

N° d'ordre 002 /RC/TCO

Année Universitaire :2015-2016



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO



INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention

du DIPLOME de LICENCE

Parcours : RADIOCOMMUNICATION

Par : **ANDRIAMANOHSOA Hery Zo Jean Baptiste**

CONCEPTION D'UN AMPLIFICATEUR AUDIO

Soutenu le Mardi 11 Avril 2017 devant la Commission d'Examen composée de :

Président :

M. RAVONIMANANTSOA Ndaohialy Manda-Vy

Examineurs :

M. RAJAONARISON Tiandrasana Roméo

M. ANDY MARLON Bourgeon

Encadreur de Mémoire :

M. ANDRIAMIAJARISON Jimmy

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et le courage d'accomplir ce mémoire ; Il m'a fait preuve de bienveillance et de miséricorde. Beni soit son nom maintenant et pour le siècle de siècle. Ensuite, mes remerciements s'adressent aux personnes suivantes qui m'ont permis de faire mes études à l'IES-AV, parmi lesquelles :

- Monsieur Panja RAMANOELINA, Professeur Titulaire, président de l'université d'Antananarivo
- Monsieur RAJAONARISON Eddi Franck, maître de conférence et directeur de l'IES-AV
- Madame RANAIVOSOA Mamitiana Olivette, assistante d'Enseignement et de Recherche, responsable de la mention
- Je tiens à remercier Monsieur RAKOTOMALALA Mamy Alain, Maître de Conférence, pour le partenariat avec la mention Télécommunication à l'ESPA qu'il représente ici.
- Monsieur RANDRIANANDRASANA Marie Emile, assistant d'Enseignement et de recherche, responsable du parcours Radiocommunication à l'IES-AV
- Monsieur RAVONIMANANTSOA Ndaolahy Manda-Vy, Maître de Conférence et Enseignant-Chercheur qui a accepté de présider la commission des jurys pour cette présentation
- ANDRIAMIAJARISON Jimmy, assistant d'Enseignement et de Recherche, qui s'est montré à l'écoute et qui m'a guidé pendant la réalisation de ce mémoire en tant qu'encadreur de ce mémoire

Ainsi que tous les membres de jury qui sont :

- Monsieur RAJAONARISON Tiandrasana Roméo, Docteur et Enseignant-Chercheur
- Monsieur ANDY MARLON Bourgeon, assistant d'Enseignements et de Recherche à l'IES-AV

et qui ont donné leur temps pour assister et examiner cette présentation. Je tiens aussi à vous mes camarades de classe, vous étiez pour moi comme des frères et des sœurs pendant ces trois ans passés ensemble. Et un grand merci aussi à tous les personnels de l'IESAV qui ont organisé notre formation. Je tiens à remercier les amies qui m'ont beaucoup aidé et qui ont sacrifié leur temps pour m'aider à réaliser ce mémoire. Finalement, un grand merci aussi à tous les membres de ma famille, grands et petits, qui m'ont soutenu pendant la réalisation de ce mémoire.

Que Dieu vous bénisse et qu'il vous donne toujours sa paix.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DES MATIERES	ii
NOTATIONS ET ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 LE SON ET LE SIGNAL AUDIO	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 . Le son	2
1.2.1 Définition	2
1.2.2 Caractéristique du son.....	3
1.2.2.1 L'amplitude	3
1.2.2.2 La fréquence ou hauteur du son	5
1.2.2.3 Le Timbre	6
1.2.3 Classification du son.....	7
1.2.3.1 Le son audible	7
1.2.3.2 Les ultrasons et les infrasons	8
1.2.4 Les appareils sonores.....	8
1.2.4.1 Les sources	8
1.2.4.2 Le récepteur	8
1.3 La conversion du signal acoustique en signale électrique et l'opération inverse	8
1.3.1 Le microphone	9
1.3.1.1 Définition	9
1.3.1.2 Principe de fonctionnement.....	9
1.3.1.3 Les caractéristique d'un microphone	10
1.3.1.4 Les différents types de Microphone	12
1.3.2 Le Haut-parleur	15
1.3.2.1 Définition	16

1.3.2.2 Principe de fonctionnement.....	16
1.3.2.3 Les paramètres caractéristique d'un haut-parleur.....	20
1.4 Conclusion	21
CHAPITRE 2 L'AMPLIFICATEUR AUDIO	22
2.1 Introduction.....	22
2.2 Les filtres.....	22
2.2.1 <i>Définition</i>	22
2.2.2 <i>Les différentes sortes de filtres</i>	24
2.2.2.1 Le filtre passe-bas.....	24
2.2.2.2 Le filtre passe-haut	28
2.2.2.3 Le filtre passe-bande	30
2.2.2.4 Le filtre coupe bande ou réjecteur de bande.....	32
2.3 Le transistor bipolaire	33
2.3.1 <i>Historique.....</i>	33
2.3.2 <i>Définition</i>	34
2.3.3 <i>Régime de fonctionnement d'un transistor.....</i>	35
2.3.3.2 Caractéristique $I_B = f(V_{BE})$ d'un transistor NPN	36
2.3.3.3 Caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ d'un transistor.....	37
2.4 L'étage amplificateur.....	40
2.4.1 <i>Amplificateur classe A</i>	41
2.4.2 <i>Les amplificateurs de classe B et AB</i>	45
2.5 Conclusion	50
CHAPITRE 3 REALISATION : AMPLIFICATEUR AUDIO	51
3.1 Introduction.....	51
3.2 L'alimentation	51
3.3 L'étage préamplificateur	52
3.4 L'étage amplificateur.....	55
3.5 Réalisation	59

3.6 Conclusion	62
CONCLUSION GENERALE	63
ANNEXE 1 MONTAGE COLLECTEUR COMMUN	65
ANNEXE 2 L'AMPLIFICATEUR CLASSE C ET D ET LE TRANSISTOR B1047	67
<i>A2.01 Amplificateur classe C</i>	67
<i>A2.02 L'amplificateur classe D</i>	67
<i>A2 .03 Caractéristique du transistor D1047</i>	68
BIBLIOGRAPHIE	70
FICHE DE RENSEIGNEMENTS :	xi
RESUME	xii
ABSTRACT	xii

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

1. Minuscules latines

\hat{a}	\hat{a} =angle entre la direction du courant i et le champ magnétique B
a_n, b_n	les coefficients de Fourier
C	Célérité
e	tension efficace délivrée par le microphone en Volt
f	fréquence
f_c	Fréquence de coupure
f_{cB}	Fréquence de coupure basse
f_{cH}	Fréquence de coupure haute
$i_c(t)$	Courant instantané
j	Nombre imaginaire
p_{Qmax}	Puissance instantanée maximale d'un transistor
$p_u(t)$	Puissance instantanée
$u_c(t)$	Tension instantanée

2. Majuscules latines

Av	Gain en tension d'un système linéaire
B	B = induction magnétique en Tesla
G_p	Gain en puissance
C	Capacité
I	intensité du courant dans la bobine en ampère
I_{CMAX}	Courant maximale dans le collecteur
I_{BC}	Courant base-collecteur
I_{BE}	Courant base-émetteur
I_{EC}	Courant collecteur-émetteur
I_B	Courant de la base
I_C	Courant du collecteur
I_{Bmini}	Courant de la base à $V_{BE} = V_S$
I_{C0}	Courant de polarisation
I_C	Courant efficace
L	Inductance d'une bobine
L	longueur de fil embrassée par le flux d'induction (en mètre).

P_u	Puissance moyenne utile
P_f	Puissance fournie par l'alimentation
P_d	Puissance dissipé en perte
P_c	Puissance du signal à amplifier
P_{RL}	Puissance totale dissipé dans la résistance de charge
P_{TOT}	Puissance totale dissipée
P_n	Puissance nominale d'un haut-parleur en Watt
R	Résistance
S	Sensibilité d'un microphone en dB
T	Période d'un signal périodique
U_{co}	Tension de polarisation
U_c	Tension efficace
U_J	Tension de jonction
V_{CC}	Tension d'alimentation
V_{CESAT}	Tension de saturation
V_{CE}	Tension collecteur-émetteur
V_s	Tension seuil de la jonction BE
V_{BE}	Tension base-émetteur
V_{BE0}	V_{BE0} : Tension base/émetteur maximale
V_{CE0} ou V_{MAX}	Tension collecteur/émetteur maxi (à $V_{BB}=0$)
$V_E(j\omega)$	Tension d'entrée pour un filtre
$V_s(j\omega)$	Tension de sortie

3. Minuscules latines

Θ	Angle d'incidence d'une onde acoustique
ω	Pulsation d'un signal sinusoïdale
ω_0	Pulsation propre
β ou Hfe	Gain en courant d'un transistor
η	Rendement d'un amplificateur
η_{max}	Rendement maximale

4. ABREVIATIONS

A	Ampère
AOP	Ampli Operationnel
BP	Bande Passante
dB	décibel
Hz	Hertz

M	mètre
Pa	Pascal
SPL	Sound Pressure Level

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

1. Listes des tableaux

Tableau 1.01 :	<i>Classification du son suivant l'Amplitude</i>
Tableau 1.02 :	<i>Classification et utilisation de microphone</i>
Tableau 2.01 :	<i>Amplificateur classe A- Répartition de puissance</i>
Tableau A1.01:	<i>Comparaison de puissance au repos et η_{\max}</i>
Tableau A2.02:	<i>Tableau des caractéristiques du transistor D1047</i>

2. Liste des figures

Figure 1.01 :	<i>Variation de l'amplitude d'un son</i>
Figure 1.02 :	<i>Onde sinusoïdale</i>
Figure 1.03 :	<i>Composition d'un son</i>
Figure 1.04 :	<i>Plage de fréquence d'audibilité de différents animaux</i>
Figure 1.05 :	<i>Coupe d'un microphone</i>
Figure 1.06 :	<i>Détaille de principe de fonctionnement d'un microphone</i>
Figure 1.07 :	<i>Diagramme de directivité</i>
Figure 1.08 :	<i>Coupe d'un microphone électrodynamique</i>
Figure 1.09 :	<i>Coupe d'un microphone électrostatique</i>
Figure 1.10 :	<i>Microphone à électret « pastille » et statique à électret</i>
Figure 1.11 :	<i>Microphone à Ruban</i>
Figure 1.12 :	<i>Haut-parleur</i>
Figure 1.13:	<i>Coupe d'un haut-parleur électrodynamique</i>
Figure 1.14 :	<i>Coupe d'un haut-parleur électrostatique</i>
Figure 1.15 :	<i>Variation du matériau piézoélectrique dû au champ électrique</i>
Figure 1.16 :	<i>Réponse d'un haut-parleur</i>
Figure 1.17 :	<i>Diagrammes de directivité d'un haut-parleurs à 2000Hz et 800Hz</i>
Figure 2.01 :	<i>Décomposition en série de Fourier</i>
Figure 2.02 :	<i>Signal avant filtrage</i>
Figure 2.03 :	<i>Signal après filtrage</i>
Figure 2.04 :	<i>Courbe de réponse en fréquence d'un filtre passe-bas</i>
Figure 2.05 :	<i>Filtre passe-bas réalisé par un circuit RC</i>
Figure 2.06 :	<i>Filtre passe-bas RL</i>
Figure 2.07 :	<i>Filtre passe-bas RLC</i>

Figure 2.08 :	<i>Filtre de second ordre par mise en cascade</i>
Figure 2.09 :	<i>Réponse en fréquence d'un filtre passe-haut</i>
Figure 2.10 :	<i>Montage d'un filtre passe-haut de premier ordre</i>
Figure 2.11 :	<i>Filtre passe-haut de second ordre</i>
Figure 2.12 :	<i>Amplitude en fonction de fréquence pour un filtre passe-bande</i>
Figure 2.13 :	<i>Filtre passe-bande RLC</i>
Figure 2.14 :	<i>Mise en cascade d'un filtre passe-bas et passe-haut</i>
Figure 2.15 :	<i>Filtre coupe-bande RLC</i>
Figure 2.16 :	<i>Transistor bipolaire (à gauche) et transistor à contact (à droite)</i>
Figure 2.17 :	<i>Transistor bipolaire et sa représentation dans un schéma électrique</i>
Figure 2.18 :	<i>Forme réel d'un transistor</i>
Figure 2.19 :	<i>Etude expérimentale d'un transistor</i>
Figure 2.20 :	<i>Montage à émetteur commun</i>
Figure 2.21 :	<i>Caractéristiques $I_B = f(V_{BE})$ d'un NPN à gauche et d'un PNP à droite</i>
Figure 2.22 :	<i>Caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ d'un transistor bipolaire</i>
Figure 2.23 :	<i>Polarisation d'un transistor</i>
Figure 2.24 :	<i>Point de fonctionnement d'un transistor bipolaire</i>
Figure 2.25 :	<i>Montage d'un amplificateur de classe A</i>
Figure 2.26 :	<i>Points de fonctionnement d'un amplificateur classe A</i>
Figure 2.27 :	<i>Composition d'une tension périodique</i>
Figure 2.28 :	<i>Composition du courant</i>
Figure 2.29 :	<i>Amplificateur classe A- Répartition de puissance</i>
Figure 2.30 :	<i>Variation de la puissance dissipée par le transistor en fonction du temps</i>
Figure 2.31 :	<i>Montage push-pull – Amplificateur classe B</i>
Figure 2.32 :	<i>Points de repos d'un amplificateur de classe B</i>
Figure 2.33 :	<i>Distorsion de « cross-over »</i>
Figure 2.34 :	<i>Structure de base d'un amplificateur classe AB</i>
Figure 2.35 :	<i>Point de fonctionnement de classe A, B, et AB</i>
Figure 2.36 :	<i>Caractéristique de transfert d'un amplificateur classe AB</i>
Figure 2.37 :	<i>Répartition de puissance et rendement d'un amplificateur classe AB</i>
Figure 3.01 :	<i>Schéma électrique de l'alimentation</i>
Figure 3.02 :	<i>Schéma électrique de l'étage préamplificateur</i>
Figure 3.03 :	<i>Schéma électrique du canal gauche de l'amplificateur</i>

Figure 3.04 : *Amplificateur complet*

Figure 3.05 : *Circuit imprimé avec les soudures de l'amplificateur*

Figure 3.06 : *Coté composantes de l'ensemble alimentation, préamplificateur, et amplificateur*

INTRODUCTION GENERALE

Depuis longtemps, les humains vivaient en groupe dans divers endroits du monde. Mais l'arrivée de l'idée de conquérir des nouveaux territoires a agrandi le royaume. Par exemple, l'empire romain a presque établi son royaume dans toute l'Europe. Mais plus le public est nombreux, plus on a besoin de quelqu'un qui parle fort pour transmettre le message. D'autre part, dans le monde moderne, pour un spectacle musical, plus l'artiste est célèbre, plus il y a beaucoup de spectateur, donc il sera difficile d'entendre si le chanteur chante ou pas. La nécessité de concevoir un dispositif capable d'amplifier le son est donc un problème que l'humanité doit faire face. La découverte du courant électrique ainsi que l'évolution de son exploitation conduit l'homme à concevoir des dispositifs qui facilitera leur tâche ménagère, comme une cuisinière, un radio, etc...

Le développement de l'électronique a changé beaucoup de chose dans la vie quotidienne.

Dans ce mémoire on va parler d'une solution apportée aux deux problèmes qu'on a parlé ci-dessus, concernant le besoin de parler aux grands public. Il s'agit de l'amplificateur audio. C'est un dispositif électronique qui est doté de l'amplification du son. Dans un premier temps, on va parler d'abord du son et du signal audio. Qu'est-ce que le son et comment convertir le signal acoustique en signal électrique ? Et l'opération inverse, comment ça se fait ? Dans le second chapitre, on va étudier les étages d'un amplificateur. On va voir quelles sont les traitements nécessaires pour amplifier un signal audio. L'opération de filtrage sera développée dans ce chapitre. On va voir les différents classes d'étages amplificateur et leurs spécificités. Et dans le dernier chapitre, la conception d'un amplificateur à puissance moyenne y sera consacrée.

Maintenant, sans plus attendre, nous allons donc entrer dans le noyau de ce mémoire.

CHAPITRE 1 LE SON ET LE SIGNAL AUDIO

1.1 Introduction

Avant de faire l'étude d'un amplificateur audio, il est nécessaire d'étudier le son et son monde ainsi que les dispositifs utilisés pour convertir le signal acoustique en signal électrique. Dans ce chapitre, on va étudier le son et ses caractéristiques ainsi que les deux dispositifs de traduction : le microphone et le haut-parleur.

1.2 . Le son

1.2.1 Définition

Le son est une vibration de l'air provoquée par une vibration d'un objet (peau, corde...). La vibration de l'objet provoque un changement de pression d'air autour de celui-ci. Le son est donc une onde mécanique. La propagation du son résulte d'un conflit ou d'un déséquilibre. [3] A partir du moment où il est produit, le son a tendance à envelopper la source sonore. La forme de ce rayonnement n'est pas uniforme, il y a des axes privilégiés de propagation. La vitesse de propagation du son n'est pas la même dans tous les milieux, par exemple, la vitesse de propagation du son dans l'air est de 340 mètres par seconde tandis que celle de l'eau de mer est de 1500 mètres par seconde, dans l'acier le son se propage à environ 5 km/sec. [1][2][3] Ceci montre que la vitesse du son dans l'air est faible par rapport aux autres milieux et que l'air freine le son. Un son peut aussi réfléchir après rencontre avec un objet.

Un son est le résultat d'un conflit entre deux éléments. Cela crée une onde initiale sinusoïdale. C'est l'onde fondamentale : première onde formée. Ensuite cette fondamentale va générer à partir d'elle-même un certain nombre d'ondes secondaires que l'on appelle harmoniques. Tout son est formé d'un fondamental et d'un ensemble d'harmoniques. Un Fondamental plus un ensemble d'harmoniques donne naissance au son. [2][3] On entend la globalité qui forme un son. Chaque son a un certain nombre d'harmoniques qui lui est propre, les harmoniques déterminent l'empreinte sonore d'un son. Il n'existe pas deux sons avec le même nombre d'harmoniques.

1.2.2 Caractéristique du son

Comme nous l'avons vu dans la définition qu'un son est une onde. Elle est donc caractérisée par son amplitude, sa fréquence et timbre. Ces trois paramètres sont nécessaires pour caractériser un son.

1.2.2.1 L'amplitude

L'amplitude est le paramètre qui permet de préciser le niveau sonore (fort /faible) du son. Si l'amplitude est grande, on a un son qui est fort, et si elle est petite, plus le son est faible. L'unité de mesure de l'amplitude d'un son est le décibel ou plus précisément en acoustique le dB SPL (Sound Pressure Level) qui représente la pression par mètre. Le décibel est un rapport de signal avec comme référence en acoustique le seuil d'audition(0dB). [1] L'Oreille est très sensible à des variations de pression acoustique (en Pa ou Pascal). Elle est très sensible puisque le rapport entre le « premier son audible » et un son douloureux est d'un million (10^6). On définit ainsi le seuil d'audibilité $P_0=20\mu\text{Pa}$ ou $2 \cdot 10^{-5}$ Pa et le seuil de douleur $P=20\text{Pa}$. On définit le niveau sonore, comme le rapport de 2 pressions acoustiques : P, pression acoustique de la source, et P_0 , pression acoustique correspondant au plus petit son audible par l'oreille humaine. On choisit d'exprimer ce rapport sous une forme logarithmique pour le ramener dans des proportions raisonnables ; on définit ainsi la relation entre le niveau sonore en décibel et le rapport de pression acoustique :

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_{02}} \right) \quad (1.01)$$

Avec :

L_p : niveau sonore en décibel

P_2 : pression de la source en Pascal (Pa)

P_{02} : Pression de référence

Ainsi, le niveau sonore n'est pas une valeur additive puisque c'est une valeur logarithmique, de ce fait il faut revenir au valeur initiale si on veut faire une addition.

Dans la vie quotidienne, avec notre poste de radio, notre téléphone portable, notre télévision, modifier le volume revient à modifier l'amplitude du son produit par le haut-parleur. Le tableau ci-dessous montre différent son avec différent amplitude :

Supérieur à 120 dB	insupportable	Intérieur d'un grosses caisse
90 dB à 120 dB	Très fort	Tutti d'orchestre
60 dB à 90 dB	Fort	Piano joué à un mètre
30 dB à 60 dB	Faible	Appartement calme
10 dB à 30 dB	Très faible	Studio d'enregistrement
0 dB à 10 dB	Non audible	Seuil d'audition

Tableau 1.01: *Classification du son suivant l'Amplitude*

Cette tableau nous montre que dans un certain plage d'amplitude, on n'entend pas le son même s'il existe, car notre oreille n'est pas capable de détecter cette son de faible amplitude. La variation de pression de l'air autour de notre appareil auditif est quasiment nulle et que notre cerveau ne reçoit aucun signal de l'oreille. Dans une seconde plage, le son est audible et peut être détecté par notre oreille. Cette plage peut encore être classé en deux, ceux avec un amplitude faible et très faible qui se situe entre 10 décibel et 60 décibel, et ceux avec une amplitude fort et très fort dans la plage de 60 décibel à 120 décibel. Au-delà de 120 décibel, le son n'est plus supportable, ça peut causer un assourdissement ou un maladie auditif. On va maintenant illustrer cette variation d'amplitude d'un son enregistré par un ordinateur. L'abscisse représente le temps et l'ordonné le niveau du signal ou amplitude.

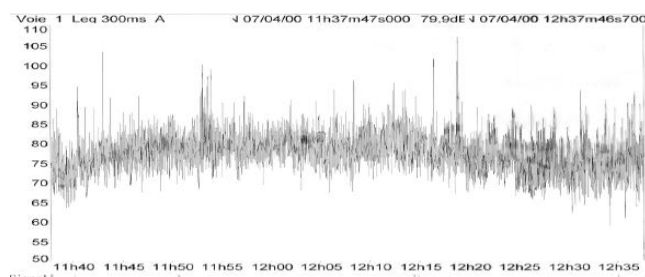


Figure 1.01 : *Variation de l'amplitude d'un son*

On a ici un son dans le domaine de son que l'on peut entendre. On a une amplitude maximale de 110 dB et un amplitude minimale de 60 dB. On constate que le niveau du son varie brusquement au cours du temps et est continue. On va illustrer ça avec un exemple très simple d'une onde sinusoïdale.

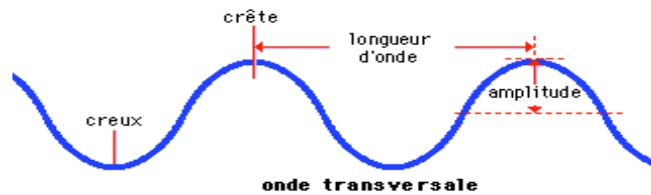


Figure 1.02 : Onde sinusoïdale

L'amplitude est la distance entre l'origine des ordonnées et le point où est situé le signal.

1.2.2.2 La fréquence ou hauteur du son

La Fréquence est le paramètre qui permet de préciser la tonalité (aigu / grave) du signal. Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu, et plus la fréquence est basse, plus le son est grave. L'unité de mesure est le HERTZ (Hz) = oscillations par secondes. Ainsi, la fréquence est donc le nombre d'oscillation effectué par l'onde sonore en l'espace d'une seconde. [1] Cette paramètre est caractéristique fondamentale d'un son. D'habitude on classe le son selon la fréquence. C'est cette paramètre qui différencie la voix d'un homme et celle d'une femme, d'un enfant et un adulte. En music, cette paramètre caractérise la hauteur dont on chante une chanson. Il y a une plage de fréquence dans laquelle notre oreille est sensible et il y d'autre qu'on n'entend pas.

Parfois, on utilise la longueur d'onde au lieu de fréquence pour caractériser un son. La longueur d'onde est la grandeur du son et elle se mesure en mètres(m). Les sons graves ont une longueur d'ondes très grandes allant jusqu'à 17 mètres et les sont aigue une petite longueur d'onde de 1,7 centimètres. Plus la longueur d'onde est grande, plus le son a une puissance mécanique capable jusqu'à fissurer un mur. [2] La relation entre la fréquence et la longueur d'onde est la suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.02)$$

λ = la longueur d'onde en mètres

c = Célérité (=340 m/s pour l'air) en mètre/seconde

f = Fréquence en Hz

Par exemple :

- une onde de 20 Hz mesure : $\lambda = 340/20 = 17\text{m}$
- une onde de 1 KHz mesure : $\lambda = 340/1000 = 0,34\text{m} = 34\text{cm}$
- une onde de 20KHz mesure : $\lambda = 340/20000 = 0,017\text{m} = 1,7\text{cm}$

Dans le domaine musical, il existe une relation étroite entre le note et la fréquence, chaque note ou hauteur de son porte un nom le tableau ci-dessous montre les différentes notes principales en music

DO RE MI FA SOL LA SI DO (notation française)

C D E F G A B C (notation anglaise)

Le retour de la même note correspond au double de la fréquence de cette même note dans l'octave inférieur. Par exemple, ici le deuxième Do a une fréquence le double du premier Do. On peut classer le son selon le terme très utilisé suivant :

-basse= pour les basses fréquences

-medium=pour les fréquences moyennes

Aigu=pour les fréquences très hautes.

1.2.2.3 Le Timbre

Le Timbre est le paramètre qui permet de préciser la "couleur " du son. Suivant le théorème de Fourier, un son complexe peut être décomposé en une somme de sinusoïdes de fréquence et d'amplitude données. [1] C'est ce paramètre qui différencie tous les instruments musicaux accordés aux mêmes fréquences. La fréquence la plus basse est appelée "fondamentale". C'est cette signal que produit la source en premier et après cette signal produit d'autres signal appelé « harmonique ». Les harmoniques ont des fréquences multiples de celle de la fondamentale. [2] Plus le son a plusieurs harmoniques, plus on dit qu'il est "riche". C'est une qualité hybride composée du croisement de la structure horizontale (intensité) et verticale (fréquence) du son. Quand cette structure est ordonnée, on parle généralement de "sons timbrés" ou musicaux (ou "sons" tout court). Quand elle ne l'est pas, on parle de sons "indéterminés", et parfois de bruit. La figure ci-dessous nous montre le fondamentale et les harmoniques d'un son analysé par un analyseur de spectre :

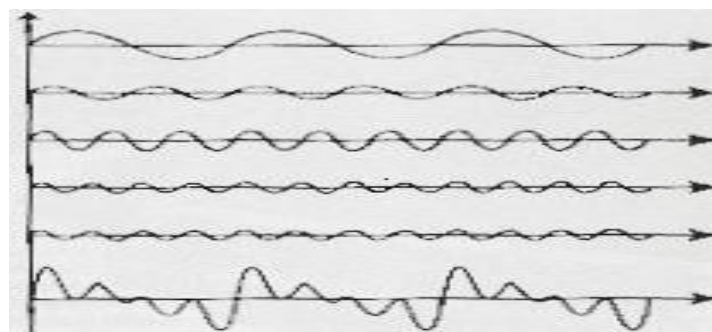


Figure 1.03 : *Composition d'un son*

1.2.3 Classification du son

Les sons sont généralement classés selon la fréquence. On distingue le son audible, l'infrason et l'ultrason.

1.2.3.1 Le son audible

La fréquence audible par l'être humain est comprise entre 20Hz et 20.000Hz. La perception de la variation de fréquence n'est pas linéaire, mais logarithmique, c'est-à-dire que quand la fréquence augmente considérablement, c'est très difficile de reconnaître si deux sons sont différents ou pas. [1] [2] [3] Cette plage d'audibilité représente le cas général mais ça varie d'une personne à une autre. Par exemple, une personne âgée de 75 ans n'a pas la même capacité auditive qu'un jeune de 19 ans. A 70 ans, on n'entend plus en moyenne que 5000Hz. Aujourd'hui, plus de 33% des jeunes entendent comme des personnes de 70 ans à cause de l'écoute intensive de la musique, car on perd 80% à 85% de capacité auditive après avoir écouté 5 heures de musique à 90 dB. Chez les animaux, cette plage est un peu plus grande parce qu'ils peuvent entendre des sons très aigus que notre oreille n'est pas susceptible d'entendre. Le tableau ci-dessous montre les différentes plages de fréquence audible par quelques animaux

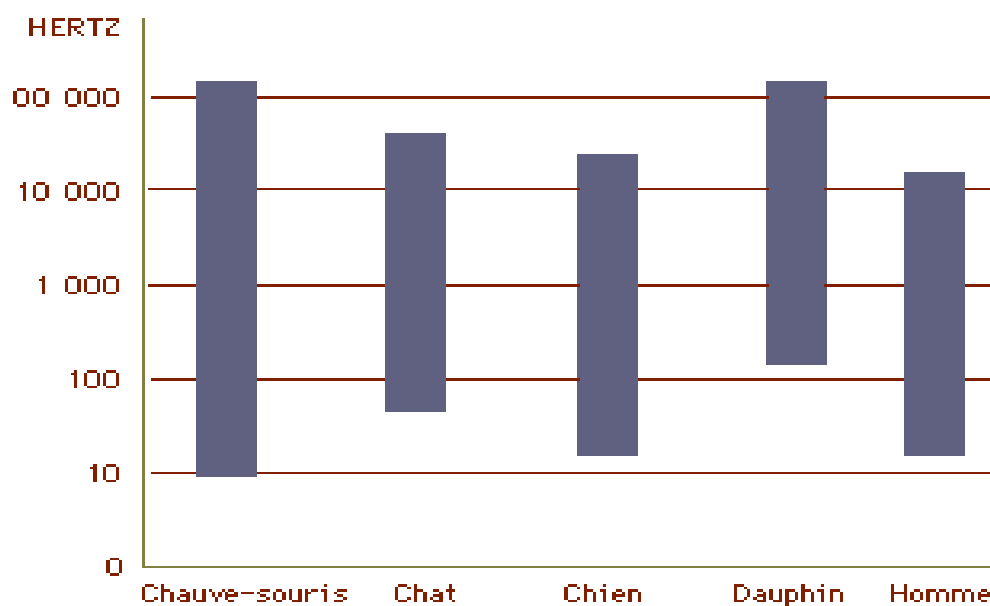


Figure 1.04 : *Plage de fréquence d'audibilité de différents animaux*

1.2.3.2 Les ultrasons et les infrasons

Ce sont les sons qui se trouvent au-delà de la fréquence audible, c'est l'extrême grave et l'extrême aigue. On appelle infrasons les sons avec une fréquence inférieure à 20Hz, cette fréquence peut avoir des répercussions à la santé. À l'inverse le son très aigu que l'on appelle ultrason, ces ondes ont des fréquences supérieures à 20.000 Hz. Les ultrasons peuvent engendrer de phénomène de stress. [1][2][3]

1.2.4 *Les appareils sonores*

1.2.4.1 Les sources

Le son est produit par le changement de pression de l'air autour d'un objet. Toute vibration d'une corde ou d'un objet produit de son. La voix humaine provient de la vibration de la corde vocale, chaque lettre de l'alphabet possède leur harmonique spécifique. Pour les instruments musicaux à corde, le son provient de la collision de la main avec la corde. Tous contact brusque de deux objet produit un son. Quand on applaudit, on produit de son en frappant notre main gauche avec notre main droite. Dès que deux choses se met en contact brutalement, cela entraîne un changement de pression de l'air qui les entoure, il y a toujours un son qui se produit.

1.2.4.2 Le récepteur

Pour les être-vivants, le seul récepteur de son est l'oreille. C'est le seul organe de l'ouïe, c'est elle qui nous permet d'entendre le son qui nous entoure. L'oreille fonctionne 24heurs sur 24, et peut capter le son à 360 degré. Il n'y a pas de bonne communication entre deux personne si on n'a pas de quoi pour écouter ce que dit l'autre. L'écoute est primordiale, elle a une fonction d'alerte et de survie. Quand on ne voit pas c'est l'oreille qui nous guide, un son ou à l'inverse l'absence de sons nous interpelle ; il a une analyse de l'environnement, du contexte grâce à l'oreille. C'est dès le sixième mois avant la naissance que l'on commence à entendre.

1.3 **La conversion du signal acoustique en signal électrique et l'opération inverse**

Comme nous l'avons vu dans la partie précédant, le son est une vibration de l'air ou de l'eau, mais le but de ce projet est de concevoir un dispositif pour amplifier le son. Il est impossible d'amplifier le son directement, il faut d'abord le convertir en signal électrique pour être amplifié et après reconvertir le signal amplifié en son. En vérité, la conversion du son en signal électrique ne se fait

pas directement, il faut passer par une étape intermédiaire, convertir la vibration acoustique en vibration mécanique puis en électricité et vice versa. L'appareil utilisé pour la conversion du son en signal électrique est le microphone, et l'appareil qui fait l'opération inverse est l'hautparleur.

1.3.1 *Le microphone*

1.3.1.1 Définition

Le microphone est un dispositif qui peut transformer le signal acoustique en signal électrique appelé aussi signal audio. Le microphone est un transducteur électroacoustique : sa fonction est de transformer une oscillation acoustique (transportant une énergie acoustique) en oscillation électrique (transportant de l'énergie électrique). [2][4][5] Toute enregistrement d'un son se fait donc d'abord avec cette dispositif avant d'être traité avec d'autres dispositifs. On distingue plusieurs types de micro selon le principe de fonctionnement mais il y a un point commun entre tous ces microphones. La figure ci-dessous illustre ce qu'un microphone :

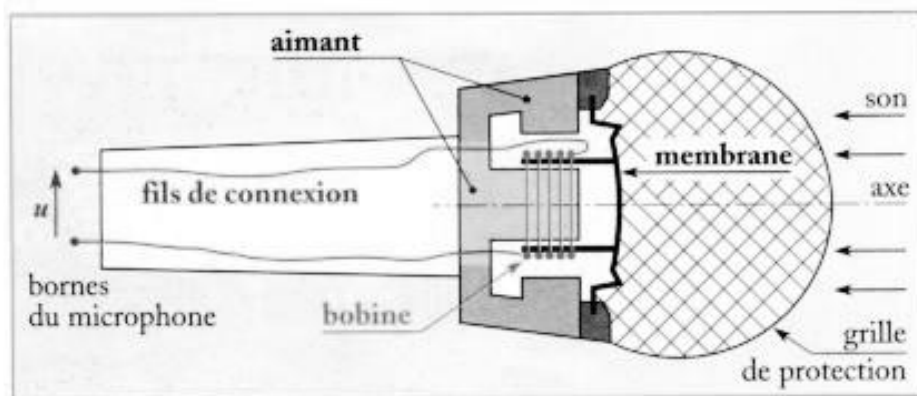


Figure 1.05 : *Coupe d'un microphone*

1.3.1.2 Principe de fonctionnement

La traduction de l'énergie acoustique ou inversement ne s'effectue pas directement, il y a un passage par un stade intermédiaire, celui où l'énergie mécanique est emmagasinée par un solide qui se meut ou qui se déforme. Une membrane qui se déplace au rythme des vibrations acoustiques entraîne une modification d'un élément solide ou gazeux qui lui-même délivre une grandeur électrique variable. [4] La figure suivante nous montre les étapes de la conversion de signal acoustique en signal électrique ; on trouve d'abord la transformation de l'onde acoustique en mouvement d'un solide puis l'électricité.

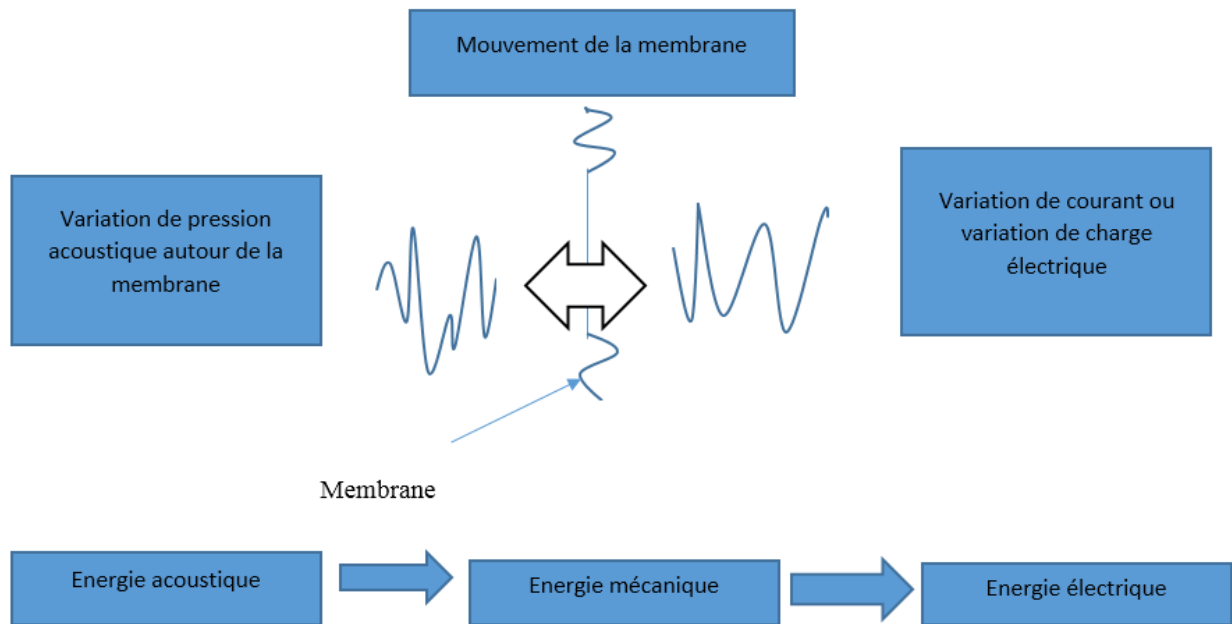


Figure 1.06 : *Détaille de principe de fonctionnement d'un microphone*

La variation de la pression de l'air autour de la membrane entraîne celui-ci à faire un mouvement de va et vient, puis, une bobine qui se trouve collé à celle-ci bouge aussi. Cette bobine est située dans un champ magnétique, soit entre deux aimants ou stator. Et d'après la loi de Lenz, la variation de flux magnétique à travers un circuit fermé produit un courant appelé courant induit ou courant de Lenz. Ainsi un courant très faible est née et on l'exploite avec un conducteur puis un amplificateur local pour que le signal puisse être transmis par le fil. Ce principe de fonctionnement est la généralisation de principe de fonctionnement des microphones parce qu'il y a plusieurs façons de transcoder la vibration acoustique en électricité.

1.3.1.3 Les caractéristique d'un microphone

a. La sensibilité

La sensibilité notée S est le rapport de la tension efficace (exprimé en volt) délivrée par le microphone et de la pression acoustique efficace P (exprimé en Pascal) actives sur la membrane. La sensibilité est exprimée en décibel(dB) et est définit par :

$$S(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{e}{p} \right) \quad (1.03)$$

Avec

e : tension efficace délivrée par le microphone en Volt

p : pression acoustique subit par la membrane en Pascal

S : sensibilité en décibel

La sensibilité est souvent calculée à partir d'une valeur de référence de la pression acoustique, on calcule la sensibilité avec une valeur de référence de la pression $p=75\text{dB SPL}$ (qui correspond à une pression de $1\mu\text{B}$ (micro Bar). Le calcul de la sensibilité se fait à 1Hz . La courbe réponse en fréquence.

b. La réponse en fréquence

C'est la variation de la sensibilité d'un microphone en fonction de la fréquence. La sensibilité n'est pas le même pour tous les fréquences mais aussi du type du micro. On définit ainsi la bande passante d'un microphone : c'est l'intervalle de fréquence dans lequel la variation de niveau est limitée. Par exemple, la bande passante à 3dB veut dire que la différence de puissance par rapport à la puissance maximale ne doit pas être inférieure à 3dB. [4]

c. Le diagramme directionnel ou la directivité

C'est la variation de la sensibilité en fonction de l'angle d'incidence de l'onde acoustique. La sensibilité n'est pas le même pour tous les directions : dans un certain angle d'incidence, le micro peut être très sensible que dans d'autre. La figure ci-dessous nous montre un exemple de diagramme directionnel :

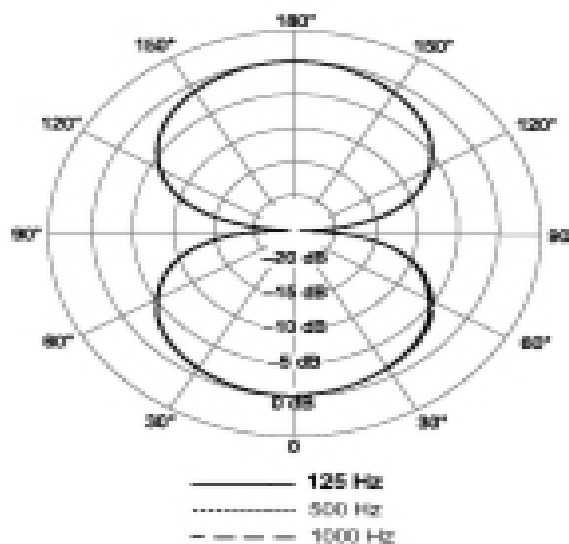


Figure 1.07 : Diagramme de directivité

C'est une courbe polaire qui donne la sensibilité selon l'angle d'incidence. Ici, la variable θ représente l'angle d'incidence et la variable ρ la sensibilité. On a affaire à un microphone dont la directivité est plus forte dans les directions 0° et 180° .

On peut donc classer les microphones selon leurs directivités. On peut distinguer les microphones monodirectionnels, bidirectionnels et pluridirectionnels.

d. L'impédance électrique

C'est l'impédance que voit le préampli auquel le micro est connecté, elle peut varier entre $10\ \Omega$ et $100\ \text{k}\Omega$. Elle est calculée à la fréquence $1\ 000\text{Hz}$.

1.3.1.4 Les différents types de Microphone

Selon ces paramètres qui caractérisent un microphone et leur principe de fonctionnement, on peut classer les microphones selon les classes suivantes :

a. Les microphones électrodynamique ou dynamique

Les microphones électrodynamiques exploitent le phénomène décrit et quantifié par Lenz et qui stipule qu'un conducteur en mouvement dans un champ magnétique produit un courant appelé courant induit. La figure ci-dessous illustre les différentes composantes d'un microphone électrodynamique :

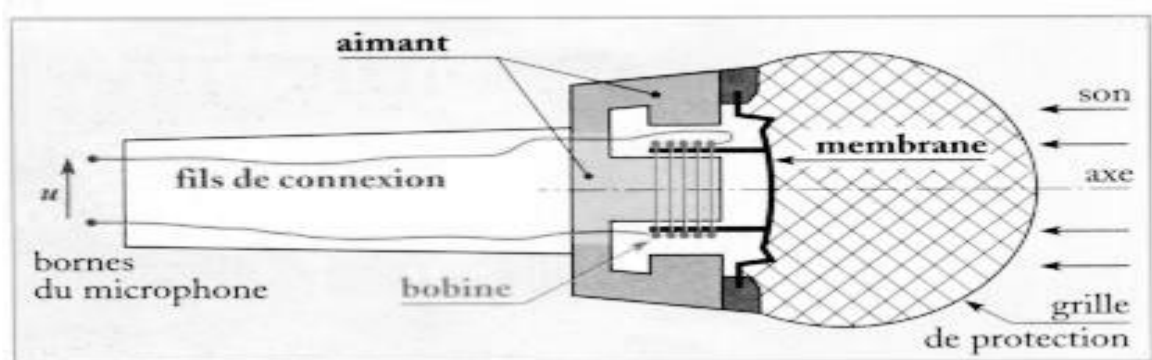


Figure 1.08 : Coupe d'un microphone électrodynamique

Un bobinage est collé à la membrane, et se déplace dans l'entrefer d'un aimant permanent. Le courant électrique ainsi généré est à l'origine de la différence de potentiel à ses bornes. Puisque les mouvements de l'air à proximité de la membrane sont une succession de pression et de dépression, celle-ci effectue un déplacement de va-et-vient autour d'une position d'équilibre. Le courant

induit change donc de sens, par conséquent le signal de tension généré est alternatif. Le microphone dynamique est un capteur de pression, la pression derrière la membrane, c'est-à-dire du côté intérieur du micro est maintenue constante grâce à un petit trou appelé évent.

b. Les microphones électrostatique ou statique ou encore à condensateur

Le principe de fonctionnement est presque le même que celle de microphone électrodynamique sauf qu'il n'y a pas de bobine collé à une membrane. La membrane est un disque extrêmement léger fait de métal (Itanium) ou bien de mylar ou de polyester rendu conducteur par un saupoudrage de métal ou une diffusion de vapeur de métal sur sa surface. Cette membrane est flottante et constitue l'une des armatures d'un condensateur. Les variations de pression provoquée par l'onde sonore font varier la distance entre les deux armatures et donc la capacité. Cet effet est exploité dans un circuit électrique de manière à récupérer un signal dont les variations sont à l'image de celles de la pression acoustique. La figure suivante indique cette dispositif :

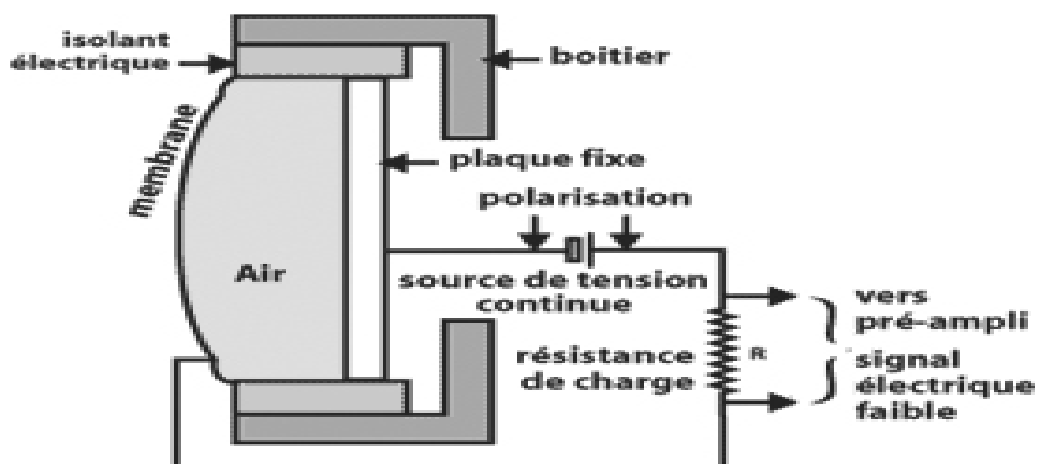


Figure 1.09 : Coupe d'un microphone électrostatique

Ce type de microphone a besoin d'une alimentation externe pour polariser les deux plaques du condensateur. C'est une tension continue de 48 Volts qui tient ce rôle et le courant généré qui est porté par le câble audio. Le corps du micro renferme un préamplificateur et un transformateur de sortie pour d'une part élever le niveau de signal et d'autre part abaisser l'impédance de sortie du microphone.

c. Les microphones à électret

Le principe reprend celui du microphone statique à ceci près que la tension de polarisation disparaît car la membrane porte une charge électrostatique permanente, c'est cet élément que l'on

appelle électret. Le préamplificateur dans le corps du micro fonctionne avec une pile ou bien utilise l'alimentation fantôme. Il est constitué d'un transistor FET (Field Effect Transistor) qui assure également l'adaptation d'impédance pour l'acheminement du signal en limitant les pertes. La figure ci-dessous représente un microphone à électret :



Figure 1.10 : *Microphone à électret « pastille » et statique à électret*

Ses avantages sont d'une part la possibilité de miniaturisation et un coût relativement modique. De fait, on les rencontre par exemple sous la forme de micro-cravate ou bien intégrés dans des appareils hi-fi mais également comme micro conventionnel.

d. Les microphones à ruban

Une fine feuille métallique pliée en accordéon se déplace dans l'entrefer d'un aimant. On parle de capteur à gradient de pression car le signal délivré par le micro est proportionnel à la différence de pression entre faces avant et arrière. La figure ci-dessous illustre ce dispositif :

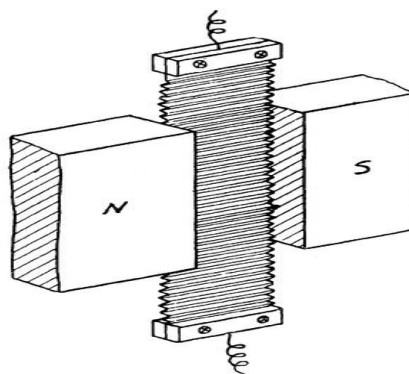


Figure 1.11 : *Microphone à Ruban*

Il y encore d'autres types de microphone qui ont d'autre utilisation, le tableau ci-après résume les différents types de microphone et leur utilisation :

Type	Utilisations	Avantages	Inconvénients	Qualité	Prix
Charbon	Téléphone	Fortes puissance de sortie	Souffle, bande passante réduite	Médiocre	Peu coûteux
Dynamique	Toutes	Sensibilités élevée, robustesse, directivité varié, courbe de réponse étendue		De médiocre à excellent	Peu coûteux à très coûteux
Ruban	Studio interieur et	Très grande fidélité, sensibilité moyenne	Usage réservé à l'intérieur, très fragile	Assez bon à excellent	Moyen à coûteux
Statique	Toutes	Haute-fidélité, nécessité de forte amplification	Nécessite une alimentation de polarisation	excellent	Très coûteux
Electret	Toutes	Comme statique mais sans polarisation	Craint la chaleur et l'humidité	excellent	Coûteux à très coûteux
Piézo	Surtout public-address	Bonne sensibilité, assez fidèle, tension de sortie élevé.	Comme électret	De médiocre à assez bon	Peu coûteux

Tableau 1.02: *Classification et utilisation de microphone*

On a vu jusqu'ici la conversion de l'onde sonore en électricité par le dispositif appelé microphone. Dans la section suivant, on va parler de la conversion d'électricité en ondes sonore.

1.3.2 Le Haut-parleur

Comme le but de ce mémoire est l'amplification de son, il faut alors parler la façon de transformer le signal audio amplifié en son que l'on peut à nouveau entendre. Cela nous conduit à définir et étudier les haut-parleurs.

1.3.2.1 Définition

Le Haut-parleur est un dispositif qui convertit l'électricité en ondes sonore. D'un terme plus technique, c'est un transducteur électroacoustique permettant de transformer un signal audio en vibrations acoustiques. Il fait l'inverse du microphone. [4][11] La figure ci-dessous représente ce dispositif :



Figure 1.12 : *Haut-parleur*

Le premier brevet concernant un haut-parleur est fait par Werner Von Siemens le 10 décembre 1877. Puis, en 1924, Chester W. Rice et Edward W. Kellog, de la General Electric fabriquent un hautparleur selon un principe quasiment inchangé jusqu'à aujourd'hui.

1.3.2.2 Principe de fonctionnement

Le signal audio est amplifié pour commander le déplacement mécanique d'une membrane, qui elle-même la masse d'air voisine, créant ainsi une vibration sonore. Idéalement, la pression acoustique créée par le déplacement de la membrane doit être une image fidèle du signal audio. [3] Cette qualité est difficile à atteindre qu'avec un microphone. On distingue trois types de haut-parleur : électrodynamique, électrostatique et piézoélectrique

a. Le haut-parleur électrodynamique

La figure ci-dessous représente la coupe de ce type d'haut-parleur :

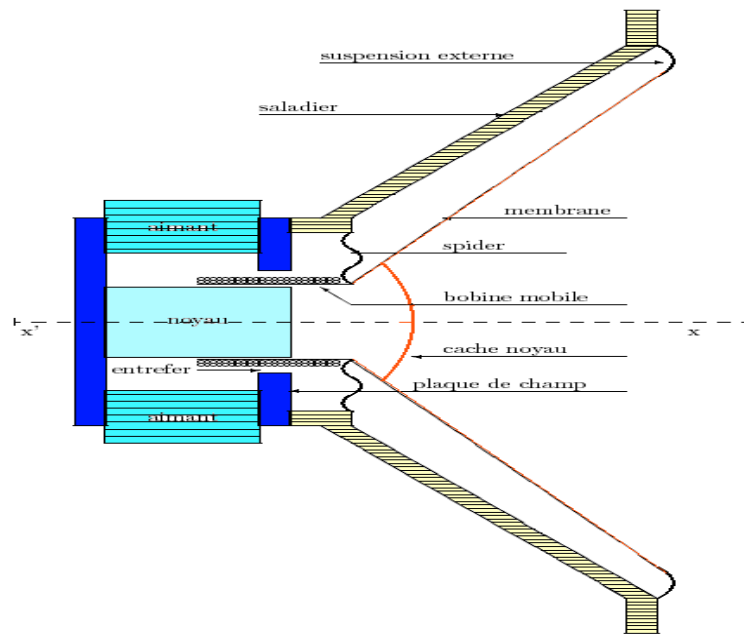


Figure 1.13 : *Coupe d'un haut-parleur électrodynamique*

Un haut-parleur électrodynamique est constitué d'une partie fixe et d'une partie mobile. La partie fixe regroupe l'aimant permanent, le noyau, les plaques de champ avant et arrières, et le saladier ou châssis. La partie mobile comprend la bobine, son support cylindrique, la membrane et la cache noyau. [4][11]

La reproduction d'un son exige que le Haut-parleur soit capable de mettre en mouvement de l'air et de créer une succession de volume d'air comprimé entre lesquels existent obligatoirement des volumes d'air déprimés. Pour cela, la membrane du Haut-parleur doit avoir des mouvements d'excursion, elle doit bouger d'avant en arrière (ou d'arrière en avant d'ailleurs), en d'autres termes des allers/retours. Le nombre d'aller/retour par seconde de la membrane déterminera la fréquence émise. De ce fait, une grande quantité d'aller/retour en une seconde émettra une fréquence relativement élevée ou aigu, mais de relativement faible amplitude (petits mouvements de la membrane) sachant qu'à partir d'une certaine fréquence, les mouvements de la membrane sont invisibles. Par contre un faible nombre d'aller/retour en une seconde de la membrane émettra une fréquence relativement basse, mais l'amplitude de la membrane étant toutefois assez importante (grands mouvements de la membrane étant cette fois-ci d'autant plus visible que la fréquence reproduite est de plus en plus basse). Car la reproduction des fréquences basses demande beaucoup d'énergie, et donc de grands mouvements de la membrane.

En bref, la cause du mouvement de la membrane est définie par le principe suivant. L'aimant permanent crée un champ magnétique qui se retrouve, grâce aux pièces polaires, concentré entre la plaque de champ avant et le noyau, c'est-à-dire exactement à l'emplacement de la bobine. Lorsque l'on applique aux bornes de connexion du haut-parleur un signal audio électrique, le courant traversant la bobine engendre une force variant avec ce courant selon la loi de Laplace :

$$F = B.L.I.\sin\hat{a} \quad (1.04)$$

Où

B = induction magnétique en Tesla,

I = intensité du courant en ampère,

\hat{a} = angle entre la direction du courant i et le vecteur induction magnétique B (en degré),

L = la longueur de fil embrassée par le flux d'induction (en mètre).

L'angle \hat{a} valant 90° , son sinus vaut 1 et donc :

$$F = B.L.I \quad (1.05)$$

La bobine mobile et la membrane solidaire se mettent ainsi à vibrer selon l'axe du haut-parleur et de façon proportionnelle (dans une bande fréquentielle limitée) aux variations du signal électrique. Le mouvement de la membrane entraîne à son tour des variations de la pression acoustique, et donc la création d'ondes sonores, qui se propagent jusqu'aux oreilles de l'auditeur. Ces variations de pression sont ainsi proportionnelles aux variations du signal audio d'origine.

b. Le haut-parleur électrostatique

La figure ci-dessous montre la coupe d'un haut-parleur électrostatique :

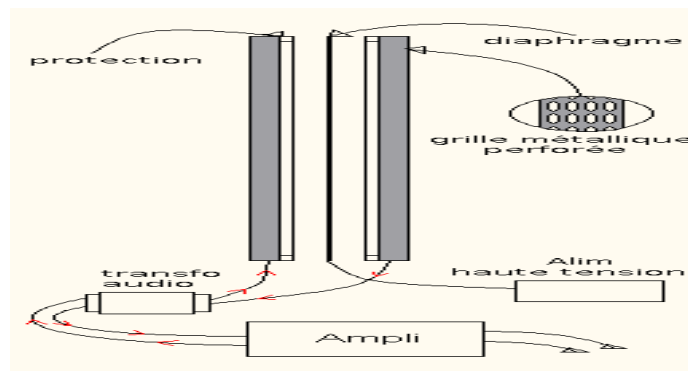


Figure 1.14 : Coupe d'un haut-parleur électrostatique

A la différence d'un haut-parleur à bobine mobile, ce type d'haut-parleur ne possède pas des aimants. Mais comme son équivalent, on doit appliquer une tension électrique continue sur la membrane c'est-à-dire qu'il a besoin d'une alimentation externe. La tension de polarisation doit

être suffisamment élevé (quelques centaines ou milliers de volts) pour que la sensibilité soit bonne, sans atteindre le point où un arc pourrait s'amorcer avec une des grilles et endommager définitivement la membrane et l'amplificateur. [11]

Le rendement de ces haut-parleur n'est pas exceptionnel, étant donné le faible débattement possible de la membrane. Une plus grande taille peut compenser la difficulté à avoir du niveau, surtout jusqu'à un certain maximum, où la membrane ne pourrait plus être tendue uniformément.

Les qualités qui font que les haut-parleur électrostatique sont très appréciés par les audiophiles résident, entre autre, dans la réponse en fréquence étendue, le respect des transitoires. Ils ont la réputation de restituer les moindres détails avec une grande fidélité et être moins sujet (si la fabrication est bien faite) à la distorsion non linéaire.

Le principe de fonctionnement de fonctionnement de ce type d'haut-parleur électrostatique est le suivant. Le signal passe dans les grilles (qu'on peut considérer comme des électrodes) simultanément, mais en opposition de phase l'une par rapport à l'autre. Les diaphragmes, entre les deux, est polarisé : on lui applique une tension continue. Quand un signal traverse les grilles (ou les électrodes), les charges de la membrane sont repoussées par une électrode et attirées par l'autre, en fonction du signal. La membrane se déplace alors théoriquement de manière uniforme, proportionnellement à la tension du signal. Ce double mouvement d'attraction-répulsion, qu'on appelle push-pull en anglais, permet d'avoir de meilleures performances qu'avec une seule électrode, qui pourrait néanmoins suffire pour déplacer la membrane.

c. Le haut-parleur piézoélectrique

Le fonctionnement d'un haut-parleur piézoélectrique repose sur les propriétés de déformation (contraction ou dilatation) des matériaux piézoélectriques lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique. Ces propriétés ont été découvertes dans les années 1880 par Pierre Curie, mais n'ont été véritablement exploitée pour la confection des haut-parleurs qu'à partir des années 60, sous l'impulsion notable de la firme américaine Motorola. Les matériaux les plus utilisés dans ce type de haut-parleur sont actuellement les céramiques PZT (Titano-Zirconiate de Plomb), utilisées sous forme de minces couche circulaires de 2 ou 3 centimètres de diamètre et de faible épaisseurs (de l'ordre de dixième de millimètre). Une couche de PZT garde une polarisation permanente comparable à celle des aimants lorsqu'elle a été soumise un certain temps à un champ électrique adapté. Ainsi, cette couche polarisée s'aplatit ou s'épaissit lorsqu'on lui applique entre ses faces une tension électrique (inférieure à la tension utilisée pour sa polarisation) par l'intermédiaires de deux fines feuilles d'un matériau conducteur. [4][11] La figure ci-après illustre cette propriété :

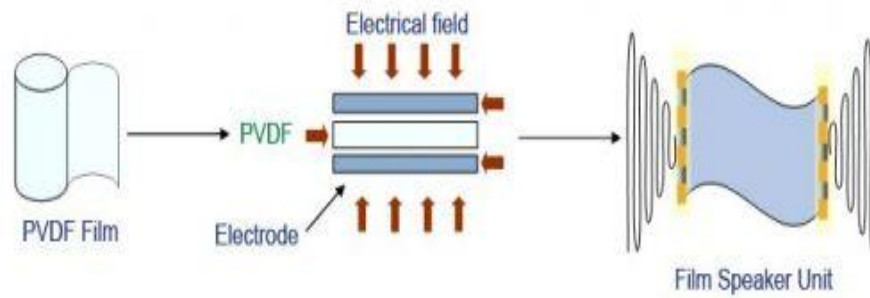


Figure 1.15 : *Variation du matériau piézoélectrique dû au champ électrique*

La variation de l'épaisseur de ces matériaux entraîne donc la variation de pression de l'air au voisinage et est née la reproduction du son. Malgré la différence de fonctionnement, ces trois types de haut-parleur ont des caractéristiques communes que l'on va parler ci-après.

1.3.2.3 Les paramètres caractéristique d'un haut-parleur

Un haut-parleur peut être caractérisé par les paramètres suivant

a. La courbe de réponse

C'est le niveau de pression sonore en champ libre résultant de l'application d'un signal électrique de fréquence variables. La réponse est généralement donnée dans l'axe du haut-parleur à un mètre. La figure ci-dessous montre la courbe de réponse d'un haut-parleur :

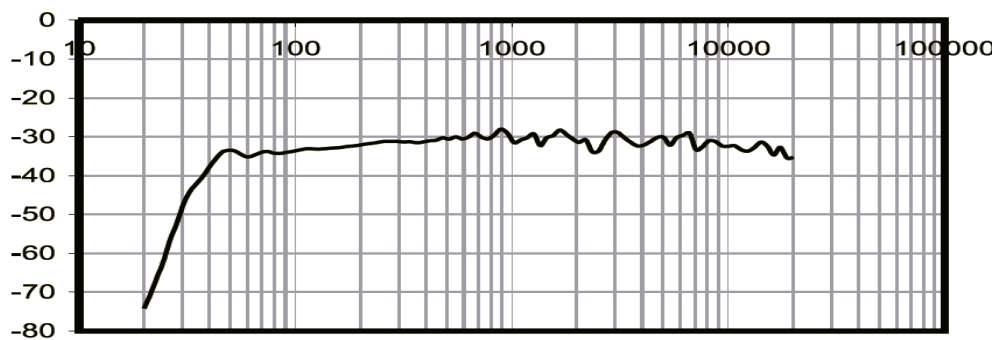


Figure 1.16 : *Réponse d'un haut-parleur*

L'axe des abscisses représente la fréquence (en Hertz) et l'axe des ordonnées l'amplitude de pression sonore (en dB). La courbe de réponse est donc la variation de l'amplitude de pression sonore en fonction de la fréquence du signal.

b. Le coefficient de directivité

C'est le rapport de la pression efficace mesuré dans une direction donnée et de la pression efficace dans une direction de référence à même distance du haut-parleur. Il dépend de la fréquence. Le diagramme suivant représente le diagramme de directionnels d'un haut-parleur à deux fréquences différentes :

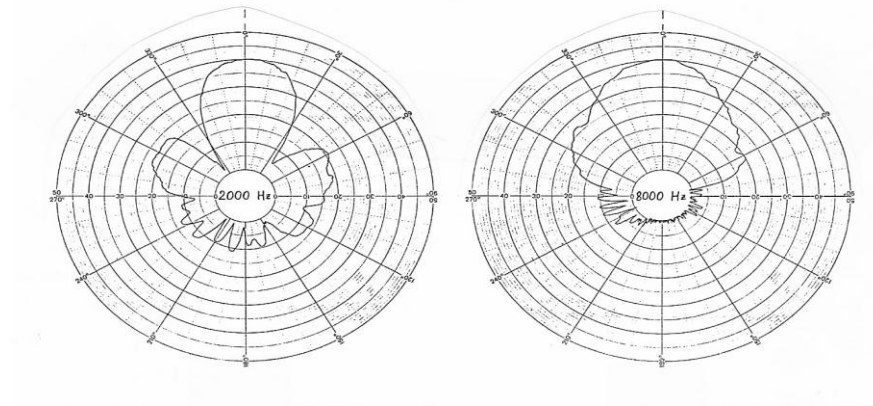


Figure 1.17 : Diagrammes de directivité d'un haut-parleur à 2000Hz et 8000Hz

c. L'impédance électrique nominale

C'est la moyenne de l'impédance d'entrée du haut-parleur dans la bande passante, spécifié par le constructeur (légèrement supérieure à la résistance en régime continu pour le haut-parleur électrodynamique).

d. La puissance nominale P_n

C'est la puissance maximale d'entrée spécifié par le constructeur, et elle est mesuré en Watt. A cette puissance, la reproduction des signaux audio est satisfaisante.

1.4 Conclusion

En résumé, on a défini le son comme la variation de la pression de l'air produite par la vibration d'un objet. On a aussi vu que la conversion de cette variation de pression de l'air en électricité par un dispositif appelé le microphone que nous avons vu les caractéristiques. On a aussi vu ce comment se déroule la conversion du signal audio et en onde sonore par le biais d'un haut-parleur. Comme notre objectif est d'amplifier le signal audio ; il est donc intéressant de parler de l'amplification ; et cela nous conduit au chapitre suivant.

CHAPITRE 2 L'AMPLIFICATEUR AUDIO

2.1 Introduction

Un amplificateur audio comprend normalement deux étages : une étage préamplificateur et une étage finale ou étage amplificateur proprement dite. Dans l'étage préamplificateur, on y trouve des filtres de sélection de fréquence, de contrôle de puissance et aussi de traitement supplémentaire pour avoir une qualité supérieure. L'étage amplificateur fait l'amplification du signal qui a été traité par l'étage préamplificateur. On va tout de suite commencer avec le filtre.

2.2 Les filtres

Dans un signal audio, il y a toujours des signaux parasites dû au perturbation externe et des non perfectionnement des composantes. Il est donc nécessaire de filtrer le signal avant de l'amplifier, c'est-à-dire extraire les signaux utiles des signaux non désirés et ensuite de supprimer les bruits et les parasites. En plus, le filtrage permet de mettre l'accent sur une plage de fréquence qui pourrait améliorer l'audition ou faire une sensation particulière aux auditeurs. Dans ce chapitre, nous allons étudier les comportements et les différents types de filtre pour pouvoir écouter la music ou un film selon notre volonté.

2.2.1 Définition

Comme on a déjà parlé dans l'introduction, un filtre permet de mettre l'accent sur une fréquence désirée, un filtre est donc un circuit dont le comportement dépend de la fréquence. Un filtre est un circuit linéaire, c'est-à-dire que si la tension d'entrée est sinusoïdale, la sortie est aussi sinusoïdale. Cependant, il existe deux types de filtre : le filtre passif et le filtre actif. Les filtres passifs sont seulement composés des composantes passives et les composantes principales sont les résistances, les condensateurs et les bobines. Pour un filtre actif, à part ces trois composantes, il y a une composante supplémentaire. Il y a une amplification du signal par un composante active comme un AOP ou un transistor. [6][7]

En réalité, en utilisant la décomposition de Fourier, un signal périodique se décompose en une série infinie de fonction sinusoïdales. Cette décomposition est représentée par la relation suivante

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{n\pi t}{T} \right) \quad (2.01)$$

Avec :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cdot \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) \cdot dt \quad (2.02)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cdot \sin\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) \cdot dt \quad (2.03)$$

a_n et b_n sont appelées les coefficients de Fourier.

Et d'après cette formule, il existe des fréquences multiples de la fréquence utile. Ces signaux sont appelés harmoniques. L'opération de filtrage est donc de supprimer ou atténuer ces harmoniques.

Voici un exemple simple de cette décomposition :

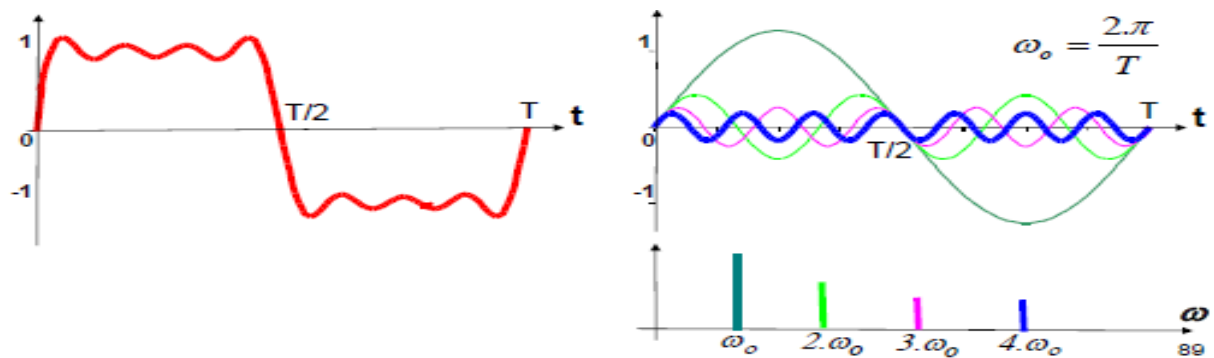


Figure 2.01 : Décomposition en série de Fourier

La courbe rouge est la somme de 4 premières harmoniques, elle est après décomposée sur la figure à côté qui représente les 4 harmoniques. Et la troisième représente les spectres de chaque signal. D'après ce qu'on vient de dire, un signal peut donc être décomposé en une infinité des signaux avec des différentes fréquences. La figure ci-dessous nous montre le spectre d'un signal avant et après une opération de filtrage :

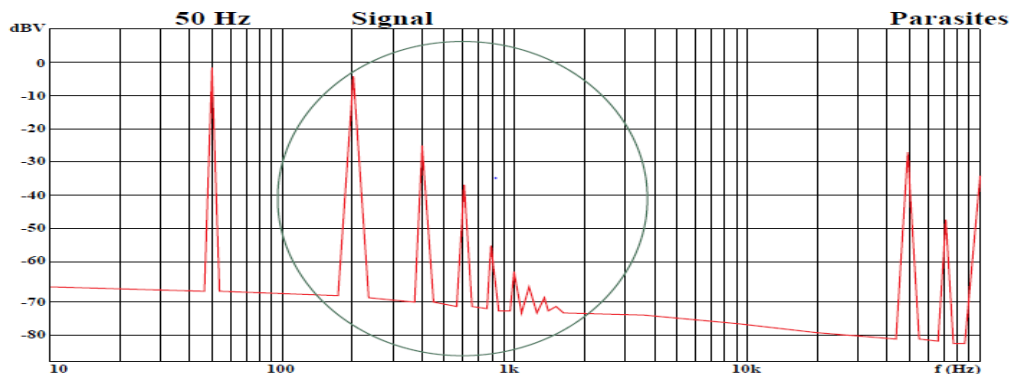


Figure 2.02 : Signal avant filtrage

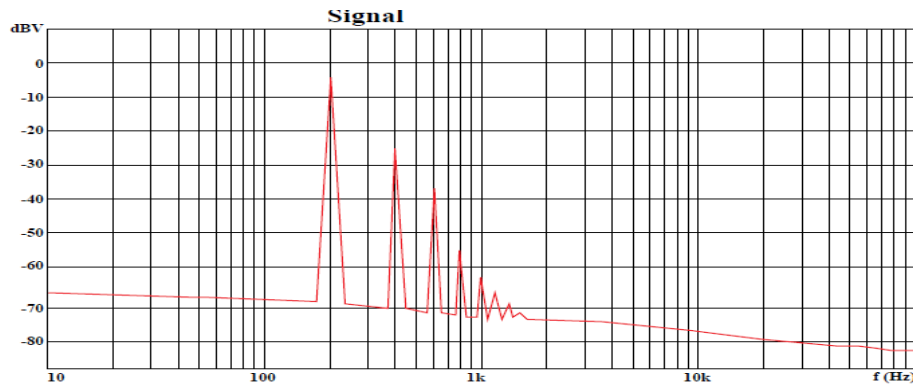


Figure 2.03 : Signal après filtrage

Avant le filtrage, on constate qu'il y a un signal de fréquence voisine de 50 Hz qui a une amplitude presque égale à l'amplitude du signal utile. D'autre part, il y a aussi un parasite avec une fréquence très élevée. Mais après le filtrage, ces deux signaux indésirables disparaissent et seul le signal utile reste.

Un système linéaire est mathématiquement décrit par sa fonction de transfert ou transmittance défini par :

$$T(j\omega) = \frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} \quad (2.04)$$

Avec :

$V_s(j\omega)$ est le signal à la sortie,

$V_e(j\omega)$ est le signal à l'entrée.

La principale caractéristique d'un filtre est sa réponse en fréquence. C'est la variation du rapport de l'amplitude de signal en sortie par l'amplitude de signal en entrée en fonction de la fréquence. Elle est notée $Av(f)$ et Av désigne le gain en tension. Le gain en tension est donné par la relation :

$$Av = \frac{\text{amplitude de la tension de sortie}}{\text{amplitude de la tension d'entrée}} \quad (2.05)$$

Qu'il soit passif ou actif, un filtre laisse ou ne laisse pas passer certaines fréquences. On distingue ainsi quatre sortes de filtre : le filtre passe-bas, le filtre passe-haut, le filtre passe bande et le filtre coupe-bande. On va dans la suite étudier chaque sorte de filtre.

2.2.2 Les différentes sortes de filtres

2.2.2.1 Le filtre passe-bas

Ce type de filtre ne laisse passer que les basses fréquences du signal d'entrée. Les hautes fréquences sont filtrées. La limite entre basse fréquence et haute fréquence s'appelle fréquence de

coupure que l'on note f_c . La bande passante est la gamme de fréquence non filtré que l'on note ici BP , c'est-à-dire l'intervalle $[0, f_c]$. [6][7] Un signal continue a une fréquence zéro et cette fréquence n'est pas filtré par le filtre passe-bas. La figure ci-dessous représente le gain en tension Av pour un filtre passe-bas :

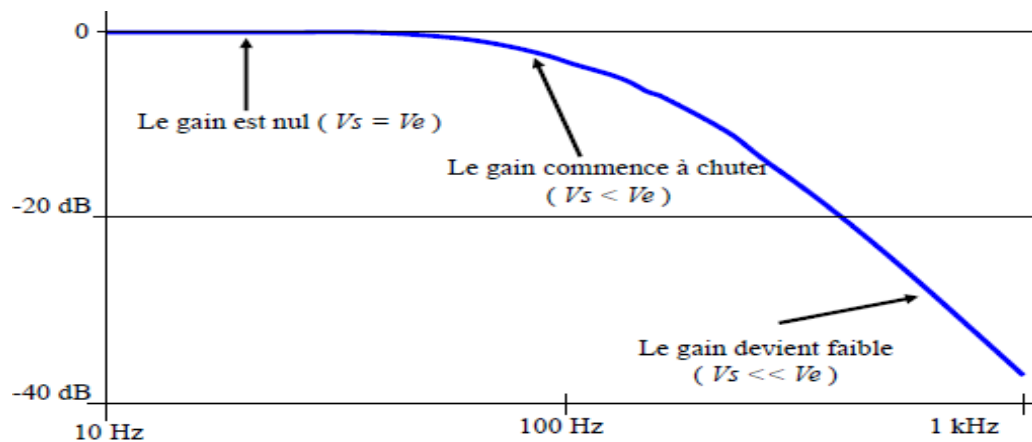


Figure 2.04 : Courbe de réponse en fréquence d'un filtre passe-bas

On constate que pour un signal de fréquence voisine de 0, l'amplitude de la tension de sortie est quasiment identique à la tension d'entrée. Plus la fréquence croît, plus le gain décroît et devient faibles pour les fréquences élevées. Un filtre passe-bas peut être réalisé à l'aide une résistance et d'un condensateur comme le montre la figure suivant :

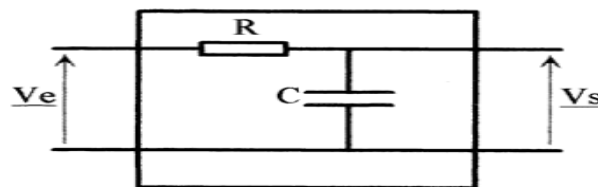


Figure 2.05 : Filtre passe-bas réalisé par un circuit RC

Cette montage est très simple à réaliser. Sa fonction de transfert est la suivante :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 + jRC\omega} \quad (2.06)$$

Cette gain est inversement proportionnelle à la pulsation ω donc de la fréquence f . Plus la fréquence augmente, plus le gain diminue. On peut aussi réaliser un filtre passe-bas en utilisant une résistance et un self. La figure ci-dessous montre cette montage :

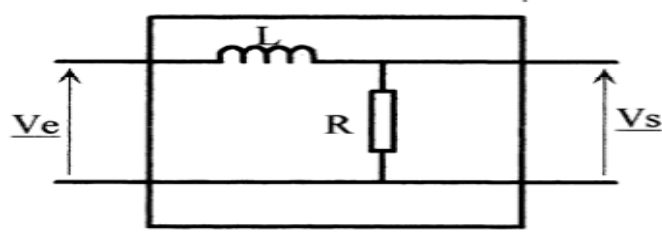


Figure 2.06 : Filtre passe-bas RL

Ce montage a le même fonctionnement que le RC qu'on a vu précédemment. Sa fonction de transfert est donnée par :

$$\frac{1}{1 + j \frac{L}{R} \omega} \quad (2.07)$$

La forme générale de ces deux fonctions de transfert est donnée par :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{A}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (2.08)$$

Et par identification, on trouve $A=1$ et $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ ou $\omega_0 = \frac{R}{L}$

La module est de

$$\left| \frac{V_s}{V_e} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}} \quad (2.09)$$

et l'Argument est de

$$\varphi = \arg \left(\frac{V_s}{V_e} \right) = \arctan 0 - \arctan \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) = -\arctan \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \quad (2.10)$$

En plus de deux montage précédant, un filtre passe-bas peut être réalisé avec le montage RLC suivant :

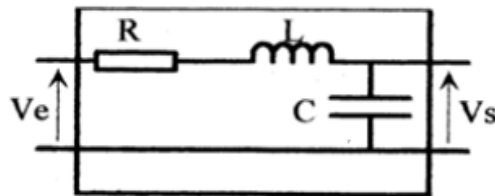


Figure 2.07 : Filtre passe-bas RLC

La fonction de transfert est :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{\frac{1}{jC\omega}}{R + jL\omega + \frac{1}{jC\omega}} = \frac{1}{1 + jRC\omega - LC\omega^2} \quad (2.11)$$

Forme générale :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{A}{1 + 2mj\frac{\omega}{\omega_0} + (j\frac{\omega}{\omega_0})^2} \quad (2.12)$$

Par identification ,on a $A=1$, et $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $m = \frac{R}{2} \times \sqrt{\frac{L}{C}}$. Le nombre m est appelé coefficient d'amortissement et ω_0 est la pulsation propre.

On remarque que L et C règlent ω_0 et que si R est variable de 0 à l'infini, ω_0 et m sont pratiquement indépendantes.

Il est aussi possible de faire un filtre passe-bas de second ordre en mettant en cascade deux filtre passe-bas de premier espèce. Le montage suivant en est un exemple :

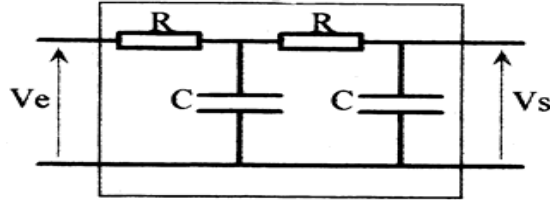


Figure 2.08 : Filtre de second ordre par mise en cascade

Sa fonction de transfert est

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 + 3jRC\omega + (jRC\omega)^2} \quad (2.13)$$

Par identification à $\frac{A}{1 + 2mj\frac{\omega}{\omega_0} + (j\frac{\omega}{\omega_0})^2}$,on trouve $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ et $m = \frac{3}{2}$.

On peut donc la mettre sous la forme

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}} \times \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}} \quad (2.14)$$

Avec $\omega_1 = \frac{3-\sqrt{5}}{2RC}$ et $\omega_2 = \frac{3+\sqrt{5}}{2RC}$

2.2.2.2 Le filtre passe-haut

Ce filtre ne laisse passer que les hautes fréquences. Sa bande passante notée BP est donc $[f_c, \infty]$ [6].

La figure ci-dessous nous montre la variation de gain en tension en fonction de la fréquence :

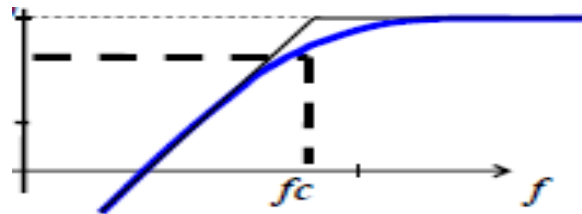


Figure 2.09 : Réponse en fréquence d'un filtre passe-haut

On constate que pour les fréquences basses, le rapport est faible. Par contre, à partir de la fréquence de coupure f_c , la tension de sortie est presque identique à la tension d'entrée. Comme avec le filtre passe-bas, la fréquence à partir de laquelle le signal n'est plus filtré s'appelle fréquence de coupure noté f_c . On va voir maintenant des montages permettant de faire des filtre passe-haut. La figure ci-après illustre deux montages appelé filtre du premier ordre. L'un est réalisé avec un bobine et une résistance tandis que l'autre est avec un condensateur et une résistance :

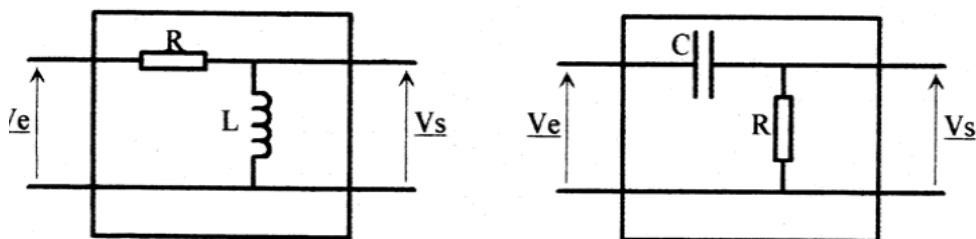


Figure 2.10 : Montage d'un filtre passe-haut de premier ordre

Pour le premier montage, la fonction de transfert est

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{j \frac{L}{R} \omega}{1 + j \frac{L}{R} \omega} \quad (2.15)$$

Si la fréquence croît, la valeur de ce rapport est très voisine de 1. La limite quand ω tend vers $+\infty$ est 1, c'est-à-dire que pour une fréquence très élevée, la tension de sortie est identique à la tension d'entrée. Par contre, pour la limite quand ω tend vers 0 est 0, cela implique que pour les

fréquences basses, la tension de sortie est identiquement nulle. C'est donc une fonction de transfert d'un filtre passe haut.

Pour le second montage, on a :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega} \quad (2.16)$$

Cette montage a le même fonctionnement que le précédent, il ne laisse pas passer le signal à basse fréquence.

Ces deux expressions ont la forme générale

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{Aj \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (2.17)$$

Par identification on trouve $\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{1}{RC}$ ou $\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{R}{L}$ et $A=1$.

Ces deux montages sont constitués de deux composants seulement, soit une résistance et une bobine, soit une résistance et un condensateur. Mais le montage suivant est constitué de trois composants en même temps. Ce filtre s'appelle le filtre passe-haut de second ordre.

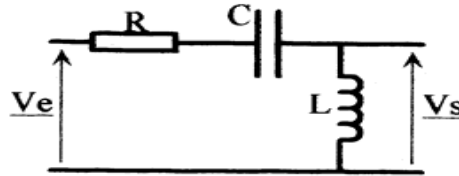


Figure 2.11 : *Filtre passe-haut de second ordre*

Ce filtre fonctionne à peu près comme le filtre passe haut de premier ordre, il atténue les fréquences indésirables. Il est constitué d'une résistance, d'un condensateur et d'une bobine monté en série.

Sa fonction de transfert est

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{-LC\omega}{1 + jRC\omega - LC\omega^2} \quad (2.18)$$

Les fonctions de transferts de ce filtre ont la forme générale

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{A \left(j \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}{1 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} \quad (2.19)$$

Par identification, on trouve $A=1$ et $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $m = \frac{R}{2} \times \sqrt{\frac{C}{L}}$

2.2.2.3 Le filtre passe-bande

Ce filtre ne laisse passer qu'une bande de fréquence. Il possède deux fréquences de coupure : la fréquence de coupure basse notée f_{CB} et la fréquence de coupure haute notée f_{CH} . Sa bande passante est donc $[f_{CB}, f_{CH}]$. [6][7] La figure ci-dessous montre comment un filtre passe bande agit sur l'amplitude de différents signaux à différentes fréquences :

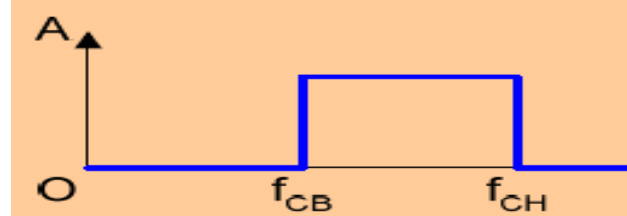


Figure 2.12 : Amplitude en fonction de fréquence pour un filtre passe-bande

Un filtre passe-bande est constitué de deux parties : une partie qui fait chuter la tension de sortie à basse fréquence et une autre partie qui fait chuter la tension de sortie à haute fréquence. De ce fait, on pourra avoir un filtre passe-bande avec un circuit RLC ou une association d'une passe-bas et d'une passe-haut. La fonction de transfert d'un filtre passe-bande a la forme générale :

$$\frac{V_s}{V_e} = A \times \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (2.20)$$

La bande passante est la plage des fréquences ou de pulsation comprises entre les fréquences ou pulsations de coupure. Il est donc nécessaire de déterminer ces deux valeurs. Les pulsations de coupures sont calculées à partir de la valeur maximale de $\left|\frac{V_s}{V_e}\right|$. La pulsation ω_{max} permettant d'accéder au maximum s'obtient en transformant $\frac{V_s}{V_e}$:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{A}{\frac{\omega_0}{j\omega} + 2m + j \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{A}{j \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) + 2m} \quad (2.21)$$

Le maximum est atteint pour $\omega = \omega_{max} = \omega_0$, alors $\left(\frac{V_s}{V_e}\right)_{\omega_{max}} = \frac{A}{2m}$.

Le calcul des pulsations de coupure se fait généralement à -3dB. Ainsi on a :

$$\left|\frac{V_s}{V_e}\right|_{\omega_c}^2 = \frac{A^2}{\left(\frac{\omega_c}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_c}\right)^2 + 4m^2} = \frac{A^2}{8m^2} \quad (2.22)$$

Par résolution de l'équation de second degré, on obtient :

$$\omega_{c1} = \omega_0 \times (\sqrt{1 + m^2} - m) \quad \text{et} \quad \omega_{c2} = \omega_0 \times (\sqrt{1 + m^2} + m) \quad (2.23)$$

Avec ω_{c1} pulsation de coupure 1 et ω_{c2} pulsation de coupure 2. On peut remarquer que :

$\omega_{c1} \omega_{c2} = \omega_0^2$. Le Maximum se produit par la moyenne géométrique des 2 pulsations de coupure.

Une grandeur importante pour un filtre passe bande est sa sélectivité notée $Q = \frac{\omega_0}{\omega_{c2} - \omega_{c1}} = \frac{1}{2m}$.

La figure ci-dessous est un filtre passe bande RLC :

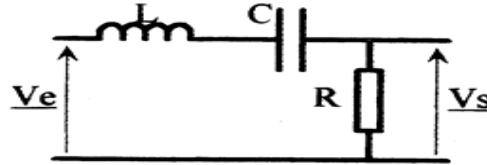


Figure 2.13 : Filtre passe-bande RLC

On a la fonction de transfert

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{R}{R + jL\omega + \frac{1}{jC\omega}} = \frac{V_s}{V_e} = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega - LC\omega^2} \quad (2.24)$$

Et par identification à la forme $A \times \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2mj\frac{\omega}{\omega_0} + (j\frac{\omega}{\omega_0})^2}$, on a $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $m = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$ et $A = R \sqrt{\frac{C}{L}} =$

$2m$. On a donc les pulsations de coupure: $\omega_{c1} = \omega_0 \times (\sqrt{1 + m^2} - m)$ $\omega_{c2} = \omega_0 \times (\sqrt{1 + m^2} + m)$

$$\omega_{c1} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \times \left(\sqrt{1 + \frac{R^2 C}{4 L}} - \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \right) \quad (2.25)$$

Et

$$\omega_{c2} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \times \left(\sqrt{1 + \frac{R^2 C}{4 L}} + \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \right) \quad (2.26)$$

On peut aussi faire un filtre passe-bande par la mise en cascade d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut comme l'illustre la figure suivant :

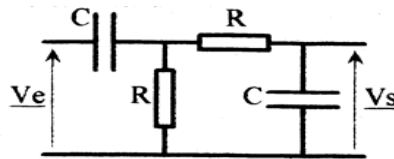


Figure 2.14 : Mise en cascade d'un filtre passe-bas et passe-haut

On obtient la fonction de transfert suivant :

$$\frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \frac{jRC\omega}{1 + 3jRC\omega + (jRC\omega)^2} \quad (2.27)$$

Par identification à la forme $A \times \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2mj\frac{\omega}{\omega_0} + (j\frac{\omega}{\omega_0})^2}$, on trouve $\omega_0 = \frac{1}{RC}$, $m = \frac{3}{2}$ et $A = 1$

Et les pulsations de coupure sont

$$\omega_{c1} = \frac{1}{RC} \times \left(\sqrt{1 + \frac{9}{4}} - \frac{3}{2} \right) = \frac{\sqrt{13} - 3}{2RC} \quad (2.28)$$

Et

$$\omega_{c2} = \frac{1}{RC} \times \left(\sqrt{1 + \frac{9}{4}} + \frac{3}{2} \right) = \frac{\sqrt{13} + 3}{2RC} \quad (2.29)$$

2.2.2.4 Le filtre coupe bande ou réjecteur de bande

Contrairement au filtre passe-bande, ce filtre ne laisse pas passer les fréquences entre les deux fréquences de coupure. [6] Ce type de filtre peut être aussi obtenue avec le montage suivant :

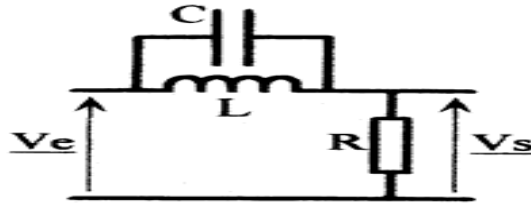


Figure 2.15 : *Filtre coupe-bande RLC*

Sa fonction de transfert est donnée par

$$\frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \frac{-LC\omega^2 + 1}{1 + j\frac{L}{R}\omega - LC\omega^2} \quad (2.30)$$

On peut l'écrire sous une forme générale :

$$A \frac{1 + \left(j\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 2mj\frac{\omega}{\omega_0} + \left(j\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (2.31)$$

Par identification, on a $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $m = \frac{1}{RC} \sqrt{\frac{L}{C}}$ et $A = 1$

Ces différents types qu'on vient de parler sont des filtres analogiques réalisés purement avec un des composants passives. On peut donc utiliser l'un ou l'autre de ces quatre sortes de filtre selon le besoin. Cependant, il existe d'autres filtres utilisant un circuit intégré appelé Ampli-Op (Amplificateur opérationnel). Il y a aussi des filtres numériques utilisés dans le traitement de signal numérique qu'on va pas citer ici. Maintenant, nous allons étudier une composante principale de l'étage amplificateur.

2.3 Le transistor bipolaire

2.3.1 Historique

Depuis longtemps, on s'intéressait à avoir un composant qui sera capable d'amplifier une tension ou un courant. Beaucoup de recherches et d'expérimentation ont été faites, et avec le temps, on a pu trouver un composant capable de faire cette tâche. Ce composant s'appelle le transistor. Nous allons étudier dans ce chapitre ce composant si intéressant en électronique. On va voir son principe de fonctionnement et ses caractéristiques. Mais tout d'abord, on va parler un peu de l'historique du transistor bipolaire.

Beaucoup des électroniciens ont rêvé d'avoir un composant capable de faire une amplification de courant ou de tension. En 1947, John BARDEEN et Walter BRATTAIN inventaient le transistor à contact ou transistor au laboratoire de physique de la société BELL (USA). Cette découverte est annoncée en juillet 1948. En cette même année 1948, Herbert MATARE et Heinrich WELKER inventaient (indépendamment de BELL) aussi le transistor à contact en juin 1948 (en France). Ce transistor sera appelé le Transistor pour le distinguer de celui de BELL. En janvier 1948 William SHOCKLEY inventait le transistor à jonction que l'on appelle actuellement transistor bipolaire, mais la technique de fabrication n'était maîtrisée qu'en 1955. [9] La figure ci-dessous montre les premiers transistors de 1948 :



Figure 2.16 : *Transistor bipolaire (à gauche) et transistor à contact (à droite)*

Après leur invention, ce composant a apporté beaucoup d'essor pour le monde de l'électronique. Les transistors remplacent les contacteurs électromécaniques des centraux téléphoniques et les tubes dans les calculateurs. En 1953, on a inventé un calculateur portant 93 transistors et 550 diodes. Puis, en 1954, la première radio à transistor a vu le jour. En 1958 Jack KILBY de Texas Instrument présentait le premier circuit entièrement intégré sur une plaque de semi-conducteur, et en 1960, la production de la première mémoire Flip-Flop par la société Fairchild Semi-conducteur. A partir du nombre de composants par circuit intégré fabriqué depuis 1965, Gordon MOORE prédit que le nombre de composants intégrés (par unité de surface) doublera tous les 12 mois. On peut donc constater comment l'arrivée de ce nouveau composant a changé le monde de l'électronique. Ce qui nous conduit à faire des études sur ce composant.

2.3.2 Définition

Un transistor est un composant électronique qui comporte trois pattes. Ses trois pattes sont le base, l'émetteur et le récepteur. Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Il y a deux type de conducteur : de type N et de type P et qui sont dopés différemment. On doit donc envisager les configurations NPN et PNP. Le dopage de chaque jonction pour un NPN est le suivant :

- Un émetteur de type N fortement dopé,
- Une base très mince et faiblement dopée,
- Un collecteur de type N peu dopé.

La représentation schématique d'un transistor est un cercle ou il y trois broches et une broche avec une flèche qui indique l'émetteur. L'appellation émetteur/récepteur est vis-à-vis des électrons. [9][10] La figure ci-dessous va donner un aperçu de la constitutions d'un transistor et sa représentation sur un schéma électrique :

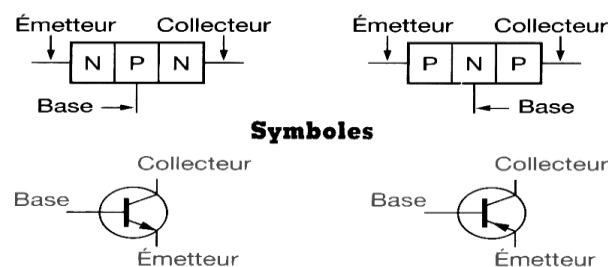


Figure 2.17 : Transistor bipolaire et sa représentation dans un schéma électrique

En réalité, un transistor ne ressemble pas du tout à la représentation ci-dessus. La forme dépend du type mais aussi du fabricant. Les constructeurs donnent en général les valeurs ci-dessous à ne pas dépasser afin d'éviter la détérioration du transistor :

- V_{CE0} ou V_{MAX} : Tension collecteur/émetteur maxi (à $V_{BB}=0$)
- V_{BE0} : Tension base/émetteur maximale
- I_{CMAX} : Courant maximale dans le collecteur
- P : Puissance maxi que peut dissiper le transistor (avec $P = V_{CE} \cdot I_C$).

La figure ci-dessous nous montre trois exemples de type de transistor mais il existe beaucoup d'autre :

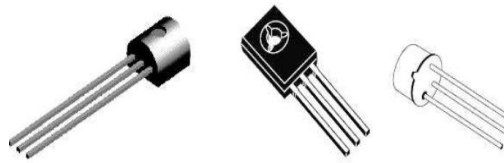


Figure 2.18 : *Forme réel d'un transistor*

Après avoir défini le transistor, on va passer directement à ses caractéristiques.

2.3.3 Régime de fonctionnement d'un transistor

Pour étudier les caractéristique d'un transistor, on a fait l'expérience suivant :

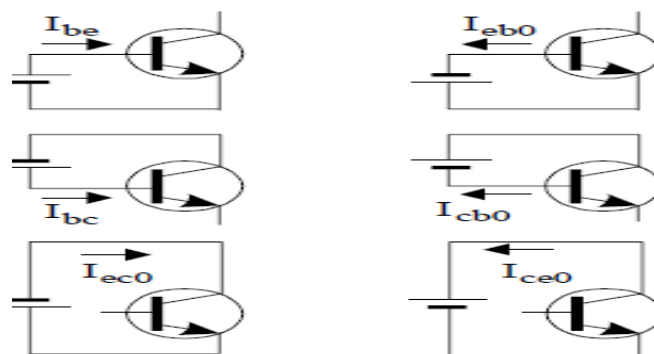


Figure 2.19 : *Etude expérimentale d'un transistor*

On a mesuré le courant entre deux électrodes reliés à un générateur quand la troisième est déconnectée. Pour la jonction Base-émetteur, en polarisation direct c'est à dire que la base au plus de l'alimentation, I_{BE} est intense. Par contre, en polarisation inverse I_{EB0} est très faible. Pour la jonction Base-collecteur : en polarisation direct, I_{BC} est intense ,et en polarisation inverse, I_{CB0} est

très très faible. En effet, le dopage du collecteur étant faible, celui-ci contient peu de porteurs libres. Entre l'émetteur et le récepteur, si la jonction CE est polarisée en inverse, I_{EC0} est très faible mais on a : $I_{EC0} > I_{EB0}$. Si la jonction CE est polarisée en direct, on mesure un I_{CE0} très faible avec : $I_{CE0} > I_{EB0} \gg I_{CB0}$. On constate que le transistor ne fonctionne pas de manière symétrique. Le collecteur et l'émetteur à dopage différents ne peuvent pas être permutés. [10][11] Pour débloquer le transistor NPN, il faut que la base-émetteur soit polariser en direct avec une tension supérieure à la tension de seuil V_s de cette diode c'est-à-dire $V_{BE} > V_s$. Le caractéristique $I_B = f(V_{BE})$ ressemble à celle d'un diode.

Pour débloquer le transistor PNP, il faut que la jonction base-émetteur soit polarisée en direct avec une tension supérieure (en valeur absolue) à la tension de seuil V_s , de cette diode soit $V_{BE} < -V_s$. Pour étudier les caractéristiques d'un transistor, on va maintenant considérer le montage suivant pour un transistor bipolaire du type NPN. Cette montage est à émetteur commun c'est-à-dire que la tension d'entrée et de sortie sont prise par rapport à l'émetteur. La figure ci-dessous nous montre le montage à émetteur commun qui est le plus utilisé dans la pratique :

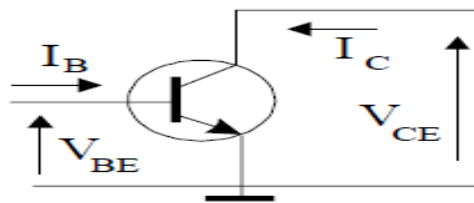


Figure 2.20 : Montage à émetteur commun

Ici, on considère V_{BE} comme tension d'entrée et V_{CE} comme tension de sortie. Notre étude consiste à étudier les dépendances qu'il y a entre les valeurs des tensions et des courants qui traverse le transistor bipolaire. Nous allons voir que chaque valeur dépend des autres.

2.3.3.2 Caractéristique $I_B = f(V_{BE})$ d'un transistor NPN

La jonction base-émetteur a la caractéristique d'une diode. Ici, V_{CE} est considéré comme paramètre pour le calcul.

La figure ci-dessous montre la variation du courant I_B en fonction de la tension V_{BE} pour le deux types de transistor :

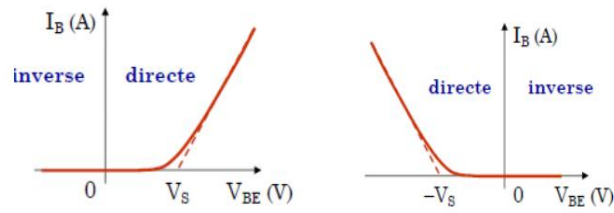


Figure 2.21 : Caractéristiques $I_B = f(V_{BE})$ d'un NPN à gauche et d'un PNP à droite.

On constate que si la tension V_{BE} est inférieure à la valeur seuil, la jonction Base-émetteur est bloqué. La valeur du courant dépend de la tension V_{BE} . C'est l'un des caractéristiques d'un transistor. On va voir maintenant un autre caractéristique d'un transistor.

2.3.3.3 Caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ d'un transistor

La jonction Base-Collecteur doit être polarisée en inverse parce le courant d'électron puisse la traverser. Si $V_{CE} = 0$, aucun courant ne circule entre l'émetteur et le recepneur. SI V_{CE} est inférieure à une tension V_{CEsat} , le courant du collecteur est indépendant de I_B . Dans ce cas, le transistor est dit saturé. Si la tension est supérieur à V_{CEsat} , le courant I_C est indépendant de V_{CE} . La graphe suivant montre le caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ avec I_B étant comme paramètre :[9][10][11]

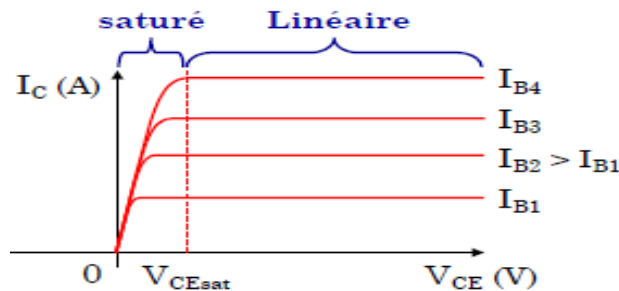


Figure 2.22 : Caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ d'un transistor bipolaire

D'autre part, à cause de l'effet transistor, il y a une relation entre le courant I_C et le courant I_B . Cette équation est valable lorsque le transistor est en régime linéaire. Cette relation est donnée par :

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (2.32)$$

Avec :

I_C : courant du collecteur

I_B : courant de la base

β : gain en courant du transistor

Le coefficient β est souvent noté Hfe dans les catalogues constructeurs. Il est aussi parfois coefficient d'amplification statique en courant. En générale, β varie de 30 à 300. Il varie selon le type de transistor. Pour le transistor dit « petit signaux », on a $100 < \beta < 300$, et pour le transistor dit « de puissance », on a $30 < \beta < 100$. On peut donc constater que le transistor peut jouer le rôle d'un amplificateur mais aussi le rôle d'un interrupteur selon la tension appliquée à ses bornes. Cette possibilité de deux fonction d'un transistor nécessite qu'on fixe les tensions à ses bornes selon les besoins. Cela nous conduit à fixer le point de fonctionnement. On parle de polarisation d'un transistor.

4.1.3.2. Polarisation d'un transistor

Pour avoir le fonctionnement souhaité pour un transistor, on fait le montage à émetteur commun et on utilise deux alimentation et deux résistance pour limiter le courant I_B et I_C . On peut donc régler le tension d'entrée et de sortie et ainsi que le courant. Le montage suivant nous montre ce qu'on appelle polarisation d'un transistor :

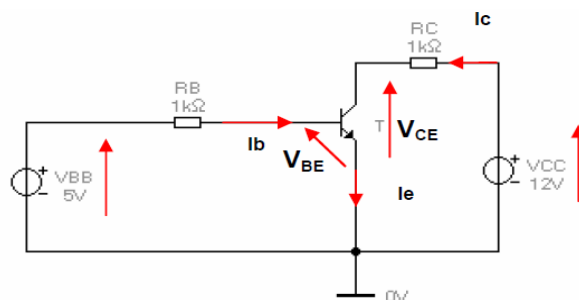


Figure 2.23 : Polarisation d'un transistor

Avec cette montage, d'après la loi de nœud, on peut écrire

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.33)$$

avec I_B courant de base, I_C courant au récepteur, I_E courant de l'émetteur.

D'autre part, on a la relation $I_C = \beta \cdot I_B$, l'équation (2.33) dévient

$$I_E = \beta \cdot I_B + I_B = (\beta + 1)I_B \quad (2.34)$$

Et si $\beta \cdot I_B \gg I_B$, on aura $\beta + 1 \cong \beta$ et l'équation (4.3) dévient

$$I_E = \beta \cdot I_B + I_B = (\beta + 1)I_B = \beta \cdot I_B = I_C \quad (2.35)$$

Dans ce cas, le transistor se comporte comme un interrupteur entre l'émetteur et le récepteur. Si $I_B = 0$, le transistor est donc un interrupteur ouvert entre le collecteur et le récepteur. Dans ce cas, on dit que le transistor est bloqué.

Si $I_B \neq 0$, le transistor est comme un interrupteur fermée entre l'émetteur et le récepteur. On dit que le transistor est saturé.

Et comme on a vu précédemment que le courant I_B et le courant I_C dépendent des tensions V_{CE} et V_{BE} , il est donc nécessaire de fixer les valeurs de ces tensions pour bien déterminer les points de fonctionnement du transistor. Nous allons donc tracer la droite de décharge statique du transistor sur le réseau $I_C = f(V_{CE})$. L'équation de la droite de décharge est donnée par le « maille » du schéma précédent et on a :

$$V_{CC} - U_C - V_{CE} = 0 \quad (2.36)$$

Où U_C = tension aux bornes de la résistance R_C donc $U_C = R_C \cdot I_C$. Et d'après l'équation (2.36), on a :

$$V_{CC} = U_C + V_{CE} = R_C \cdot I_C + V_{CE} \quad (2.37)$$

On en déduit la droite de décharge :

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2.38)$$

En traçant sur la même figure la droite de décharge et le réseau $I_C = f(V_{CE})$ en considérant un I_C constante on a différents points de fonctionnement comme le montre la figure suivant :

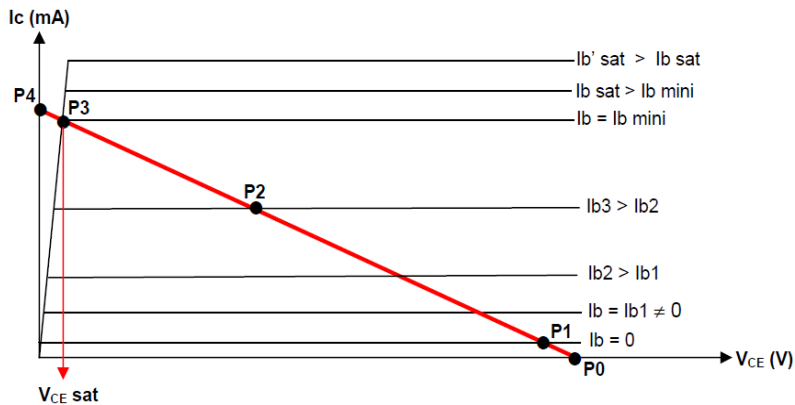


Figure 2.24 : Point de fonctionnement d'un transistor bipolaire

Lors du fonctionnement en commutation, le point P se déplace entre le point P_1 (pour $I_B = 0$) et P_3 (pour $I_B = I_{Bmini}$). Ici, I_{Bmini} correspond à la valeur de I_B avec $V_{BE} = V_S$ la tension seuil pour jonction BE. On peut définir les coordonnées des points $P_0(0, V_{CC})$ c'est-à-dire $I_C=0$ et $V_{CE}=V_{CC}$ et

$P_4(\frac{V_{CC}}{R_C}, 0)$ c'est-à-dire $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$ et $V_{CE}=0$. En conclusion, on constate que si I_B augmente, I_C augmente et tend vers $\frac{V_{CC}}{R_C}$ et V_{CE} diminue et tend vers 0. Pour une valeur intermédiaire de V_{CE} , par exemple au point P_2 , le transistor joue un rôle d'un amplificateur avec un gain de courant β . Un transistor peut donc jouer le rôle d'un commutateur ou d'un amplificateur selon la tension et les courants avec lesquelles on lui applique. Polariser un transistor revient donc à fixer les valeurs des résistances, des tensions et du courant aux bornes de celui-ci. Le but de ce mémoire est l'amplification d'un signal audio, on va mettre l'accent sur le régime linéaire. On va étudier maintenant le transistor en régime linéaire ou en mode amplificateur.

2.4 L'étage amplificateur

C'est le dernier étage qui va faire l'amplification proprement dite avant de brancher notre haut-parleur. Dans cet étage, le signal est amplifié en puissance pour faire vibrer la membrane de notre haut-parleur. Comme on a vu précédemment que, le transistor peut être utilisé comme amplificateur de signal selon qu'il est polarisé dans la partie où il est en régime linéaire. Dans ce chapitre, notre étude va être focalisée entre les deux points de fonctionnement : saturation(point P_3)et blocage(point P_1). Dans cette zone, on peut avoir plusieurs types d'amplificateur avec différents types de fonctionnement. Dans ce qui suit, on va voir l'amplificateur de classe A, B, et AB qui ont des caractéristiques différentes. Un amplificateur est défini par les critères suivants :

- puissance moyenne utile notée P_u
- gain en puissance noté G_p
- le rendement η
- distorsion : lorsque l'amplificateur travaille en grandes signaux, le signal de sortie présente de la distorsion dû à la non linéarité. Cela signifie qu'à une entrée sinusoïdale correspond tout simplement à une sortie périodique tout simplement. [13][14]

L'alimentation du montage fournit une puissance totale P_f qui se répartit entre la puissance utile P_u dissipée dans la charge et la puissance P_d dissipée, en pure perte, dans l'amplificateur. La puissance P_c fournie par le circuit de commande, est en général négligeable devant celle provenant de l'alimentation.

On peut donc calculer :

- la puissance moyenne utile :

$$P_u = \frac{1}{T} \int_0^T p_u(t).dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t).i(t).dt \quad (2.39)$$

-le gain en puissance :

$$G_P = \frac{P_u}{P_c} \quad (2.40)$$

-le rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_c + P_f} \quad (2.41)$$

2.4.1 Amplificateur classe A

En mode amplificateur, on doit polariser le transistor en régime linéaire. On va lui appliquer des courants et des tensions sur lesquelles vont se superposer le signal à amplifier. L'étage amplificateur de cette classe se présente comme le montre la figure suivante :

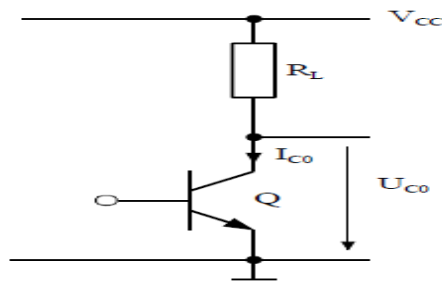


Figure 2.25 : Montage d'un amplificateur de classe A

La valeur I_{C0} et U_{C0} correspond au courants et tensions de polarisation. Pour cette classe d'amplificateur, le point de fonctionnement est choisi à peu près le milieu de la droite de décharge statique comme le montre la figure suivante :

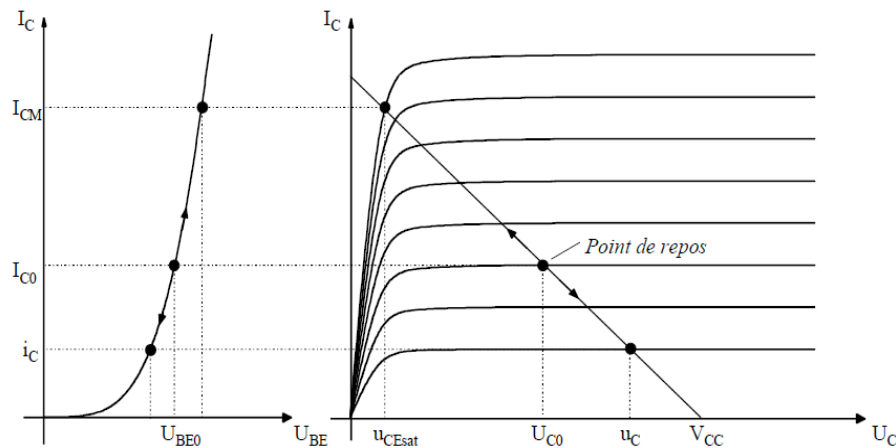


Figure 2.26 : Points de fonctionnement d'un amplificateur classe A

D'après ce figure, on peut constater que pour un amplificateur de classe A, les limites d'excursion de la tension U_c sont données par la tension d'alimentation V_{CC} et la tension de saturation U_{CESat} du transistor.

Remarque :

Un signal périodique peut être décomposé en la somme d'une composante continue qui est la valeur moyenne et un tension sinusoïdale de valeur moyenne nulle

On peut décomposer la tension $u_c(t)$ comme la somme de la tension de polarisation et de la tension du signal amplifié $\Delta u_c(t)$. On peut faire la même opération pour le courant. La figure ci-dessous montre cette décomposition.

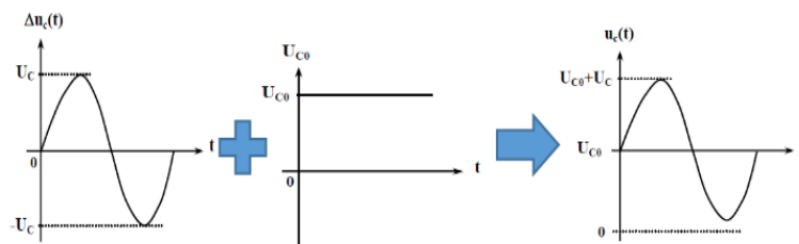


Figure 2.27 : Composition d'une tension périodique

D'après cette figure, on peut deduire que la tension finale $u_c(t)$ est composé d'une composante continue U_{C0} due à la polarisation et d'un composante alternative $\Delta u_c(t)$ du signal. On peut donc écrire : $u_c(t) = U_{C0} + \Delta u_c(t)$.[12]

La figure ci- dessous est la décomposition d'un courant périodique :

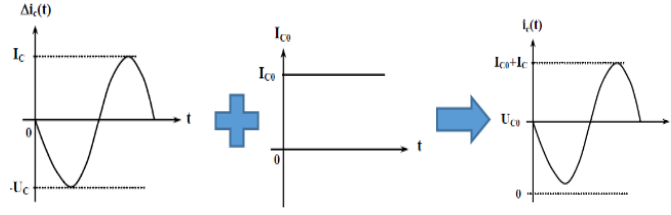


Figure 2.28 : Composition du courant

Comme avec la tension on peut écrire : $i_c(t) = I_{c0} + \Delta i_c(t)$.

Avec un signal sinusoïdal et une charge purement résistive, on a :

$$\Delta i_c(t) = I_c \sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ et } \Delta u_c(t) = U_c \sqrt{2} \sin(\omega t) [12].$$

La puissance totale dissipé dans la charge se calcule ainsi :

$$P_{RL} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{RL}(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{CC} - v(t)) \cdot i(t) \cdot dt = (V_{CC} - U_{c0}) \cdot I_0 + \frac{U_c \cdot I_c}{2} \quad (2.42)$$

Avec $U_c = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$: valeur efficace de la tension

$I_c = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$: valeur efficace du courant

Le terme $(V_{CC} - U_{c0}) \cdot I_0$ est dû à la polarisation et le terme $\frac{\hat{U}_c \cdot \hat{I}_c}{2}$ est la puissance utile dû à la variation de la tension et du courant aux borne de la charge. Pour le transistor, la puissance dissipée se calcule de la même façon sauf que la tension et le courant sont en opposition de phase. Lorsque le courant augmente de \hat{I}_c dans le transistor, la tension à ses bornes est réduite de \hat{U}_c en raison de l'augmentation de la charge aux borne de la charge. Le produit $p_Q(t) = u_c(t) \cdot v_c(t)$ est donc négatif. La puissance moyenne s'écrit donc :

$$P_Q = \frac{1}{T} \int_0^T p_Q(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (U_{c0} + \Delta u_c(t))(I_{c0} + \Delta i_c(t)) dt = U_{c0} \cdot I_{c0} - \frac{\hat{U}_c \cdot \hat{I}_c}{2} \quad (2.43)$$

La puissance totale dissipé est donc la somme de la puissance dissipée par la résistance et le transistor s'écrit :

$$P_{TOT} = P_Q + P_{RL} = V_{CC} \cdot I_{CO} \quad (2.44)$$

On vérifie que ce résultat correspond bien à celui obtenu en calculant la puissance délivrée par l'alimentation

$$P_{TOT} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{TOT}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CC} \cdot (I_{C0} + \Delta i_c(t)) \cdot dt = V_{CC} \cdot I_{C0} \quad (2.45)$$

Le rendement se calcule donc par

$$\eta = \frac{P_u}{P_c + P_f} = \frac{P_u}{P_{TOT}} = \frac{\frac{\hat{U}_c \cdot \hat{I}_c}{2}}{V_{CC} \cdot I_{C0}} \quad (2.46)$$

Le rendement est maximal si $\hat{U}_c = \hat{U}_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{2}$ et si $\hat{I}_c = \hat{I}_{Cmax} = I_{C0}$. Ces valeurs sont accessibles si $U_{C0} = \frac{V_{CC}}{2}$ et $I_{C0} = \frac{V_{CC}}{2R_L}$. Le rendement maximal est donc

$$\eta_{max} = \frac{\frac{V_{CC}}{2} \times \frac{I_{C0}}{2}}{V_{CC} \times I_{C0}} = \frac{1}{4} \quad (2.47)$$

Le rendement maximal est donc de 25%, mais en réalité, le rendement maximal ne peut jamais atteindre 25% à cause de la tension de saturation si U_{CESAT} du transistor.[12] La figure ci-dessous la répartition de puissance d'un amplificateur de classe A :

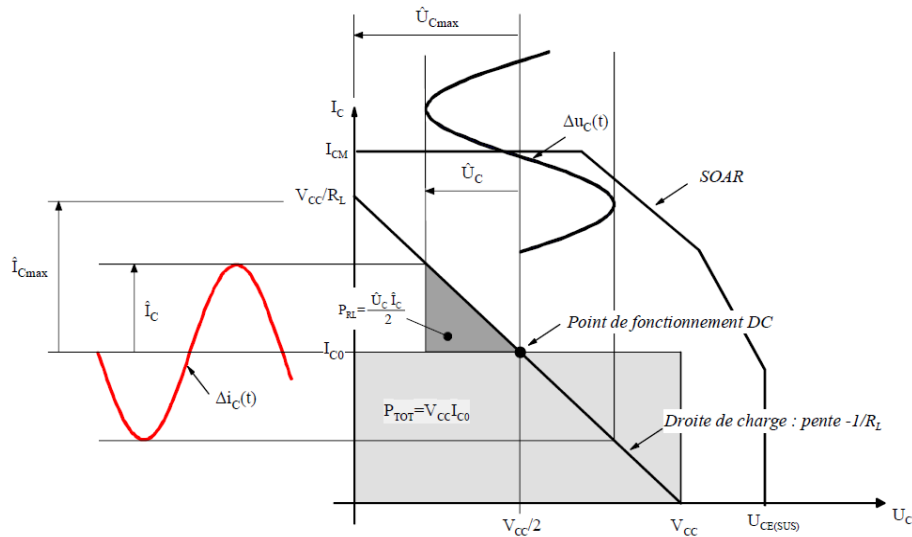


Figure 2.29 : Amplificateur classe A- Répartition de puissance

La variation de la tension est représentée par l'axe des abscisses, la courbe à droite sur la figure ci-dessus. La valeur centrale est la tension de polarisation et la courbe oscille autour de cette droite. La variation du courant est représentée par l'axe des ordonnées, la courbe à gauche sur notre figure. La valeur centrale est le courant de polarisation et la courbe oscille autour de cette droite. On peut déduire de cette courbe le tableau suivant :

	notation	Au repos	Avec η_{max}
Puissance dissipée par le transistor Q	P_Q	$\frac{V_{CC} \cdot I_{C0}}{2}$	$\frac{V_{CC} \cdot I_{C0}}{4}$
Puissance totale dans la charge	P_{RL}	$\frac{V_{CC} \cdot I_{C0}}{2}$	$3 \cdot \frac{V_{CC} \cdot I_{C0}}{4}$
Puissance totale fournie par l'alimentation	P_{TOT}	$V_{CC} \cdot I_{C0}$	$V_{CC} \cdot I_{C0}$

Tableau 2.01: Comparaison de puissance dissipée au repos et avec η_{max}

On peut constater que la puissance P_Q dissipée par le transistor est maximale au repos c'est-à-dire à l'absence du signal AC. Le courbe suivant indique la valeur de cette puissance en fonction du temps :

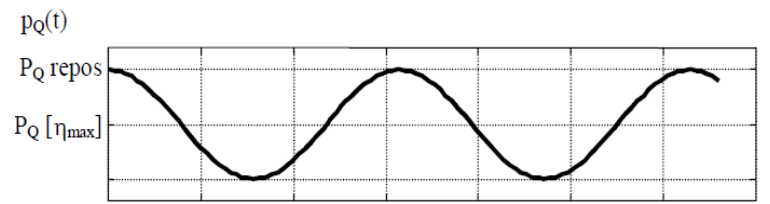


Figure 2.30 : Variation de la puissance dissipée par le transistor en fonction du temps

Un amplificateur de classe A ne peut donc dissiper toute la puissance de l'alimentation en puissance utile, le rendement est très faibles et on peut pas utiliser ce type d'amplificateur dans les utilisations qui ont besoin d'une puissance élevé.

2.4.2 Les amplificateurs de classe B et AB

En utilisant deux transistors complémentaires polarisés à la limite du blocage, il est possible de faire en sorte que chacun d'eux amplifie une des polarités du signal d'entrée. Cette montage permet d'avoir une excursion plus grande en tension et en courant donc de la puissance aussi. Pour cette classe d'amplificateur, on utilise deux transistor, l'un du type NPN et l'autre du type PNP. Le montage suivant appelé aussi montage « push-pull » permet d'avoir un amplificateur de classe B.

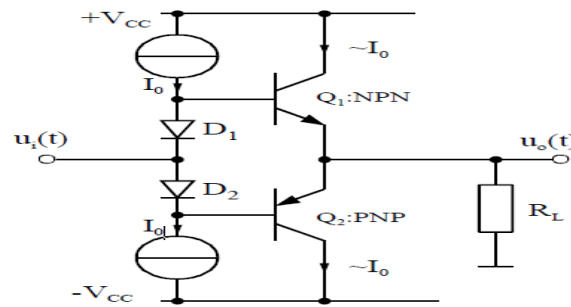


Figure 2.31 : Montage push-pull – Amplificateur classe B

Le principe de fonctionnement de cet amplificateur est la conduction alternative de deux transistors. Lorsque l'entrée est une tension de polarité positive, c'est le transistor Q1 de type NPN qui conduit, le transistor complémentaire étant bloqué, alors que pour une polarité négative, on se trouve dans la situation inverse. En aucun moment les deux transistors sont conducteurs simultanément. Ces deux transistors doivent avoir le même gain β pour avoir la même excursion dans les deux polarités. Le point de fonctionnement de chaque transistor est le point de blocage. [11][12][13] Les polarisations de chaque transistor doivent être indépendantes. Sur la figure suivante, ce point de repos est le point P1.

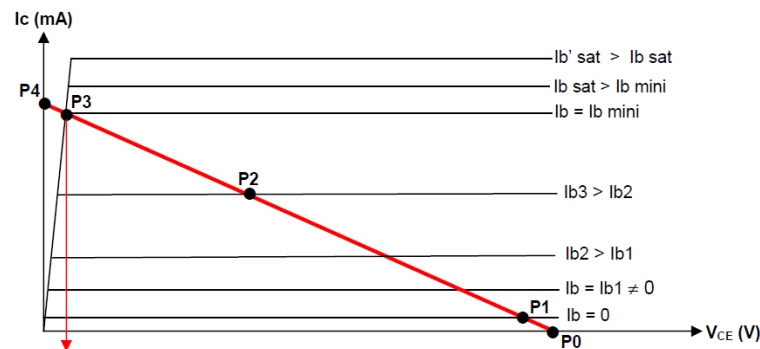


Figure 2.32 : Points de repos d'un amplificateur de classe B

Le problème avec ce type de transistor est la distorsion du signal. Chaque transistor a besoin d'une tension de jonction U_j pour entrer en conduction, il en résulte une plage morte de U_j , soit environ 1.4V répartie de manière à peu près symétrique autour de l'origine. Celle-ci donne lieu à une distorsion connue sous le nom de "distorsion de cross-over". Cette distorsion sera expliquée par la figure suivante :

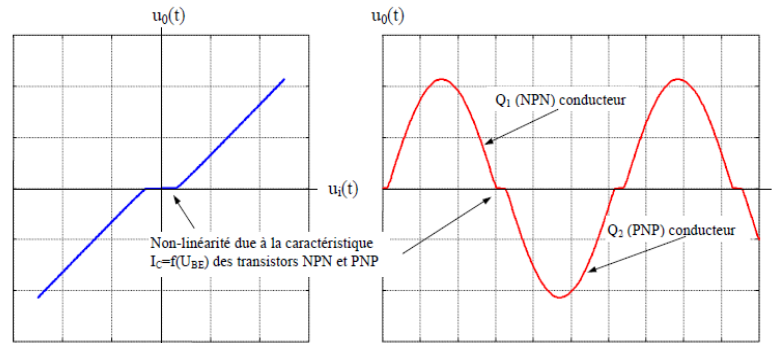


Figure 2.33 : *Distorsion de « cross-over »*

On constate que la forme du signal à l'entrée n'est pas conservée. Malgré ce problème, on a un gain unité en tension. Dans les applications où la distorsion de "cross-over" n'est pas acceptable par exemple pour les amplificateurs audio, il est nécessaire de modifier la structure de base de l'amplificateur classe B afin d'éliminer ou tout au moins de réduire drastiquement les non-linéarités. Pour remédier ce problème, une nouvelle classe d'amplificateurs a donc été définie sous la dénomination de la classe AB. Cette nouvelle classe est donc l'amélioration de la classe B. Pour cette nouvelle classe d'amplificateur, la structure de base de la sortie de l'amplificateur B a été modifiée au niveau de la polarisation. Au repos, un courant de polarisation, dont la valeur est fonction de la qualité de linéarité exigée, est imposé pour chaque transistors complémentaires de sortie. La structure de base de cette nouvelle classe est illustrée par la figure suivante :

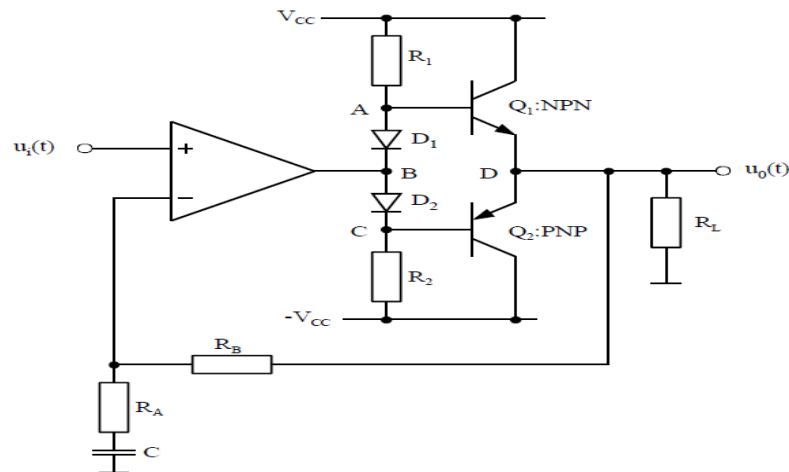


Figure 2.34 : *Structure de base d'un amplificateur classe AB*

Pour la raison de besoin d'un courant de polarisation I_0 , le point de fonctionnement de cette classe d'amplificateur se trouve entre le points de fonctionnement de l'amplificateur de classe A et

de la classe B. La figure suivante indique les trois points de fonctionnement des classes A, B, et AB.

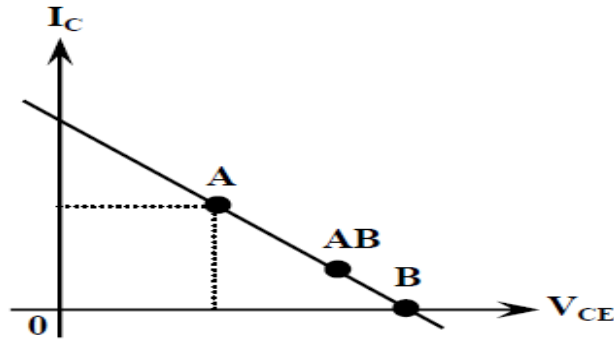


Figure 2.35 : Point de fonctionnement de classe A, B, et AB

Pour cette nouvelle classe, on minimise la distorsion et on obtient un signal presque comme l'entrée. On rétablit la linéarité donc on a une meilleure fidélité. La figure suivante nous montre la caractéristique de transfert d'un tel amplificateur :

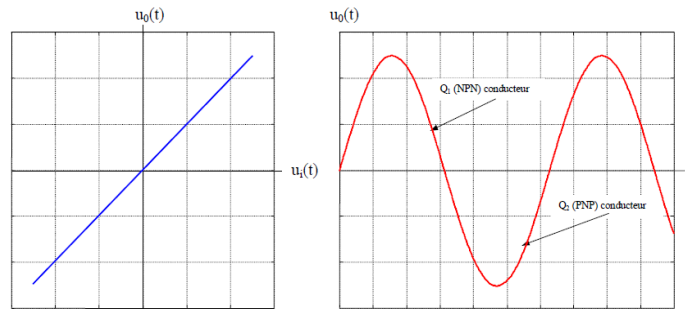


Figure 2.36 : Caractéristique de transfert d'un amplificateur classe AB

On va maintenant étudier les caractéristiques de cette nouvelle classe d'amplificateur. Dans ce qui suivent, on néglige la puissance dans le circuit de polarisation pour simplifier le calcul.

En régime sinusoïdal, la résistance de charge R_L dissipe une puissance donnée par la relation

$$P_{RL} = \frac{\hat{U}_0^2}{2 \cdot R_L} \quad (2.48)$$

Pour les deux transistors, la puissance instantanée dissipée (l'alternance positive dans Q_1 et l'alternance négative dans Q_2) vaut

$$p_Q(t) = (V_{CC} - u_0(t)) \cdot i_0(t) \quad (2.49)$$

La puissance que dissipe un transistor pendant une demi-période est donnée par la relation

$$P_Q = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_{CC} - u_0(t)) \cdot i_0(t) dt \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_{CC} - u_0(t)) \cdot \frac{u_0(t)}{R_L} dt \\ &= \frac{2}{T} \left[\int_0^{T/2} \frac{V_{CC} \cdot \hat{U}_0 \sin(\omega t)}{R_L} dt - \int_0^{T/2} \frac{\hat{U}_0^2 \sin^2(\omega t)}{R_L} dt \right] \\ P_Q &= \frac{2V_{CC} \cdot \hat{U}_0}{\pi R_L} - \frac{\hat{U}_0^2}{2R_L} \end{aligned} \quad (2.41)$$

La puissance dissipée par un transistor, sur une alternance, est maximale lorsque

$$\frac{\partial P_Q}{\partial \hat{U}_0} = \frac{2V_{CC}}{\pi R_L} - \frac{\hat{U}_0}{R_L} = 0 \quad (2.42)$$

C'est-à-dire que $\frac{2V_{CC}}{\pi} = \hat{U}_0$, et par conséquent, la puissance maximale moyenne est de

$$P_{Qmax} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 \cdot R_L} \quad (2.43)$$

En basse fréquence, vu la faible inertie de la pastille semi-conductrice du transistor de puissance, c'est la puissance instantanée qui est le facteur de dimensionnement dominant. Cette puissance instantanée passe aussi par un maximum :

$$\frac{\partial p_Q(t)}{\partial u_0(t)} = \frac{\partial}{\partial u_0(t)} (V_{CC} - u_0(t)) \cdot \frac{u_0(t)}{R_L} \quad (2.44)$$

Cette condition correspond à

$$u_0(t) = \frac{V_{CC}}{2} \quad (2.45)$$

La puissance instantanée maximale est donc

$$p_{Qmax} = \frac{V_{CC}^2}{4 \cdot R_L} \quad (2.46)$$

La puissance délivrée par l'alimentation n'est rien d'autre que la somme des puissances dissipées dans les transistors Q_1 , Q_2 , et dans la charge R_L . Ce qui s'écrit donc

$$P_{TOT} = P_{Q_1+Q_2} + P_{R_L} = \frac{2 \cdot V_{CC} \cdot \hat{U}_0}{\pi R_L} \quad (2.47)$$

Cette puissance est maximale lorsque $\hat{U}_0 = V_{CC}$, donc

$$P_{TOTmax} = \frac{2 \cdot V_{CC}^2}{\pi \cdot R_L} \quad (2.48)$$

Le rendement de l'amplificateur classe AB est par définition donné par

$$\eta = \frac{P_{R_L}}{P_{TOT}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{\hat{U}_0}{V_{CC}} \quad (2.49)$$

On en déduit le rendement maximal pour $\hat{U}_0 = V_{CC}$

$$\eta_{max} = \frac{\pi}{4} \quad (2.50)$$

En pourcentage, on a un rendement de 78.5%.

La figure ci-dessous illustre la répartition de puissance et rendement d'un amplificateur classe AB :

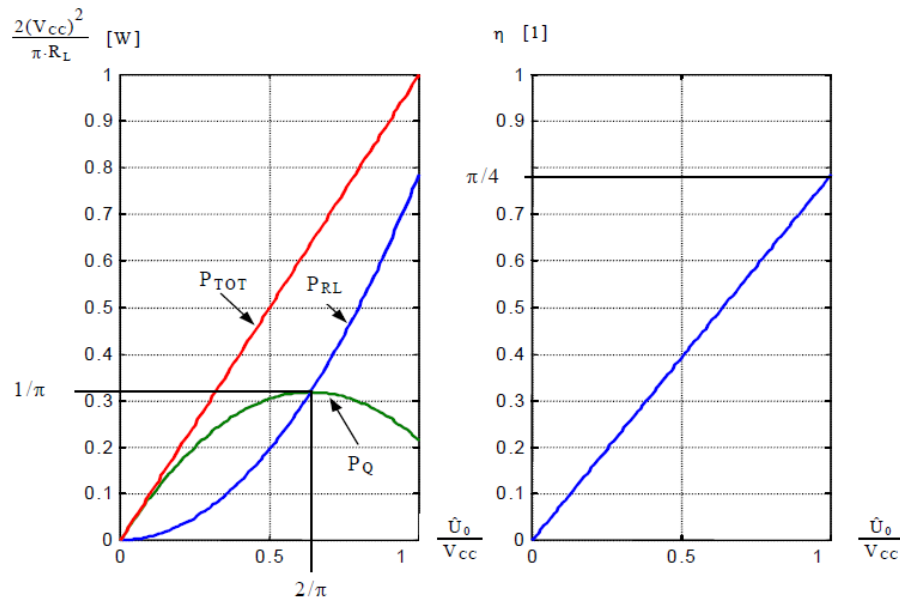


Figure 2.37 : Répartition de puissance et rendement d'un amplificateur classe AB

On peut donc avoir un bon rendement en fonction de la tension de polarisation. Si cette tension de polarisation est égale à la tension d'alimentation, on a un rendement maximal. Avec ce type d'amplificateur, on peut avoir une sortie avec une distorsion moindre et un rendement élevé. Cette amplificateur est donc favorable que l'amplificateur de classe B

2.5 Conclusion

On a pu voir dans ce chapitre qu'un amplificateur est constitué de deux étages indépendant l'un de l'autre mais qui joue chacun un rôle très important. On a aussi vu que le transistor peut être utilisé à divers application selon sa polarisation. On a vu aussi qu'en régime linéaire, on peut fabriquer différents type d'amplificateur selon le besoin. Dans notre cas, on a vu la classe A qui a un rendement faible mais qui est très fidèle. L'amplificateur classe B et AB pour avoir un rendement plus élevé.

CHAPITRE 3 REALISATION : AMPLIFICATEUR AUDIO

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va faire la réalisation d'un amplificateur qui est constitué de deux étages : un étage préamplificateur et un étage final ou amplificateur proprement dites. C'est un amplificateur de puissance moyenne qui peut faire fonctionner deux haut-parleurs d'impédance 38Ω chacun. Cette amplificateur possède deux canal : un canal pour le premier haut-parleur et le second pour l'autre. Il est alimenté par la prise du secteur. On peut amplifier avec cette amplificateur un music provenant d'un téléphone ou ordinateur par le biais d'un fiche-jack. Ou aussi la voix qui vient directement d'un microphone. Dans ce chapitre, on va parler en première lieu l'alimentation, puis l'étage préamplificateur, et enfin l'étage final.

3.2 L'alimentation

Notre alimentation est réalisée à partir d'un transformateur alimenté par la prise du secteur et qui donne deux tensions, l'une 16 Volts et l'autre 12 Volts dans sa secondaire. Puis, on a un pont à diodes pour supprimer l'alternance négative. Ici, le pont est réalisé avec quatre diodes. Enfin, deux condensateurs pour avoir une tension la plus stable possible. Notre alimentation alimente à la fois le préamplificateur et l'étage amplificateur. Notre alimentation est réalisée avec le montage suivant :

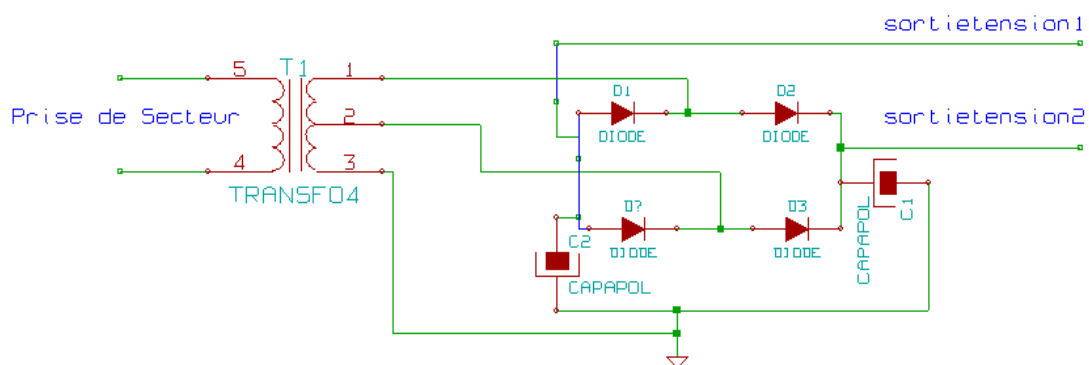


Figure 3.01 : Schéma électrique de l'alimentation

3.3 L'étage préamplificateur

Cette étage consiste à faire le contrôle souhaité de l'amplification. Dans cette étage, nous avons quatre potentiomètre de contrôle. La première gère le contrôle de volume en générale ; Le second pour la sélection de basse ; un troisième pour le médium, et le dernière pour la balance. Cet étage possède deux entrée de signal, une entrée pour chaque canal. Il possède aussi une entrée qui est la masse et qui est relié à la masse de l'amplificateur. Les sorties sont reliées à l'amplificateur pour être amplifié. Dans cet étage, le filtrage est contrôlé par la résistance variable du potentiomètre. Pour chaque potentiomètre, il y deux résistance variables dont l'un est relié à un filtre passe-bas et l'autre à un filtres passe-haut. La rotation de chaque potentiomètre change la valeur ohmique de chaque résistance variable. Dans un sens, on favorise les hautes fréquences et atténue les basses fréquences. Dans l'autre sens, c'est le cas contraire. C'est dans cette étage que se fait donc l'opération de filtrage. On va maintenant voir le schéma électrique de cet étage. Cette schéma est réalisé avec le logiciel KiCad. Le logiciel KiCad est un logiciel de traitement de schéma électrique et de circuit imprimé qui offre une infinité de possibilité car il possède une bibliothèque des différentes composantes. On a donc créé ce schéma électrique avec ce logiciel qui est très utilisé dans le monde professionnel :

L'entrée du signal se fait par les entrées numérotées 8 et 9. Chaque entrée correspond à un canal : l'entrée 9 pour le canal gauche et l'entrée 8 pour le canal droit. L'alimentation est effectuée par le fil numéro 5 et la masse numéro 6. Les sorties qui sont branchées aux entrées de l'amplificateur sont les fils numéro 1, 2, 3, et 4. Nous avons trois potentiomètre stéréo ici qui sont symbolisés par DUAL-POT dans notre schéma et un potentiomètre mono qui est symbolisé par POT. On trouve aussi un circuit intégré 4555D.

- Liste des composantes :

Pour réaliser ce montage, on a la liste des composantes avec leurs valeurs respectives :

Référence	Valeur
R1	3K Ω
R2	10 Ω
R3	3K Ω
R4	10 Ω
R5	10K Ω
R6	10K Ω
R7	10 Ω
R8	10 Ω
R9	47K Ω
R10	47 Ω
R11	10K Ω
R12	330 Ω
R13	1.5K Ω
R14	22K Ω
R15	22K Ω
R16	330 Ω
R17	1.5K Ω
R18	100K Ω
R19	100K Ω
R20	4.7 K Ω
R21	653 Ω
R22	4.7K Ω
R23	10K Ω
R24	10K Ω
R25	4.7K Ω
R26	4.7K Ω
C1	683 μ F
C2	683 μ F
C3	683 μ F
C4	683 μ F
C5	333 μ F
C6	333 μ F

C7	472 μ F
C8	472 μ F
C9	
C10	47 μ F
C11	47 μ F
C12	47 μ F
C13	47 μ F
C14	100 μ F
C15	100 μ F
C16	683 μ F
C17	683 μ F
C18	683 μ F
RV1	Potentiomètre stéréo B50K
RV2	Potentiomètre stéréo B50K
RV3	Potentiomètre mono
RV4	Potentiomètre stéréo B50K
IC1	Circuit intégré 4555D

3.4 L'étage amplificateur

C'est cette étage qui amplifie le signal audio pour alimenter les haut-parleurs. Cette étage possède des entrées et des sorties de signal. L'étage amplificateur a besoin d'être alimenté, la puissance générée est après dissipée en puissance utile et une perte due aux échauffements des composants. L'étage est fabriqué à partir des transistors mis en cascades. Il y a des transistors dites « transistor petit signal » qui amplifient d'abord le signal provenant du préamplificateur. Ces transistors ont des faibles impédances de sortie mais fortes gains. Après, les signaux sont amplifiés par des transistors, appelés « transistor de puissance ». L'impédance de sortie de ces transistors correspond aux impédances électriques des haut-parleurs. Ces transistors ont des gains faibles par rapport aux « transistors petits signaux ». Pour chaque transistor la polarisation est faite à l'aide des résistances et de condensateurs qui sont montés en série ou en dérivation selon le besoin. A la sortie de notre amplificateur, on peut brancher deux haut-parleurs d'impédance 38 Ohms. Notre amplificateur peut être décomposé en deux blocs symétriques. Chacun amplifie chaque canal. Chaque bloc est réalisé avec le montage suivant :

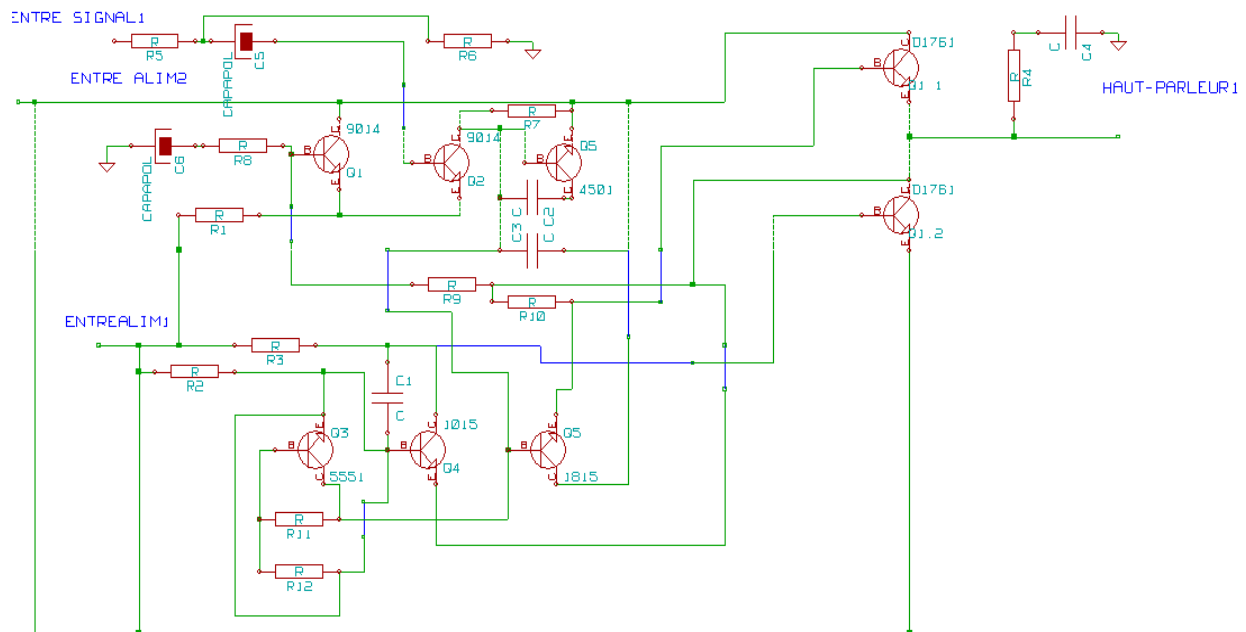


Figure 3.03 : Schéma électrique du canal gauche de l'amplificateur.

Dans ce schéma, les transistors Q_1 et Q_3 sont utilisés comme commutateur pour couper le courant en cas de surtension. Ici, ils ne jouent pas le rôle d'amplificateur mais ils assurent la sécurité du circuit tout entier. Certains transistors utilisés en amplificateur sont montés en collecteur commun. Cette montage est utilisé simultanément avec les transistors montés en émetteur commun pour avoir un bon résultat. Ce montage a une impédance de sortie faible. Il est donc mieux adapté aux charges faibles que l'émetteur commun. En plus, la distorsion est plus faible que pour l'émetteur commun. Les transistors qui font l'amplification finale sont ici les transistors Q_1 et Q_3 . Ces transistors ont la référence D1761. L'étage amplificateur contenant les deux canaux est représenté par le schéma électrique suivant :

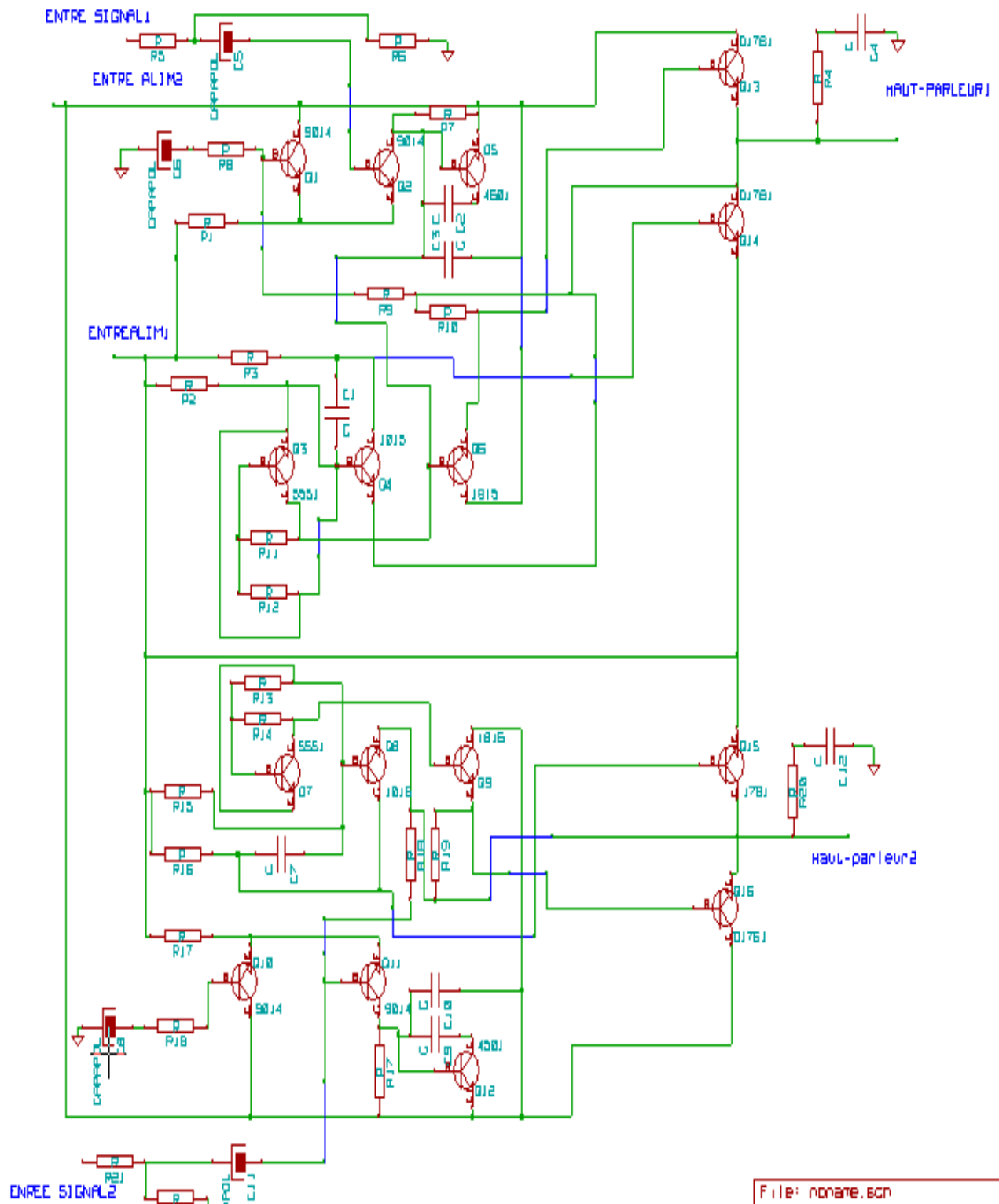


Figure 3.04 : Amplificateur complet

Pour réaliser cet amplificateur, la liste des composants sont donnée avec leur valeur respectif.

- Liste des composants :

Référence	Valeur
R1	33K Ω
R2	4.7K Ω
R3	470 Ω
R4	10K Ω
R5	33 Ω
R6	33K Ω
R7	4.7K Ω
R8	1K Ω
R9	33K Ω
R10	470 Ω
R11	470 Ω
R12	1K Ω
R13	1K Ω
R14	470 Ω
R15	4.7K Ω
R16	470 Ω
R17	4.7K Ω
R18	33K Ω
R19	470K Ω
R20	10K Ω
R21	33 Ω
R22	33K Ω
C1	101 μ F
C2	101 μ F
C3	101 μ F
C4	104 μ F
C5	4.7 μ F
C6	4.7 μ F
C7	10 μ F
C8	4.7 μ F
C9	101 μ F
C10	101 μ F
C11	4.7 μ F

C12	104 μ F
Q1	Transistor S9014
Q2	Transistor S9014
Q3	Transistor 2N5551
Q4	Transistor C1015
Q5	Transistor 2N4501
Q6	Transistor A1815
Q7	Transistor 2N5551
Q8	Transistor C1015
Q9	Transistor A1815
Q10	Transistor S9014
Q11	Transistor S9014
Q12	Transistor 2N4501
Q13	Transistor D1761
Q14	Transistor D1761
Q15	Transistor D1761
Q16	Transistor D1761

3.5 Réalisation

Dans ce dernière paragraphe, on va parler de la réalisation de notre amplificateur. Pour la réalisation, l'alimentation, le préamplificateur, et l'amplificateur sont mises sur la même plaquettes. Les étapes de la réalisation peuvent être divisé en plusieurs étapes :

- Dessin sur papier de la forme approximative de la plaquette :

On dessine tous les formes des composantes ainsi que leurs pattes. Puis on fait à l'aide d'un crayon tous les liaisons entre chaque composante. Après, on modifie pour minimiser l'utilisation des fils externes.

- Préparation de la plaquette :

Après avoir réalisé sur le papier la disposition respective de chaque composante, on trace sur le cuivre chaque connexion, puis on enlève les cuivres que l'on n'a pas besoin. Et enfin, on creuse des petits trous pour chaque composant.

- Mise en place de chaque composant

On met en place chaque composante dans leur place respective en respectant l'orientation. On commence par les composantes à plusieurs électrodes comme le circuit intégré et les transistors, puis on termine avec les composantes comme les transistors et les condensateurs simples.

- La soudure

On chauffe le fer à souder, puis on le frotte avec un papier-abrasif pour enlever les oxydations et les saletés. On nettoie en même temps le plaque de cuivres et la patte des composantes à souder. Puis on chauffe d'abord le plaques de cuivre et la patte pendant 3 seconde ; on approche la soudure et on fait fondre un peu de soudure. Enfin, on attend 5 seconde pour que le fumé disparaisse avant d'enlever le fer à souder.

Après ces étapes, on vérifie qu'il n'y pas de soudure qui pourrait entrainer un court-circuit. Pour l'amplificateur, on a obtenu le circuit imprimé avec les soudures dans la figure suivant :

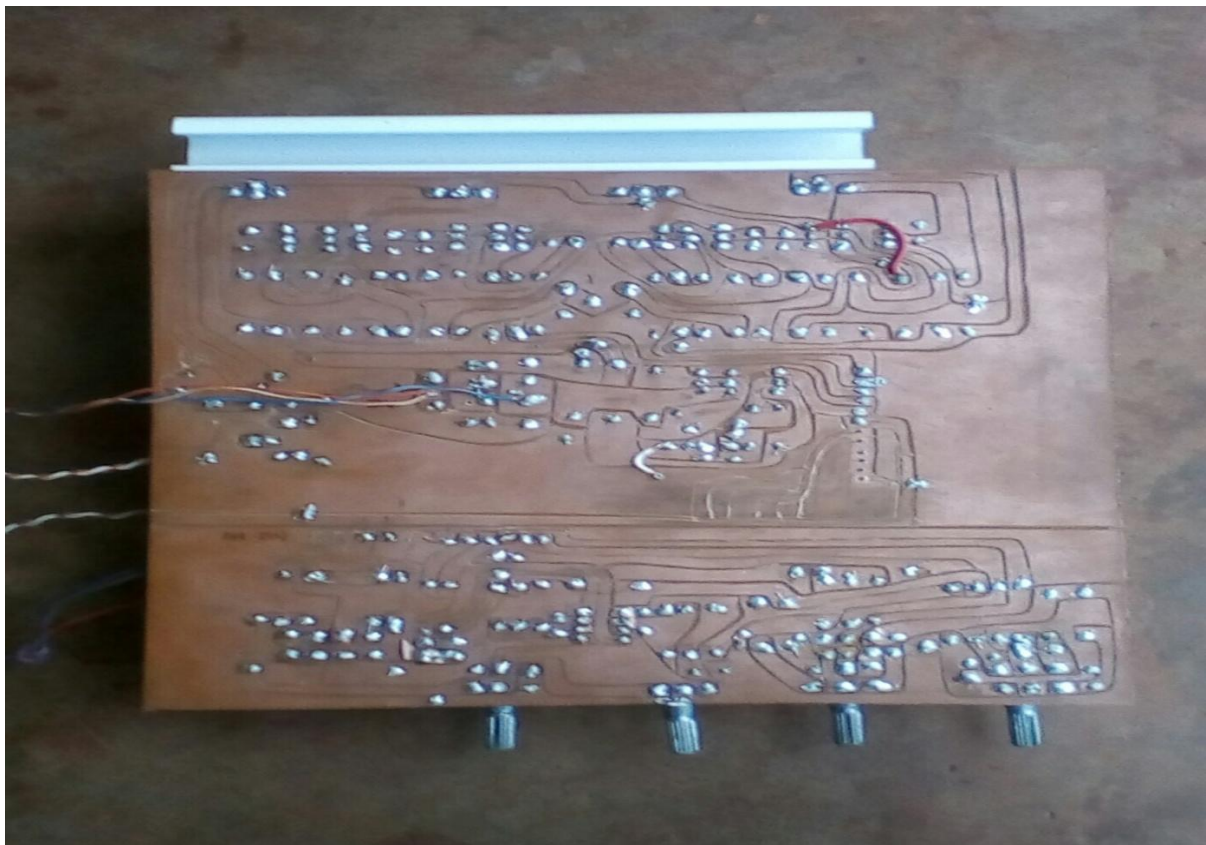


Figure 3.05 : *Circuit imprimé avec les soudures de l'amplificateur*

Dans la partie inférieure, on trouve le préamplificateur avec les quatre potentiomètres. Au milieu, on trouve l'alimentation avec les fils qui sont reliés avec le transformateurs. La partie supérieure constitue l'étage amplificateur et le refroidisseur. Le refroidisseur est une poutrelle en Aluminium fixé aux transistors avec des vices. La partie composantes est représenté par la figure suivante :

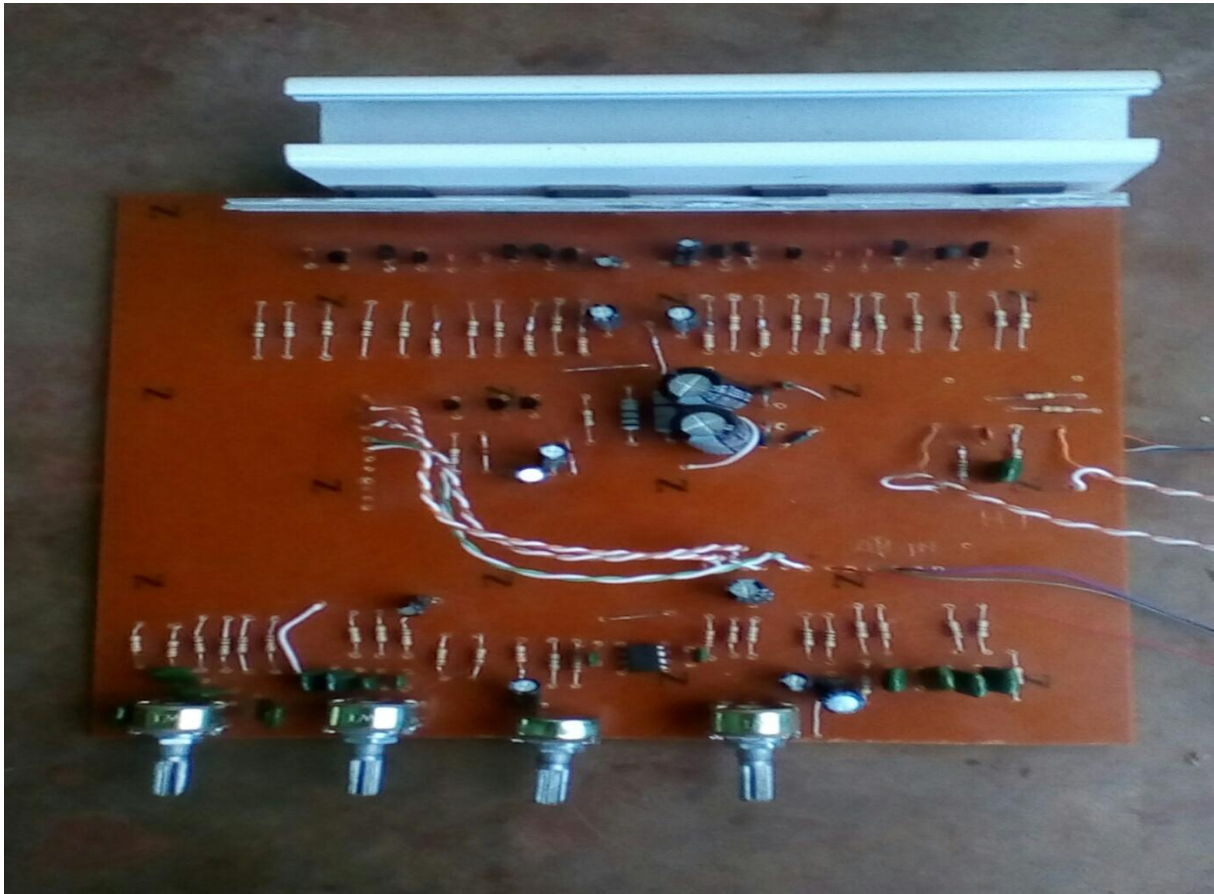


Figure 3.06 : *Coté composantes de l'ensemble alimentation, préamplificateur, et amplificateur*

On a donc pu voir dans ce dernière chapitre la réalisation d'un amplificateur complet. Constitué d'un étage préamplificateur dotée de faire le filtrage souhaité ainsi que le contrôle de volume.

- Caractéristique de notre amplificateur :

Alimentation	220V/50Hz
Puissance de sortie	200Watt
Gain	350 fois

3.6 Conclusion

Lors de cette réalisation, on a conçu un amplificateur de puissance moyenne qui peut être alimenté par le courant du secteur et qui peut alimenter deux haut-parleurs de 38 ohms. Le dispositif est constitué de deux étages : une étage préamplificateur et une étage amplificateur. L'étage préamplificateur joue le rôle d'un contrôleur : on peut faire le choix de canal, le contrôle de volume, sélection de fréquence. L'étage amplificateur s'occupe de la multiplication de puissance. Ces deux étages sont implémentés dans le même plaque de cuivre.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, on a parlé un peu de signal acoustique ou plus précisément le son. On a vu ses paramètres et ses propriétés caractéristiques. On a aussi détaillé les étapes subit par un signal à amplifier. On a vu la conversion de l'onde acoustique en électricité appelé signal audio par l'intermédiaire d'un Microphone. Puis la restitution de l'onde acoustique à partir d'un signal audio par le biais d'un dispositif appelé Haut-Parleurs. Les caractéristiques de ces deux dispositifs et les différents types de modèles selon le principe de fonctionnement ont été détaillé. Dans la seconde partie, les différents étage d'un amplificateur en générale ont été étudiés. On a vu les différents types de filtres analogiques. Il y a deux type fondamentale de filtre : le filtre passif et le filtre actif. On a développé particulièrement les différentes sortes de filtres passif. Les différentes sortes de filtre sont les suivants : le filtre Passe-Bas, le filtre Passe-Haut, le filtre Passe-Bande et le filtre Coupe-Bande. Ensuite, nous avons étudié un composant principal quand on parle d'amplificateur. C'est le transistor. Ce composant peut faire divers fonction selon la tension et le courant qu'on applique à ses bornes. Un transistor peut servir d'un commutateur et d'un amplificateur. Le choix de tension et du courant appliqué aux bornes d'un transistor s'appelle la polarisation. Et c'est en fonction de cette polarisation que le transistor va travailler après. Et après, on a parlé deux différents classes d'étage finale d'amplificateur : l'amplificateur classe A et l'amplificateur classe B. Pour un amplificateur classe A, le point de fonctionnement se trouve au milieu de la droite de décharge et le signal amplifié oscille autour de la tension ou courant de polarisation. C'est un amplificateur à haute-fidélité mais avec un rendement faible. Pour la classe B, le point de fonctionnement se trouve à la limite de blocage. Un seul transistor n'amplifie donc qu'une demi-oscillation. Donc on a introduit le principe de montage « push-pull » qui fait intervenir deux type de transistor, l'un du type NPN et l'autre du type PNP. Ces deux transistors travaillent alternativement chaque demi-période. Mais la classe B représente un grand défaut qui est la distorsion de « cross-over ». La distorsion de cross-over est un problème de non linéarité du signal. On a donc introduit l'amplificateur de classe AB qui utilise une tension de polarisation qui n'est pas constante pour avoir une linéarité du signal de sortie. Et dans notre réalisation, on a conçu un amplificateur complet avec des potentiomètres de contrôle qui peut augmenter ou diminuer le volume. De contrôle de basse et de medium sont aussi installé. C'est un amplificateur qui peut faire marcher deux haut-parleur.

On peut donc conclure que la conception d'un amplificateur nécessite la connaissance de chaque étape qui est indispensable pour avoir un rendement élevé et un signal très fidèle. Comme en

analogique, on ne peut pas faire beaucoup de traitement de signal, il 'est donc nécessaire dans le future de concevoir des amplificateurs du type numérique qui pourra à la fois délivrer une puissance élevée avec fidélité. Cette intégration du monde numérique pourra améliorer la performance des amplificateurs

ANNEXE 1 MONTAGE COLLECTEUR COMMUN

C'est un autre montage pour un amplificateur classe A. L'étage de sortie d'un amplificateur à collecteur commun se présente sous la forme illustrée par la figure suivante :

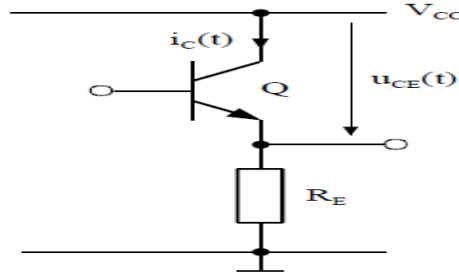


Figure A1.01: Amplificateur classe A : Montage émetteur commun

Pour ce montage, la polarisation est définie par les relations suivantes :

$$U_{E0} = U_{B0} - U_J$$

$$U_{CE0} = V_{CC} - U_{E0}$$

$$I_C \cong I_{E0} = \frac{U_{E0}}{R_E}$$

Par rapport au montage à émetteur commun, le montage à collecteur commun présente deux avantages. Premièrement, l'impédance de sortie est faible, ce qui implique qu'il est mieux adapté au charge faible. Deuxièmement, il présente une distorsion plus faible que le montage à émetteur commun. Les autres caractéristiques sont comparables à celles de l'émetteur commun. L'étude des puissances dissipées est en tous points comparable à celle de montage émetteur commun, excepté que la chute de tension apparaît aux bornes de R_E au lieu de R_C . [11]

Le réseau de caractéristique de ce montage est représenté par la figure suivant :

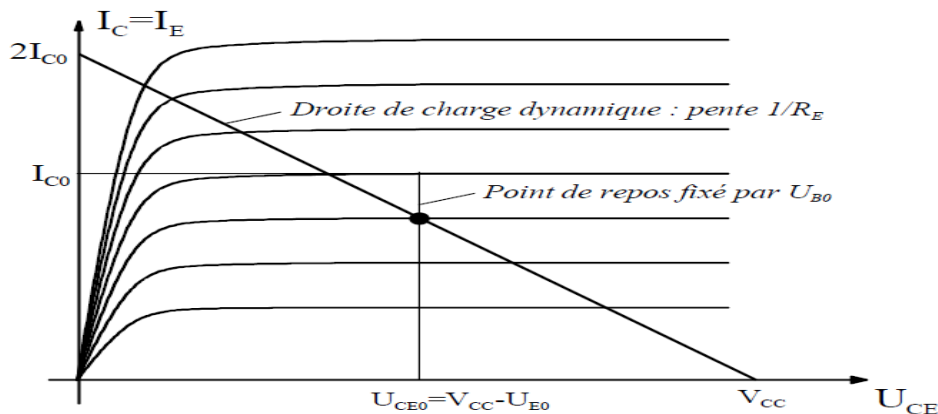


Figure A1.02: Droite de charge et polarisation d'un montage à émetteur commun

Les conditions, pour une valeur déterminée de R_E sont un points de fonctionnement au milieu de la droite de charge $U_{E0} = \frac{V_{CC}}{2}$ et une amplitude maximale du signal $\hat{U}_E = \frac{V_{CC}}{2}$. On peut avoir la comparaison des puissances de polarisation(repos) et à condition de rendement maximum η_{max} :

		Au repos	Avec η_{max}
Puissance dissipée par le transistor Q	P_Q	$\frac{V_{CC} \times I_{C0}}{2}$	$\frac{V_{CC} \times I_{C0}}{4}$
Puissance totale dans la charge	P_{RL}	$\frac{V_{CC} \times I_{C0}}{2}$	$3 \times \frac{V_{CC} \times I_{C0}}{2}$
Puissance fournie par l'alimentation	P_{TOT}	$V_{CC} \times I_{C0}$	$V_{CC} \times I_{C0}$

Tableau A1.01: *Comparaison de puissance au repos et avec η_{max}*

Ce qui nous conduit à dire que $\eta_{max} = 25\%$

ANNEXE 2 L'AMPLIFICATEUR CLASSE C ET D ET LE TRANSISTOR

B1047

A2.01 Amplificateur classe C

Les amplificateurs de classe C sont des amplificateurs non-linéaires à très haut rendement. Ils sont toutefois utilisables que dans les amplificateurs HF (émetteur radio) avec des porteuses non modulées en amplitude. Ils génèrent un nombre considérable d'harmoniques qui doivent être filtrées à la sortie à l'aide de circuits accordés appropriés.[12][13] Le montage d'un tel amplificateur est la suivante :

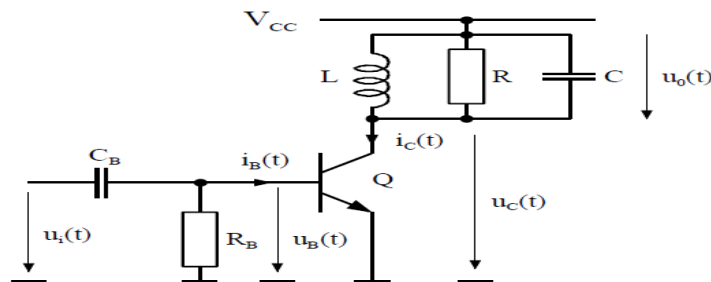


Figure A2.01: Amplificateur classe C

- Utilisation :

Les amplificateurs de classe C sont utilisées comme étage de sortie dans les émetteurs radiophoniques, comme multiplicateurs de fréquence du signal d'entrée (la fréquence d'accord du circuit résonnant est alors un multiple de la fréquence du signal d'entrée), comme étage de sortie dans les installations de chauffage haute fréquence, etc...

A2.02 L'amplificateur classe D

Les amplificateurs de classe D sont des amplificateurs travaillant en commutation. Le signal à amplifier est préalablement transformé en un signal rectangulaire de fréquence de pulsation f_p dont le rapport cyclique est proportionnel à la valeur moyenne glissante sur une période de pulsation T_p . Ce type de modulation est appelé modulation de largeur d'impulsion MLI (PWM

Pulse Width Modulation).

Le signal rectangulaire résultant est directement utilisé pour attaquer les transistors de sortie qui sont généralement de type MOS pour les fréquences supérieures à 50kHz. La sortie de l'étage de puissance est suivie d'un filtre BF qui restitue un signal semblable à celui d'entrée. Les amplificateurs de classe D ont des rendements élevés et sont de fidélité moyenne. Ils sont

utilisés dans les autoradios. [12][13] Le montage générale d'un tel amplificateur est illustré par la figure suivante :

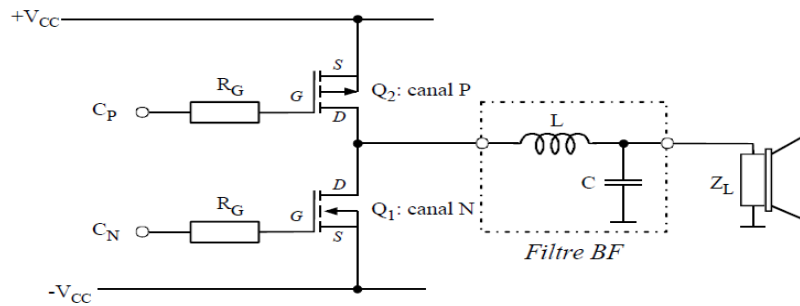


Figure A2.02: Montage d'un amplificateur classe D

La droite de charge classique pour les amplificateurs de classe A et AB est remplacée par deux points de fonctionnement correspondants aux deux états de sortie possibles des transistors MOS comme le montre la figure suivante :

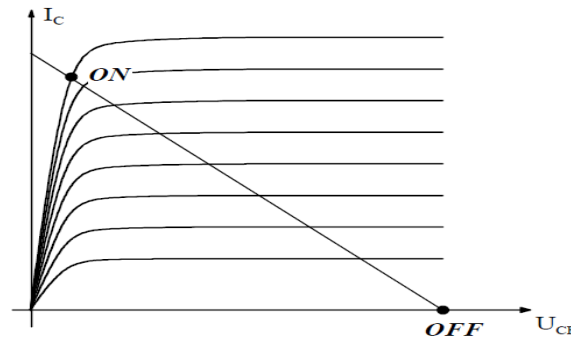


Figure A2.03: Points de fonctionnement d'un amplificateur classe D

A2 .03 Caractéristique du transistor D1047

C'est un transistor de puissance de type NPN. Les caractéristiques et les mesures de protection pour un bon fonctionnement seront t détaillé dans cette annexe.

La tension émetteur-collecteur maximale est de $V_{CE0} = 140 \text{ V}$. ce transistors a un fréquence maximale ,noté f_t , de fonctionnement de 20 MHz et une température maximale de 125° . Ce type de transistor est conçu spécialement pour l'amplification de signal. La figure ci-dessous montre la forme réelle et la représentation schématique d'un transistor D1047 :

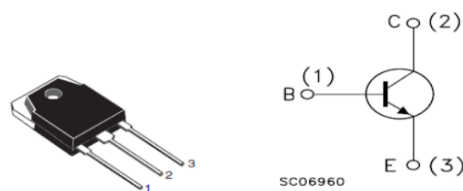


Figure A2.04: Schéma d'un transistor D1047

Tous les autres caractéristiques de ce transistor sont résumés dans le tableau suivant :

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-base voltage ($I_E = 0$)	200	V
V_{CEO}	Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	140	V
V_{EBO}	Emitter-base voltage ($I_C = 0$)	6	V
I_C	Collector current	12	A
I_{CM}	Collector peak current ($t_p < 5$ ms)	20	A
P_{tot}	Total dissipation at $T_c = 25$ °C	100	W
T_{stg}	Storage temperature	-65 to 150	°C
T_J	Max. operating junction temperature	150	°C

Tableau A2.01: *Tableau caractéristique du transistor D1047*

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P.Snoeck, « *Cours de Sonorisation* », Version 2009
- [2] D. Mercier, « *Le livre des techniques du son* », L'exploitation Tome3, 4^e édition DUNOD
- [3] S.Balez/N.REMY, « *Introduction à l'acoustique* »,Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
- [4] D. Benoit, « *Les microphones* », Edition 1997
- [5] S.Czar Antoine, « *Le Haut-Parleur* », EMC 2008-2009
- [6] F.Sincère, « *Cours d'électronique analogique* », Version 2.0.1
- [7] J. Yves FOURNIOLS , « *Circuit électronique II* », Département Génie Electrique et Informatique INSA Toulouse, janvier 2000
- [8] B.François, « *Applications des amplificateurs opérationnel au filtrage* »
- [9] P. MASSON , « *Le transistor bipolaire* », Ecole polytechnique Universitaire de Nice Sophia Antipolis, Edition 2015-2016
- [10] F. MATHIEU, « *Les transistors et leurs applications* »
- [11] F. Sincère, « *Cours d'électronique* », Version 1.0.1
- [12] M. CORREVON, « *Les système électronique* », Haute Ecole de Suisse Occidentale et Institut d'Automatisation Industrielle
- [13] G.COUTIRIER, « *Amplificateurs Audio fréquence* », département GEII, IUT Bordeaux 1
- [14] S. BOUVOT et R. CALVIGNAC , « *Amplificateur Audio* » Juin 2011
- [15] J.B. HAGEN, « *L'électronique de Hautes fréquences* », National Astronomy and Ionosphere center , Cornell University
- [16] www.polytech-lille.fr

FICHE DE RENSEIGNEMENTS :

Nom : ANDRIAMANOHISOA

Prénom : Hery zo Jean Baptiste

Adresse de l'auteur : AmbohimasyII Belazao

ANTSIRABE II-MADAGASCAR

Tel : +261341850263

E-mail : herzu.andriamanohisoa@gmail.com



Titre du mémoire :

« **MODELISATION D'UN AMPLIFICATEUR AUDIO** »

Nombre de page : 82

Nombre de Tableau : 5

Nombre de Figure : 66

Directeur de mémoire :

Nom : ANDRIAMIAJARISON

Prénom : Jimmy

Téléphone : +261 34 76 457 75

RESUME

Le besoin de parler au grand public est omniprésent dans notre monde moderne. On peut citer comme exemple : le prêtre ou le pasteur avec ses paroissiens, le musicien avec ses fans...L'intégration de l'électronique dans les tâches quotidiennes a donc poussé cette limite et a permis de résoudre ce problème. Une chaîne de traitement est mise au point par les électroniciens. On y trouve la conversion du signal et l'amplification. L'amplification est réalisée par un transistor qui est un composant actif et qui son rôle dépend de la polarisation.

Mots clefs :

Polarisation, gain, bande passante, signal audio, filtre

ABSTRACT

The need of speaking to a great multitude is everywhere in the modern world. We can talk as example: the Priest or the Pastor with their paroissian, the musician with his fans...The integration of electronic in the daily task had given a new solution to this problem. A chain of process is elaborated by the electrician to solve this problem. This chain contains the translation of the signal and the process of amplifying. The amplification is realized by a component called transistor which is an active component and whose uses depend of the polarization.

Key-words:

Polarization, gain, pass band, audio signal, filter