tsf/sh_princ.htm (valide à la date du 08/06/2012)

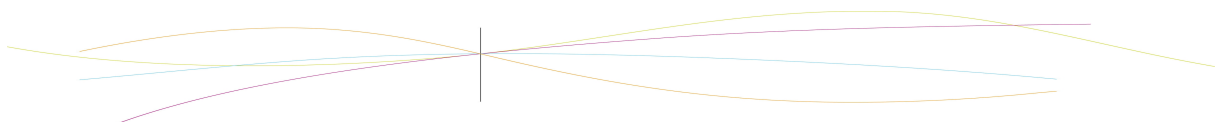
<http://www.discip.ac-caen.fr/physapp/bts/electronique/128/128.htm> (valide à la date du 08/06/2012)

<http://www.radartutorial.eu/09.receivers/rx05.fr.html> (valable à la date du 08/06/2012)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Bobine_%28%C3%A9lectricit%C3%A9%29

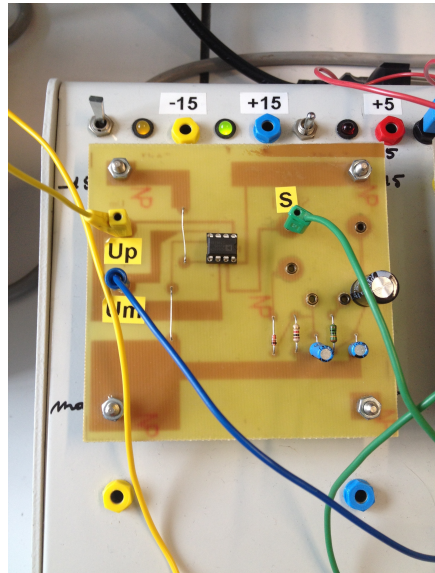
<http://www.cours2physique.com/cours-physique-chimie-terminale-s/recepteur-radio-sommaire.html>

http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02bis/cours_elec/aop.pdf

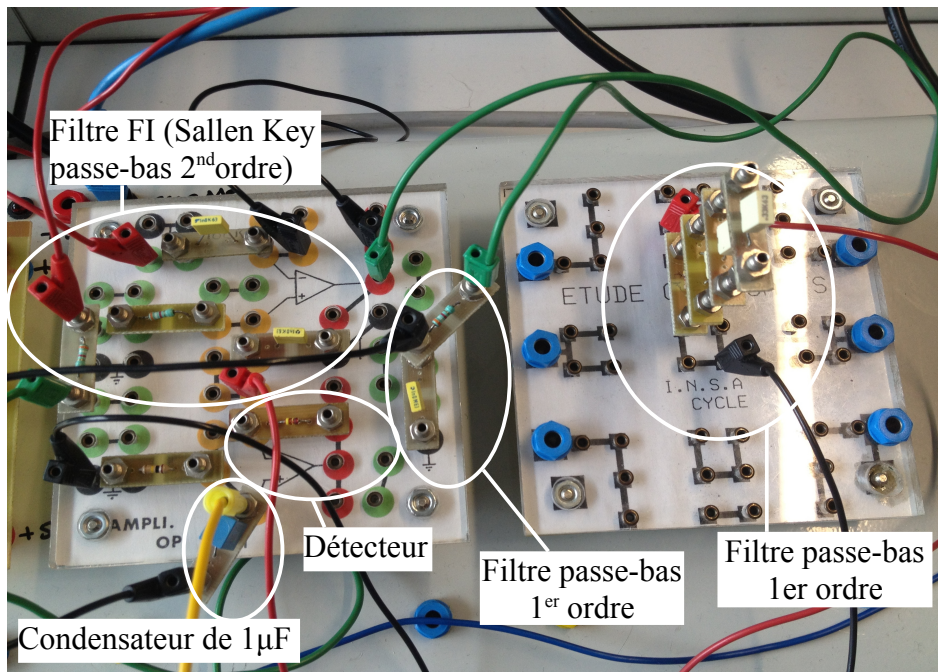


6 ANNEXES

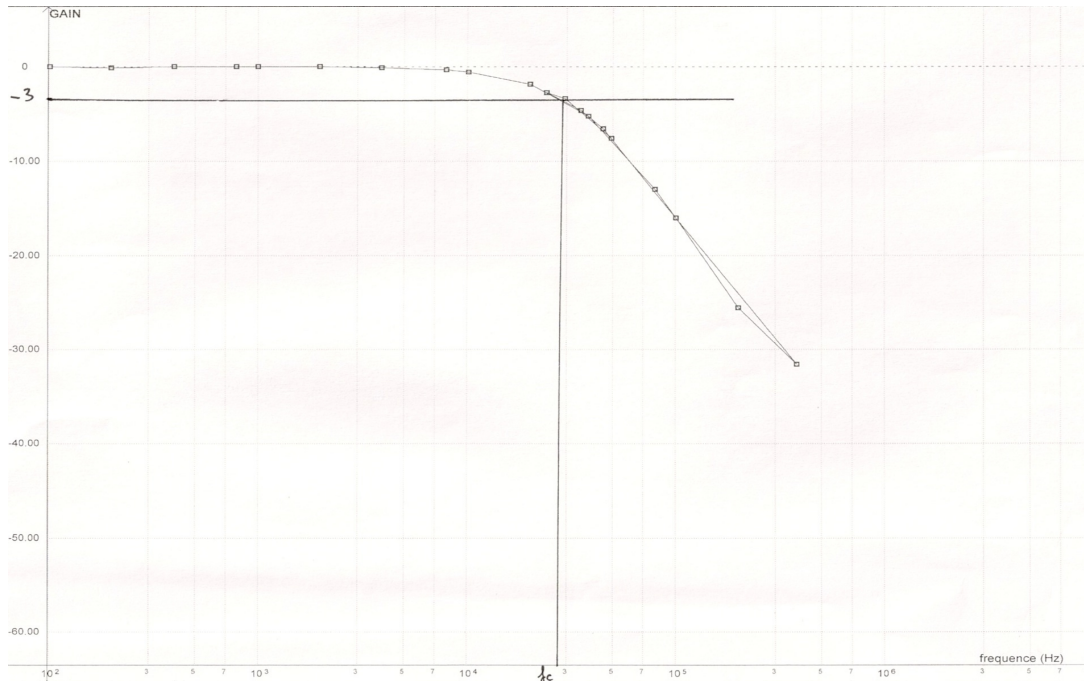
Annexe 1 : Carte multiplieur – Mélangeur



Annexe 2 : Montage pour la modulation et la démodulation



Annexe 3 : Diagramme de Bode du filtre FI et tableau de mesures



	Ecc(V)	Scv(V)	frequence(Hz)
1	15.60 V	15.60 V	100.7 Hz
2	15.60 V	15.40 V	197.9 Hz
3	15.40 V	15.40 V	397.0 Hz
4	15.40 V	15.40 V	787.0 Hz
5	15.40 V	15.40 V	1.000 kHz
6	15.40 V	15.40 V	1.974 kHz
7	15.40 V	15.20 V	3.906 kHz
8	15.40 V	14.80 V	7.937 kHz
9	15.40 V	14.40 V	10.14 kHz
10	15.40 V	12.40 V	20.00 kHz
11	15.40 V	8.400 V	38.17 kHz
12	15.20 V	3.400 V	80.10 kHz
13	15.20 V	2.400 V	100.8 kHz
14	15.20 V	0.800 V	199.8 kHz
15	15.20 V	0.400 V	381.7 kHz
16	15.40 V	7.200 V	44.90 kHz
17	15.40 V	9.000 V	35.06 kHz
18	15.40 V	11.20 V	24.00 kHz
19	15.40 V	10.40 V	29.40 kHz
20	15.40 V	6.400 V	49.34 kHz

