

INTITULE DU PROJET



Etudiants :

Clément AUZOU

Ke Jun HU

Sylvain CHAREYRE

Frédéric MICOLON

Loïc JEANSON

Jean-Pierre YIN

Enseignant-responsable du projet :

François GUILLOTIN

Date de remise du rapport : 23/06/09

Référence du projet : STPI/P6-3/2009 – 18

Intitulé du projet : Amplificateur de puissance à transistor.

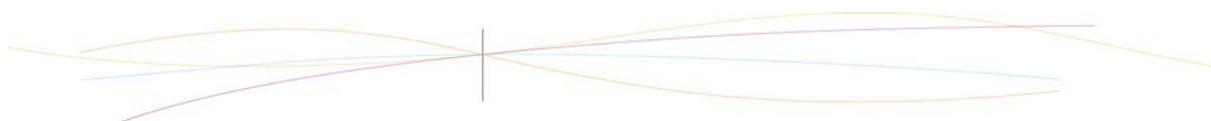
Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Nous sommes un groupe d'étudiants, rassemblés autour d'une passion commune : La Musique. Nous nous sommes donc concertés pour réaliser un projet en physique conciliant plaisir et connaissances. L'objectif initial était de comprendre quel était le contenu réel des objets que nous côtoyons tous les jours (guitares, amplis, synthés...), comment se traduisait physiquement – ou électroniquement – les échanges entre les différents objets créant ou restituant la musique. Réaliser un combo ampli-enceinte nous permettait de tout combiner : les problématiques de l'acquisition du signal, son traitement (amplification et pré-amplification principalement) et enfin générer fidèlement les ondes sonores correspondantes.

Préface	6
Introduction et a priori.....	6
Pré-ampliFicateur.....	8
Pourquoi un préampli ?	8
Les préamplis à transistors.....	8
Les préamplis à lampes.	9
Les caractéristiques mises en avant pour un préamplificateur :	9
Réglage des préamplis à transistors.....	9
Présentation de notre montage :	12
Ampli de puissance	14
Role.....	14
Definitions	14
Rendement.....	14
Distorsion	14
Classification des amplificateurs de puissance.....	15
Classe A	15
Classe B	16
Classe AB.....	16
Classe C	16
Montage push-pull	17
Bilan des puissances.....	17
Attaque des amplificateurs Push-pull	18
Alimentation	19
1er étage : <i>Transformateur</i>	19
2e étage : Redressement	20
3E étage : Redressement sur charge capacitive – Condensateur de filtrage.....	21
4E étage (et dernier...) : Régulation.....	22
Symétriser l'alimentation	23
Enceinte + caisson.....	25

Enceinte	25
Haut Parleur.....	25
Connectiques	26
Caisson.....	27
Dossier de fabrication	Erreur ! Signet non défini.
- les circuits imprimés fabriqués.....	Erreur ! Signet non défini.
- les essais	Erreur ! Signet non défini.
- Mise en boîtier.....	Erreur ! Signet non défini.
Méthodologie / Organisation du travail	29
Limites et contraintes du projet.....	29
Remerciements	29
Conclusions et perspectives.....	30
Bibliographie	31
Annexes (non obligatoire).....	Erreur ! Signet non défini.
Documentation technique.....	Erreur ! Signet non défini.
Listings des programmes réalisés	Erreur ! Signet non défini.
Schémas de montages, plans de conception.....	Erreur ! Signet non défini.
Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)	Erreur ! Signet non défini.



PREFACE

Le contenu de ce rapport a pour visée d'établir objectivement le travail réalisé lors de ce projet de physique. Notre connaissance initiale en électronique étant relativement disparate, il a fallu un temps initial pour que chacun trouve sa place dans le projet. Ce projet mêle également différentes cultures et différents parcours. Bien que cela n'apparaisse pas dans la suite du rapport, il nous a enrichis de la découverte de l'autre et de son expérience.

Ce projet nous a demandé de découvrir des logiciels de conception de circuits imprimés. Il était source de connaissances techniques pures (manipulations de logiciels, de composants...) au même titre qu'apport théorique (en nous faisant revoir nos cours d'électricité et nous faisant découvrir la diversité de l'électronique et de l'électrotechnique).

INTRODUCTION ET A PRIORI

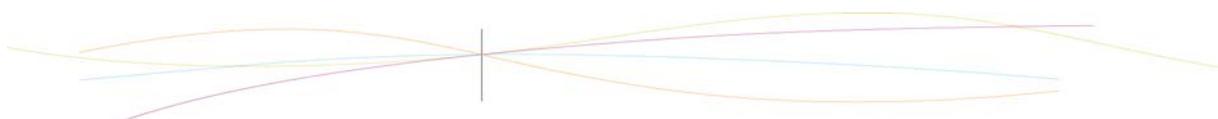
SYLVAIN...

Dès le départ, je me doutais que ce projet serait très intéressant. L'amplification audio est présente de partout autour de nous aujourd'hui et il me semblait tout à fait intéressant de comprendre son fonctionnement. Comment passer d'un signal analogique de tension en un signal acoustique audible ?

Deuxièmement, en tant que guitariste, de formation classique cependant, l'univers de l'ampli de guitare électrique m'était familier de part mes amis musiciens et il est vrai que je connaissais très peu cet univers. Lorsque des amis me disaient, « whaouh trop cool, je viens d'acheter un ampli de guitare basse Marshall de 500W RMS ! », je n'avais aucune idée de ce que cela représentait concrètement, matériellement.

Enfin à l'INSA, nous n'avons jamais étudié le lien entre l'électronique et l'acoustique qui est assez complexe, mais très intéressant cependant.

C'est donc dans une optique de découvrir quelque chose de nouveau, un fonctionnement inconnu, mais très courant en revanche, que je me suis lancé dans l'aventure de modéliser un ampli, qui fasse la liaison entre la guitare et l'enceinte...



CLEMENT

L'objectif de base de ce projet était de se pencher sur la construction d'un amplificateur de puissance. Nous n'avions à la base que très peu de connaissances dans le sujet. Le but réel était évidemment de comprendre comment fonctionnait l'amplification et comment cela s'appliquait en électronique. Nous sommes partis sur un amplification à transistor car l'amplification à lampe présentait des nouvelles problématiques (alimentation en haut tension des lampes etc.) et que pour la plupart nous n'avions aucune expérience pratique dans le domaine. Il faut également souligner que le sujet a été accepté par M. Guillotin. En effet celui-ci a validé ce projet qui n'était pas initialement proposé et donc je souhaitais le remercier de bien avoir voulu s'adapter à notre demande avant même le début du projet..

FREDERIC

Le sujet de P6, ne devait pas, a mon sens poser de problèmes particuliers.

Cependant je pensais qu'un certain nombre de choix technologiques seraient laissés à notre discrétion, et qu'il nous aurait fallu nous plonger dans la technologie du transistor pour apprendre et maîtriser les arcanes de l'amplification de puissance.

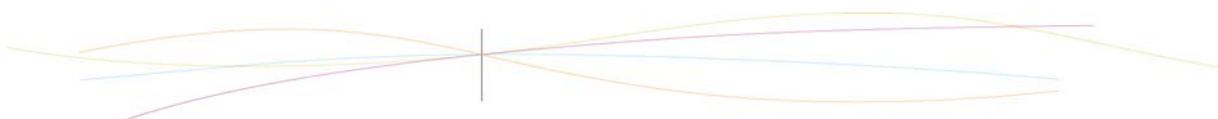
Travail fondamental sur les notions et les composants actifs les plus importants en électronique, relative complexité du travail à fournir tout en étant dans un cadre bien maîtrisé et où nos questions ne seraient pas restés éternellement sans réponses.

Vous l'aurez compris, c'est un projet de P6-3 pour des 2^e années du cycle préparatoire à l'INSA qui est résumé et commenté dans ces quelques pages. A raison d'une séance d'une heure et demie par semaine (souvent dépassée lorsque nous étions pris dans le feu de l'action), pendant 14 semaines, nous avons mené à terme ce projet.

Les objectifs sont nombreux comme nous l'avons vu page 3. L'objectif principal était, sans aucune prétention de production, de comprendre comment l'amplification audio fonctionnait et – si possible- réaliser un combo ampli-enceinte fonctionnel. Le projet n'était pas initialement prévu dans le cadre de la P6-3, nous n'avions alors aucun recul pour savoir si le timing était probable.

C'est une équipe passionnée de musique qui s'est constituée autour de cet objectif. Lier plaisir et apport de connaissances est toujours plus profitable et plus rentable. La motivation vient d'autant plus que le sujet de base nous affecte.

Très pragmatiquement, nous suivrons dans ce rapport le chemin parcouru pas le signal tout au long de son amplification. C'est ainsi que dans un premier temps, nous passerons par le module de pré amplification. S'ensuivra en toute logique la partie amplification de puissance.



PRE-AMPLIFICATEUR

Rappelons le chaînon ultime qui permet au guitariste de se faire entendre :

1. Le médiator frappe la corde, elle vibre.
2. Cette vibration est transformée en un signal électrique par les micros de la guitare.
3. Le signal, de très faible niveau, est orienté vers l'ampli via le jack.

Le maillon suivant est l'étape de la « pré amplification », que nous allons à présent étudier. En deux mots, si le microphone produit le son, le préampli se charge de le rendre utilisable.



POURQUOI UN PREAMPLI ?

Un microphone de guitare électrique transforme une onde acoustique en signal électrique. Ce niveau est très faible. En règle générale, les microphones ont un niveau de sortie de l'ordre de -40 à -60 dB volts, que le préampli se charge de rehausser. Car toute la richesse du préampli et qu'il ne s'occupe pas seulement d'amplifier le signal issu du micro, mais le transforme également ! Il peut le rendre plus clair, plus chaud, et inverser le signal par exemple.

Comment ça marche ?

Les préamplis se divisent en deux grandes familles :

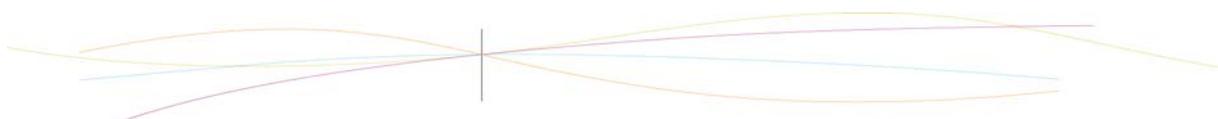
- ✓ Les préamplis à transistors (JFET ou MOSFET), une technologie récente et robuste.
- ✓ Les préamplis à lampe, au son chaud et vintage (très recherché parfois)

LES PREAMPLIS A TRANSISTORS.

Le transistor : Il est généralement très petit, et très simple à mettre en œuvre : c'est donc le composant idéal des préamplis pour effectuer une amplification en courant.

Défaut:

Dans un univers numérique, le son sorti du préampli est clair, et donne une impression "chirurgicale", il est trop propre, trop froid.



LES PREAMPLIS A LAMPES.

Qu'est-ce qu'une lampe ? Non, ce n'est pas une ampoule électrique, en tout cas, pas ici. Mais ce composant doit son nom à un filament de chauffe placé au centre du tube, et légèrement incandescent. C'est l'ancêtre du transistor, son fonctionnement est similaire, mais en lieu et place du silicium, il y a du vide (on appelle aussi ces composants des "tubes à vide"). C'est à base de tubes qu'ont été réalisés les premiers équipements de studio. Le tube a donc une valeur très sentimentale pour les amateurs de rock et blues, car il produit un son très caractéristique de l'époque: une légère distorsion et une bosse dans les aigus. Ce son n'est d'ailleurs pas seulement dû au tube, mais aux condensateurs utilisés en amont et aval du tube



Défaut:

Ils nécessitent de très hautes tensions pour fonctionner (50 à 300v pour une triode, jusqu'à 1000v pour une pentode !), et en plus d'être encombrant, ils chauffent et consomment beaucoup d'énergie. Si malgré cela les préamplis à lampes sont toujours là, c'est en raison de leur son inimitable. Et les appareils les mieux conçus se négocient à prix d'or, parfois à plus de 3000 euros pour un seul canal !

LES CARACTERISTIQUES MISES EN AVANT POUR UN PREAMPLIFICATEUR :

Il existe deux caractéristiques principales pour les préamplificateurs :

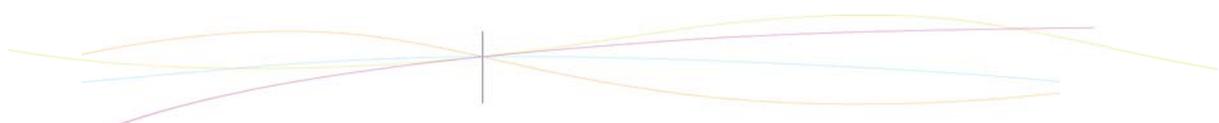
- _____ Le rapport son sur bruit : (S/N) donné en décibels, plus il est haut, plus il est bon, généralement aux alentours de 90 dB ; (ou le niveau de bruit, alors donné en négatif, plus il est bas, plus il est bon).
- le taux de distorsion : (Logiquement) : plus il est faible, plus il est bon.

En effet, ces deux caractéristiques permettent de quantifier la manière dont est modifié le signal issu du microphone, notons cependant que leur mesure reste relativement imprécise.

REGLAGE DES PREAMPLIS A TRANSISTORS.

Ces appareils fourmillent de petits boutons au sens mystérieux que nous allons démystifier.

Le connecteur "IN" :
C'est la prise où on connecte le microphone : XLR pour des connections ; ou Jack.



Un bouton, ou PAD d'atténuation, généralement -20 dB :
 Les prises de sons sur des instruments aux volumes élevés (amplis de guitare/basse, batteries) peuvent nécessiter une atténuation. L'utilisation de l'ampli en boîte de directe (Niveau Instrument -> Niveau micro) passe aussi par l'activation d'un tel bouton.

Un potentiomètre de gain :
 C'est lui qui va précisément commander l'étage de préamplification.

Un VU-mètre :
 Il indique le niveau du signal en sortie de l'étage de préamplification. Il permet d'éviter toute saturation qui pourrait dégrader le signal (effet qui peut s'avérer intéressant).

Un bouton d'inversion du signal ("Invert") :
 Il permet d'inverser le signal (opérer une modification de la phase de -180°).

Un dernier potentiomètre :
 Il est très utile dans le cas des amplificateurs à tube. On peut choisir de pousser au maximum l'amplification du circuit à tube pour forcer l'effet de distorsion, et choisir d'atténuer le signal par la suite.

Le connecteur "out" :
 Il sert à brancher le préampli à la console ou la carte son.

En plus de ces boutons génériques, chaque préampli peut avoir ses propres fonctions.

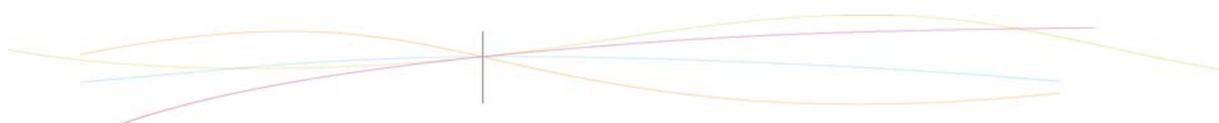
En fait, c'est le son recherché qui détermine l'ampli et le préampli !

Pour les styles comme le blues, le jazz, et les voix suaves :
 On préférera un préampli à tube, de plus ou moins bonne qualité selon le budget, associé à un micro statique.

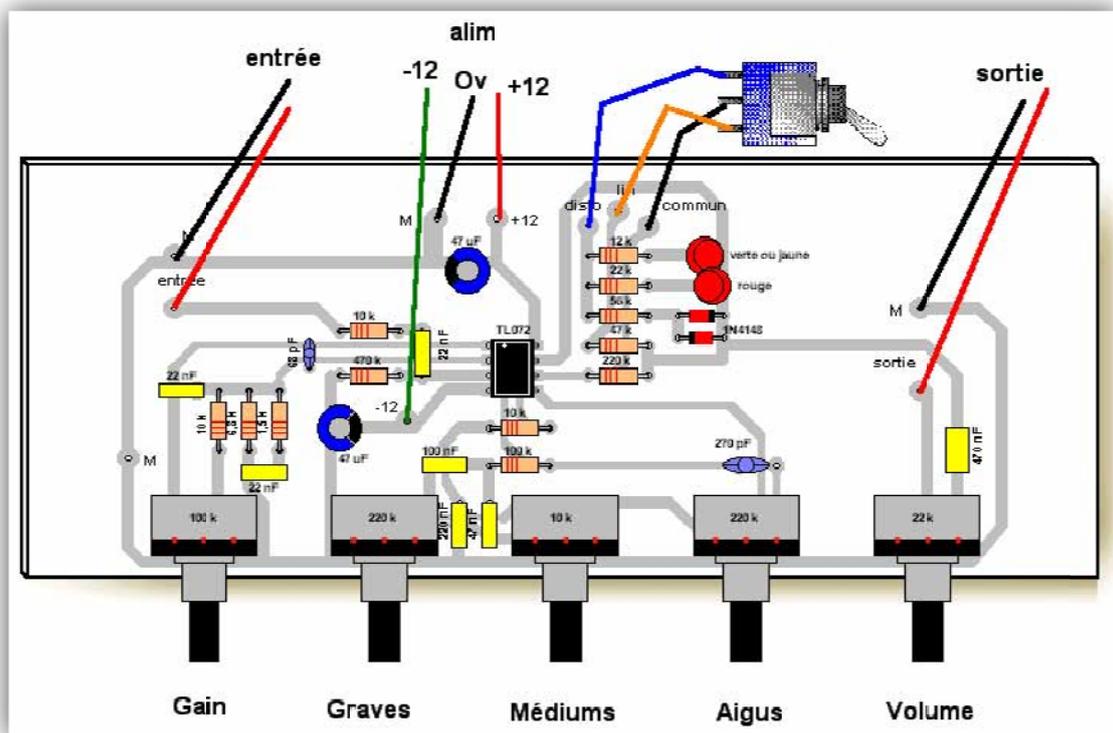
Pour la scène :
 La taille réduite et le faible coût des préamplis à transistors en font des éléments de choix dans ce genre de situations où les oreilles des spectateurs ne seront pas aussi exigeantes que chez eux entraînant d'écouter un CD.

Pour les prises de guitare et de basse électriques :
 Un préampli à tube ajoutera de la profondeur au son, mais un préampli à transistors pourra suffire, étant donné que le but est de restituer le plus fidèlement possible le son en sortie de l'ampli de l'instrument.

Enfin, pour les prises acoustiques,
 Les propriétés générales d'un préampli seront plus importantes que sa technologie : on y cherche le moins de bruit et de distorsion possibles. Un préampli à transistor de classe A (le meilleur en termes de « propreté du son ») donnera peut-être un meilleur son, mais sera aussi plus cher qu'un préampli à lampe de milieu de gamme.



En résumé, le préamplificateur est un des 3 étages d'un ampli de guitare électrique qui permet de mettre en forme le signal reçu en sortie de la guitare. Il sculpte le signal afin que ce-dernier puisse être exploité par l'élément essentiel de l'ampli, l'amplificateur de puissance. C'est une étape très importante si l'on veut obtenir un son pur et clair comme avec une guitare acoustique, mais beaucoup moins importante si l'on veut confectionner un simple ampli de guitare électrique artisanal.

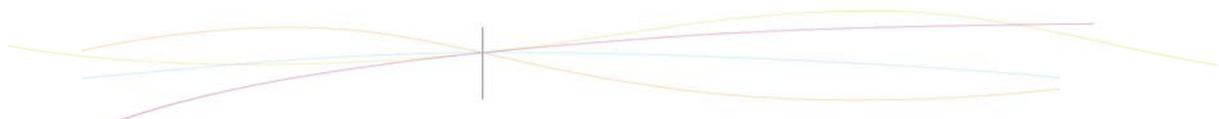


Réalisation d'un montage préamplificateur élaboré présent dans des amplis de grandes marques :

Ce préamplificateur est constitué de :

- Entrée à impédance élevée. Le gain de l'étage d'entrée est réglable par le potentiomètre. On peut aussi jouer ainsi sur le niveau de saturation.
- On trouve ensuite l'étage de correction à trois bandes : graves, médiums, aigus. Le dernier étage fabrique la distorsion, pas trop agressive grâce à une combinaison de diodes à seuils différents.
- Un commutateur permet de mettre la distorsion en fonction ou de la désactiver.

Le réglage du niveau de sortie se fait par un potentiomètre de volume, à variation logarithmique.



PRESENTATION DE NOTRE MONTAGE :

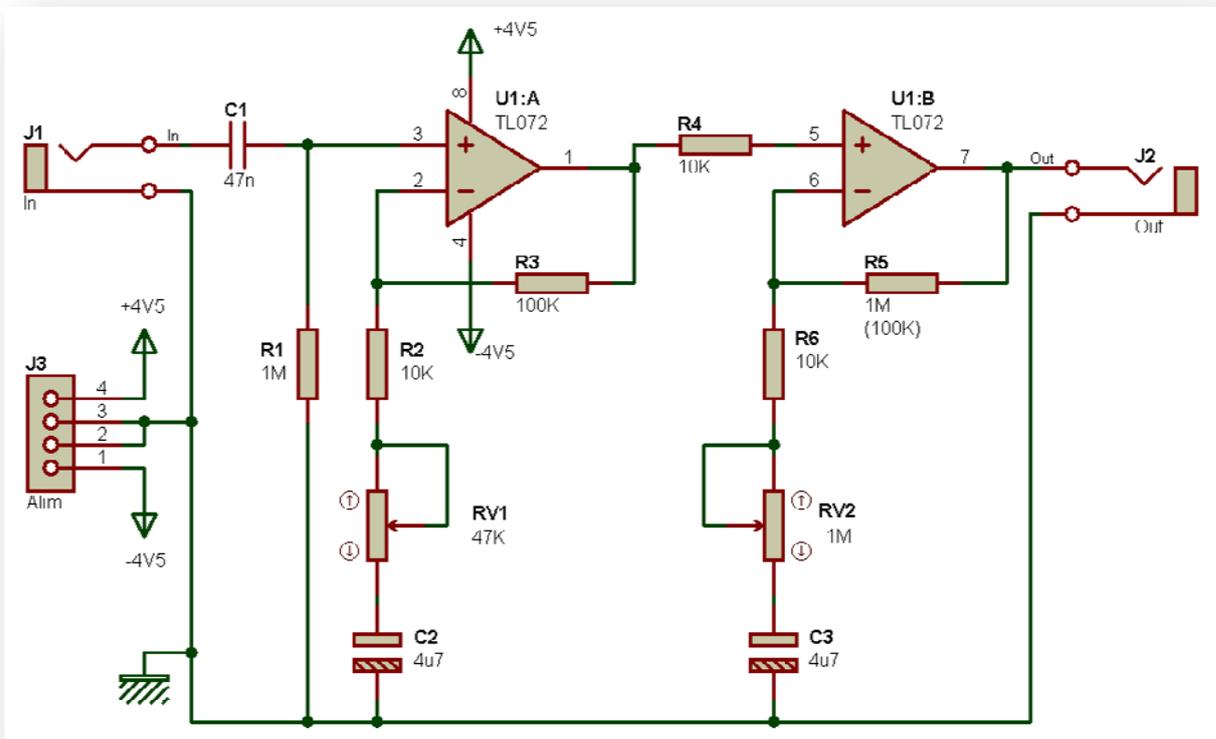
Ce petit montage est très loin d'être le meilleur, il ne possède pas de correcteurs de tonalité, mais il a le mérite d'être simple à réaliser. Il apportera l'amplification qui manque pour saturer pleinement notre ampli, ou permettra d'attaquer dans de bonnes conditions l'entrée ligne d'une carte son ou d'une console de mixage dont la sensibilité est insuffisante. Le capteur-micro pour guitare de type passif possède une sortie dont l'impédance est élevée, ce qui nécessite d'utiliser un préampli dont l'étage d'entrée est à haute impédance (une entrée micro basse impédance n'est pas adaptée).

Encore une fois, j'insiste sur le fait qu'il existe des préamplis pour guitare bien plus élaborés que celui qui fait l'objet de ces lignes, qui ont une recherche poussée au niveau du rendu sonore, et qui sont équipés de correcteur de tonalité à double ou triple point de réglage. Ce préampli est réellement destiné au débutant qui veut réaliser rapidement et facilement quelque chose qui fonctionne.

NOTRE

SCHEMA

INITIAL

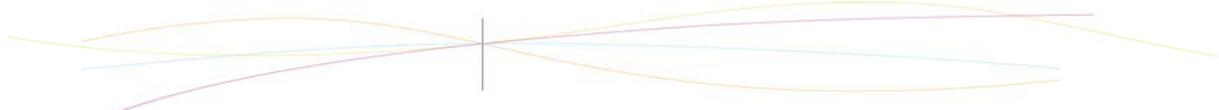


CALCUL DU GAIN THEORIQUE :

→ D'où

On obtient un gain maximal de 1000.

L'emploi d'un circuit intégré de type TL082 se justifie par le fait qu'il possède une haute impédance d'entrée (entrée FET), ce qui permet de fixer l'impédance d'entrée du montage à la valeur désirée, ici à 1 MO, grâce à R1. L'amplification est confiée à deux étages séparés, afin de garantir une meilleure stabilité et bande



passante quand le gain est à son maximum. Les deux potentiomètres de réglage de gain permettent plus de souplesse dans les plages de réglage.

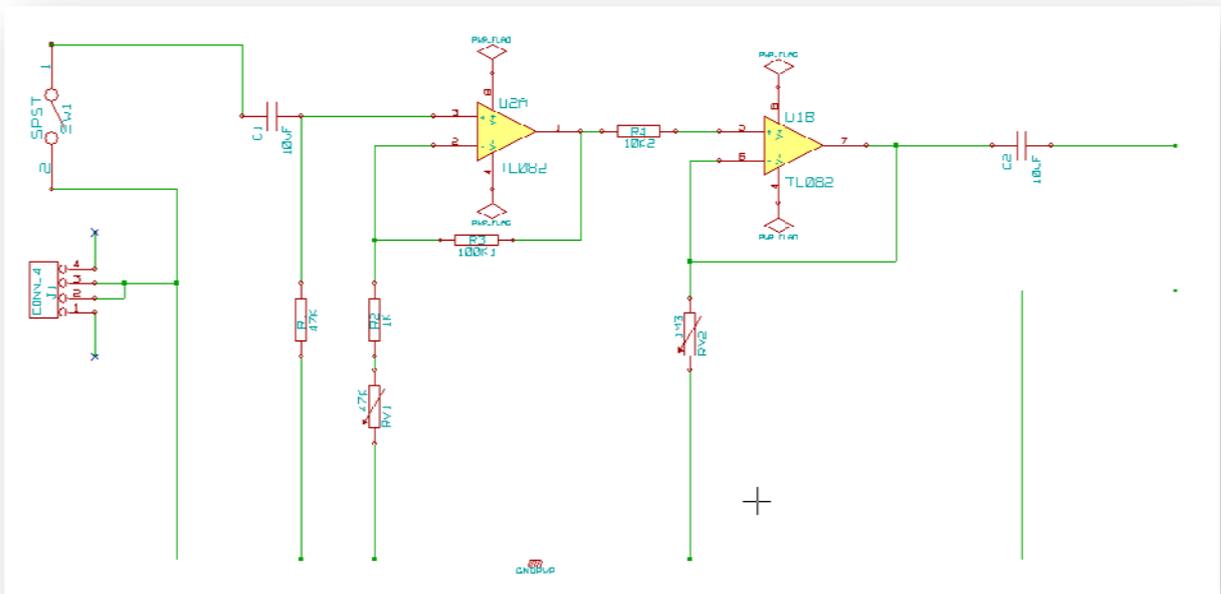
Finalement, après des essais de la guitare sous Synchronie, on s'est rendu compte avec grande surprise qu'une amplification d'un facteur 10 suffisait. En effet, la guitare délivre un signal d'amplitude élevée.

Conséquence de quoi, notre montage précédent est à revoir car sinon il sonnerait avec un son toujours distordu.

En fait, seul le premier étage du schéma aurait suffi. Ceci s'explique du fait que la guitare délivre une tension comprise entre 0V et 0,4V. Donc on pré amplifie d'un facteur 10 pour atteindre les 4V. Sachant que l'ampli de puissance amplifiera d'un facteur 5, nous obtiendrons au final 15V et davantage ; on commencera alors à avoir un son saturé.

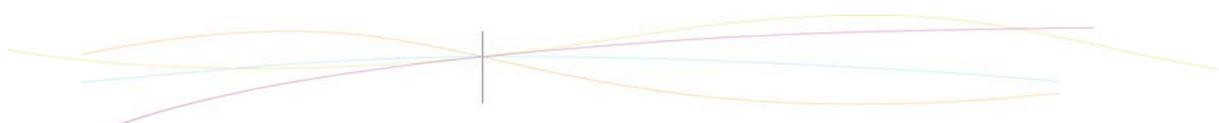
Suite à ce différent, on se propose de modifier légèrement le préampli dans le but d'obtenir un étage de pré amplification d'un facteur 10 qui sera sans doute suffisant pour notre guitare.

VOICI LE NOUVEAU SCHÉMA :



D'où -- Gain Max= (100/1) =100 -- Gain min= (100/21) =4, 75

C'est un schéma basique très simple composé d'un AOP non-inverseur suivi d'un AOP monté en suiveur. Nous n'avons pas eu le temps de modifier la carte imprimée du préampli qui correspond alors toujours au schéma vu précédemment.



AMPLI DE PUISSANCE

ROLE

L'électronique utilise un certain nombre de fonctions. L'amplification est l'une d'entre elles. En partant d'un signal de faible amplitude et de faible puissance, on veut en obtenir un autre, **de même forme**, capable de fournir l'**énergie** nécessaire à une charge quelconque : moteur, haut-parleur, etc....

Exemple :

Si on relie directement un micro sur un haut parleur de 8Ω . On récupère en sortie du micro un signal de quelques microvolts d'où

$$P = \frac{V_{eff}^2}{R} = qq \text{ uW}$$

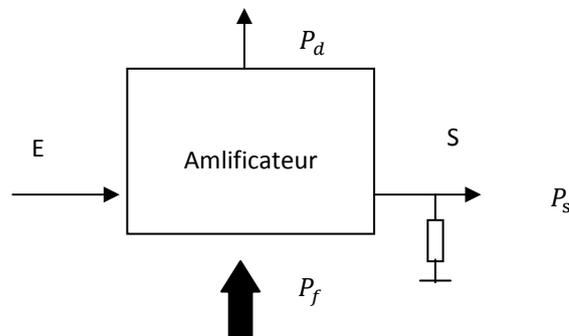
Il est nécessaire d'avoir recours à un amplificateur de puissance pour émettre un son.

DEFINITIONS

Puissance et forts signaux font apparaître deux nouveaux concepts :

RENDEMENT

Il caractérise la capacité de l'amplificateur à fournir à la charge toute la puissance qu'il reçoit.



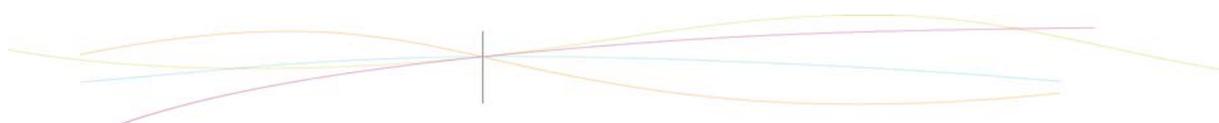
P_f : Puissance fournie par l'alimentation
 P_d : Puissance dissipée par l'amplificateur (transistor, résistance de polarisation, etc...)
 P_s : Puissance de sortie.

$$\eta = \frac{P_s}{P_f} = \frac{P_s}{P_d + P_s}$$

DISTORSION

Elle caractérise la capacité de l'amplificateur à produire une amplification linéaire (pas de présence d'harmoniques non désirés en sortie).

$$d = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \dots + A_n^2}}{A_1}$$



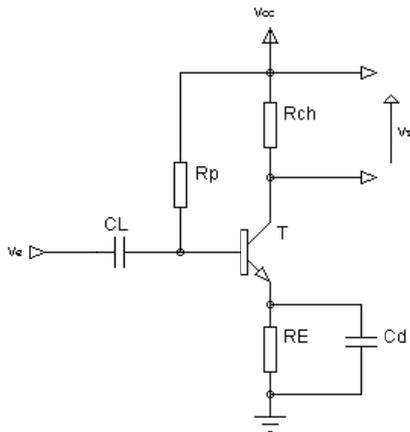
CLASSIFICATION DES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE

On classe les amplificateurs suivant leurs fréquences d'utilisation et suivant leurs classes de fonctionnement. On parle notamment :

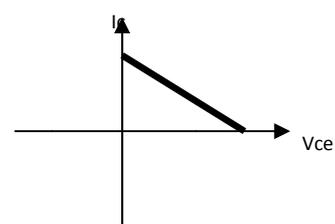
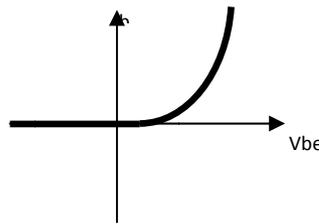
- amplificateur continu (TBF) : sortie des générateurs de fonctions
- amplificateur pilotant les MCC
- amplificateur audiofréquence ($f < 20 \text{ kHz}$) : amplificateur des signaux audibles
- amplificateur radiofréquence ($f > 30 \text{ kHz}$) : amplificateur FI
- amplificateur vidéofréquence ($f < \text{qq MHz}$) : TV, radar

On distingue aussi plusieurs classes de fonctionnement des amplificateurs de puissance suivant leur rendement et leur taux de distorsion.

CLASSE A



On polarise le transistor au milieu de sa droite de charge.

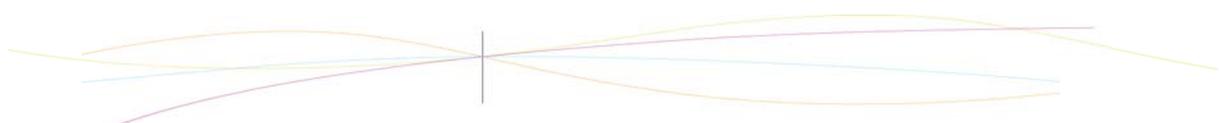


AVANTAGES

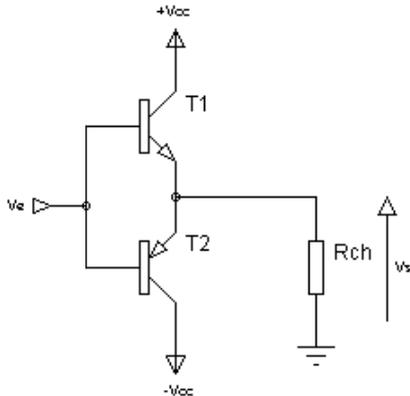
- 😊 Faible distorsion en sortie
- 😊 1 seul transistor

INCONVENIENTS

- ☹️ Mauvais rendement dépendant du type de liaison avec la charge
 - $\eta \approx 25\%$ pour une liaison directe
 - $\eta \leq 25\%$ pour une liaison capacitive
 - $\eta \approx 50\%$ pour une liaison par transformateur
- ☹️ Faible puissance ($< 1\text{W}$)
- ☹️ Consomme au repos (polarisation)

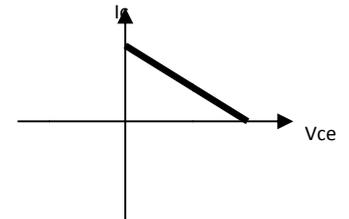
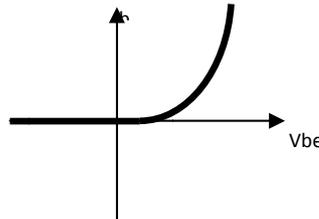


CLASSE B



On polarise le transistor à la limite de conduction ($I_b = 0$)

Ceci impose la présence d'un deuxième transistor pour récupérer le signal complet.



AVANTAGES

😊 $\eta_{max} \approx 75\%$

😊 Pas de consommation au repos

INCONVENIENTS

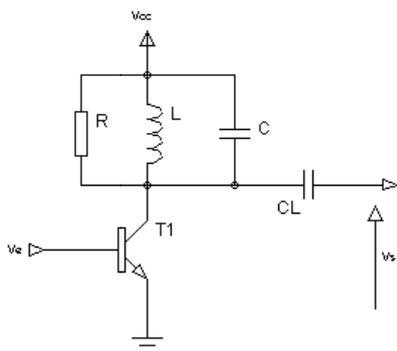
😊 Raccordement imparfait → distorsion important

😊 Nécessité d'un montage symétrique

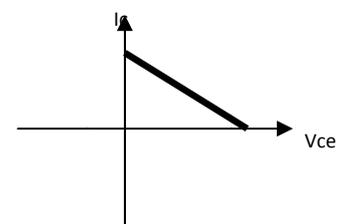
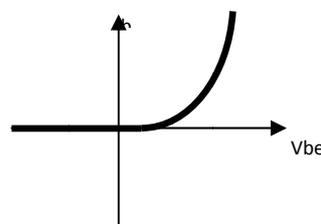
CLASSE AB

Afin de diminuer la distorsion de sortie, on polarise chaque transistor au début de la partie à peu près linéaire de la caractéristique.

CLASSE C



On amplifie seulement une partie du 1/2 cycle ($I_b < 0$)



AVANTAGES

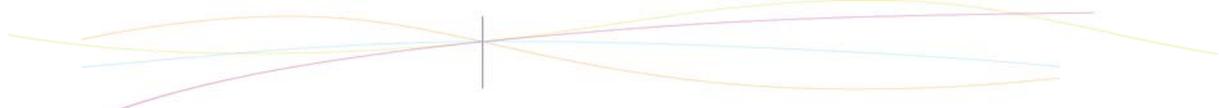
😊 Le rendement est très important (entre 90 et 99%)

INCONVENIENTS

😊 Distorsion importante

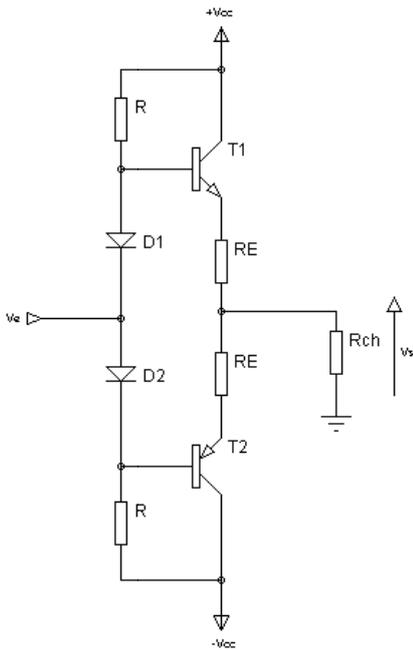
😊 Nécessité d'un filtre de sortie pour retrouver le fondamentale

😊 1 seule fréquence d'amplification



MONTAGE PUSH-PULL

Les amplificateurs de type push-pull sont rencontrés en basses et moyennes fréquences. De part leur fonctionnement, ces amplificateurs sont de classes AB.



- ✓ La polarisation en début de la droite de charge s'effectue à l'aide des diodes **D1** et **D2**.
- ✓ La valeur des résistances **R** est fixé à partir de la dynamique maximale de sortie souhaitée lorsqu'une des deux diodes est bloquées.

$$V_{S_{\max}} = (V_{CC} - V_{be}) \cdot \frac{\beta \cdot R_{ch}}{R + \beta \cdot R_{ch}}$$

- ✓ Pour que V_s soit le plus grand possible, il faut R petit devant R_{ch} .
- ✓ Si I_c est trop important alors la puissance dissipée dans le transistor augmente. Ainsi, la température du transistor augmente ce qui entraîne une diminution de V_{be} . Si V_d reste constant alors I_d augmente et I_c aussi Il y a un **emballement thermique** qui conduit à destruction du transistor. Les résistances R_E servent à éviter cet emballement, on limite I_c grâce à R_E . Il faut R_E petit face à R_{ch} .

BILAN DES PUISSANCES

$$✓ P_f = P_{+V_{CC}} + P_{-V_{CC}} = 2 \cdot P_{V_{CC}}$$

$$✓ P_{V_{CC}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CC} \cdot i(t) dt = \frac{V_{CC}}{T} \int_0^T I_{\max} \cdot \sin(\omega t) dt = \frac{V_{CC} \cdot I_{\max}}{\pi} \text{ avec } I_{\max} = \frac{V_{S_{\max}}}{R_{ch}}$$

$$\Rightarrow P_f = \frac{2 \cdot V_{CC} \cdot V_{S_{\max}}}{\pi \cdot R_{ch}}$$

$$✓ P_S = \frac{V_{S_{\text{eff}}}^2}{R_{ch}} = \frac{\left(\frac{V_{S_{\max}}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_{ch}} = \frac{V_{S_{\max}}^2}{2R_{ch}}$$

$$\Rightarrow P_S = \frac{V_{S_{\max}}^2}{2R_{ch}}$$

D'où un rendement de :

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_S}{P_f} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{S_{\max}}}{V_{CC}}$$

On obtient un rendement maximum pour $V_{S_{\max}} = V_{CC}$:

» $\eta = \frac{\pi}{4} \approx 78\%$

NB : ces valeurs sont des valeurs maximales puisqu'on ne tient pas compte des tensions de déchets dues aux transistors.

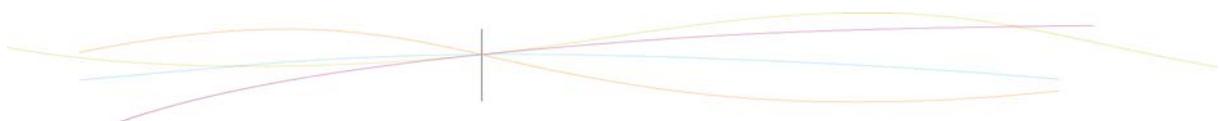
ATTAQUE DES AMPLIFICATEURS PUSH-PULL

Comme les 2 transistors travaillent l'un après l'autre, on peut décomposer le schéma en 2 collecteurs communs. Le gain en tension de l'étage d'amplification est donc sensiblement égale à 1.

En pratique, l'étage push-pull de sortie est pilotée par un autre étage pré-amplificateur afin d'obtenir une amplification plus.

On rencontre couramment deux solutions :

- ✓ un amplificateur linéaire intégré
- ✓ un montage émetteur commun



ALIMENTATION

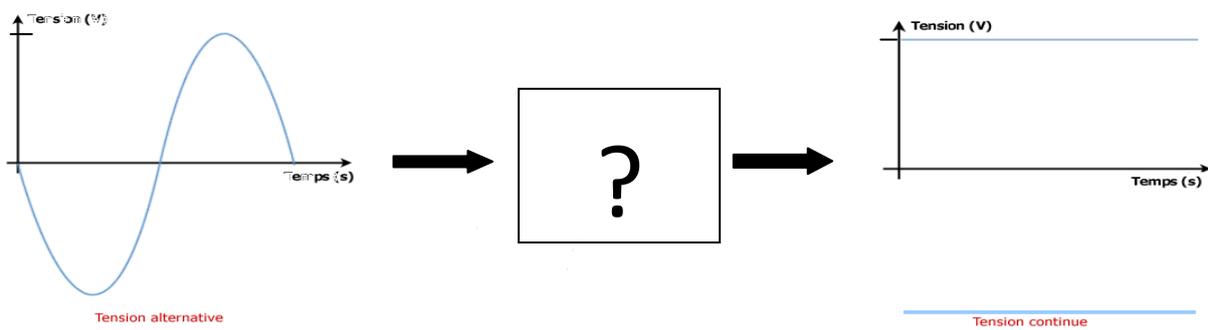
J'ai eu pour ma part la réalisation de la partie alimentation comme tâche assigné.

Il s'agit d'une partie bien connue en électronique puisqu'elle est quasiment omniprésente. L'objectif étant d'adapter l'énergie électrique distribuée par le réseau EDF à l'énergie demandée par le système.

En l'occurrence le réseau EDF nous distribue du 230V alors que la construction d'un amplificateur nécessite la distribution d'énergie continue symétrique autour du potentiel nul.

Principe de fonctionnement de l'alimentation

Schéma de principe de notre alimentation



1ER ETAGE : TRANSFORMATEUR

Le transformateur permet de convertir un courant alternatif de tension connue en un courant alternatif de tension voulue.

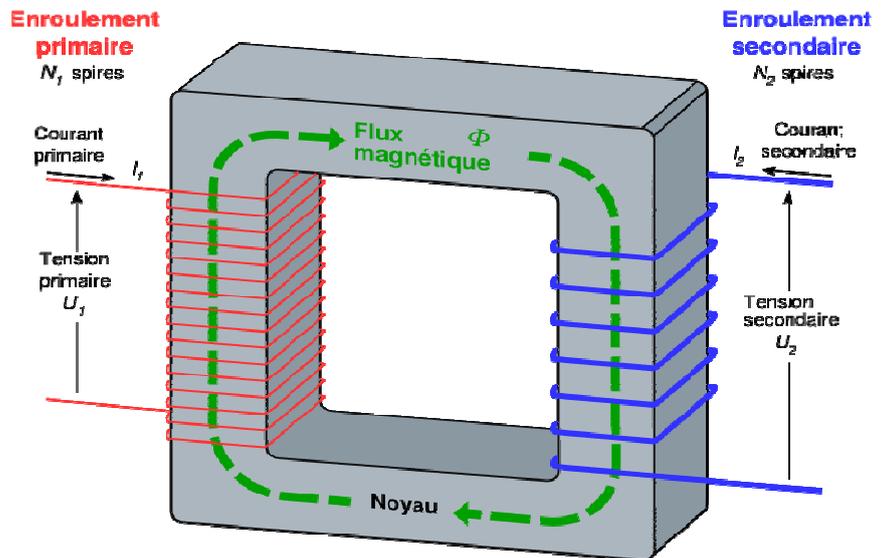
Soit Φ le flux magnétique passant dans le transformateur.

$$U_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

et

$$U_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Le transformateur idéal suit la relation ci-dessous :



En l'occurrence le transformateur nous aura permis de passer du 230V AC EDF à un voltage alternatif de même fréquence mais de voltage proche de 15V.

On veillera quand même a garder un voltage de sortie de transformateur supérieur à 15V, en effet, la régulation ne peut se faire qu'en baissant le voltage d'implémentation, de plus on perdra quelques volts lors du redressement.

Cependant on veillera a ne pas le tenir trop haut, car des problèmes de dissipation d'énergie que nous expliciteront plus tard se poserait alors.

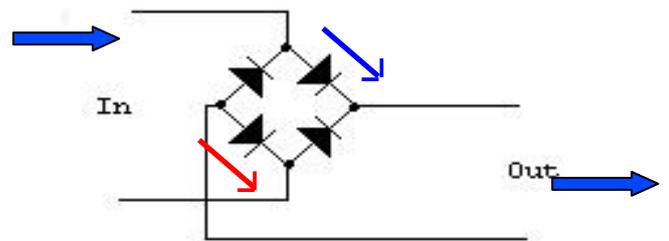
2E ETAGE : REDRESSEMENT

Notre voltage est maintenant sous la forme d'une sinusoïde de fréquence d'environ 50Hz à un voltage proche de 15V.

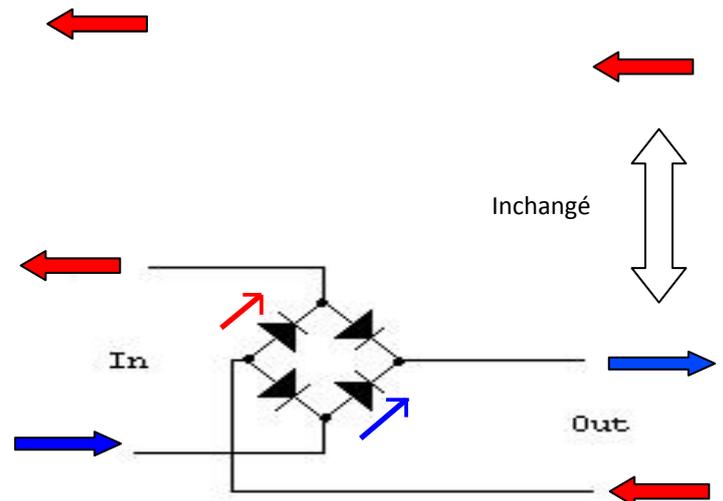
Nous allons le faire passer au travers d'un pont de diode (dit pont de Graetz).

Le pont de diode va permettre, grace à la caractéristique des diodes, de redresser la sinusoïde et de transformer l'alternance négative en alternance positive.

Lors d'une alternance positive :

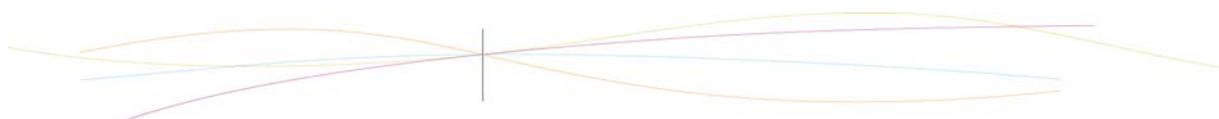


Lors d'une alternance négative :



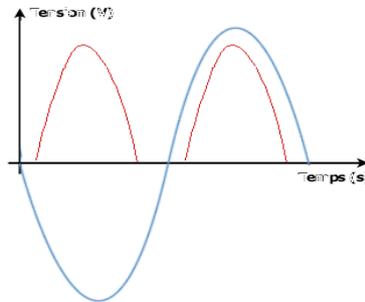
L'alternance resultante est celle décrite sur le graphe ci-dessous. L'alternance positive demeure alors que l'alternance négative resulte en une alternance positive.

Le léger décalage entre fonction d'entrée et fonction de sortie que l'on note est lié à la tension de seuil de 0,6V à chaque fois que le courant doit passer dans une diode.



Or, le courant passe par à chaque instant par 2 diodes, aussi, la tension de seuil global dissipée dans le pont de diode est de $2 \times 0,6 = 1,2V$.

L'ampérage étant limité, comme nous allons le voir à 1,5A, la puissance dissipée dans le pont est de $P = U \times I = 1,2 \times 1,5 = 1,8W$, nous choisirons donc les diodes en conséquence.



3E ETAGE : REDRESSEMENT SUR CHARGE CAPACITIVE – CONDENSATEUR DE FILTRAGE

Le signal initial a maintenant bien évolué qu'il s'agit maintenant d'un signal uniquement positif, de tension de crête proche de la tension recherché.

Cependant il reste encore du chemin à parcourir puisque notre signal n'est pas continu, loin s'en faut !

On va maintenant extraire le maximum de la composante alternative en le faisant passer par une charge capacitive. Ce faisant, le condensateur amortira la sinusoïde au point d'en sortir un signal presque parfaitement continu.

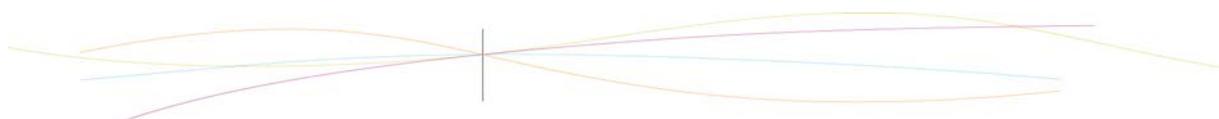
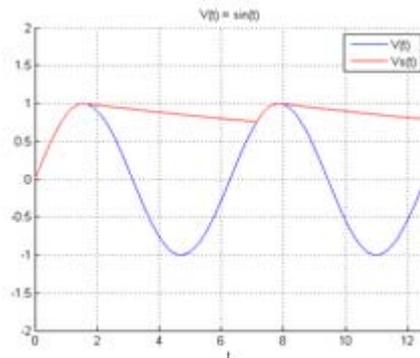
Une analogie aisément compréhensible serait un entonnoir placé sous un robinet. On ouvre le robinet avec un fort débit, le débit de sortie de l'entonnoir n'est pas suffisant donc celui-ci se remplit d'eau.

On coupe le robinet. L'entonnoir continue de se vider régulièrement (ou presque...cf. Mécanique des fluides) tant qu'il contient de l'eau. Si avant que l'entonnoir ne se vide, on rallume le robinet et on re-rempli l'entonnoir, l'entonnoir se vide régulièrement et presque sans à coup.

On a transformé un phénomène périodique en phénomène continu aperiodique.

C'est exactement le principe mis en oeuvre par l'amortissement sur charge capacitive dans le cas de notre alimentation. Le condensateur jouant le rôle de l'entonnoir et le signal en sortie du pont de diode, celui du robinet ouvert alternativement.

Ci dessous, le graphe résultant de l'étage :



Comment dimensionner le condensateur pour effectuer un filtrage efficace ?

Utiliser un condensateur trop gros serait inutile, tout d'abord puisqu'une régulation (lissage du signal) a posteriori sera toujours nécessaire.

Au moins dans notre cas de figure, ou la qualité du signal de sortie est un facteur important de qualité pour tout le système.

De plus un condensateur trop gros serait encombrant sur la carte et qu'il coute d'autant plus cher.

On prendra pour hypothèse que le courant est constant dans le condensateur, on a donc :

$$I = C \, dv / dt$$

Soit $dv = dt \cdot I / C$

Sur une période : $\Delta U = I \cdot T / C$

D'ou $C = I \cdot T / \Delta U$

Pour dimensionner le condensateur, nous avons besoin de la valeur max que peut prendre ce ratio, sachant que U représente l'amplitude du signal, ΔU est acceptable pour 2V si le signal d'entrée a une amplitude max de 17V, la fréquence est fixée à environ 100Hz.

Le courant maximal pouvant être délivré par l'alimentation (la régulation étant le facteur limitant) est de 1,5A.

Ainsi :

$$C = \frac{1,5}{2} \cdot \frac{1}{100} = 0,0075 \text{ F}$$

Partant du principe que notre régulation permet un signal d'entrée assez "turbulent", on se permettra de limiter notre condensateur à 0,001F 40V pour des questions de disponibilité de composant notamment.

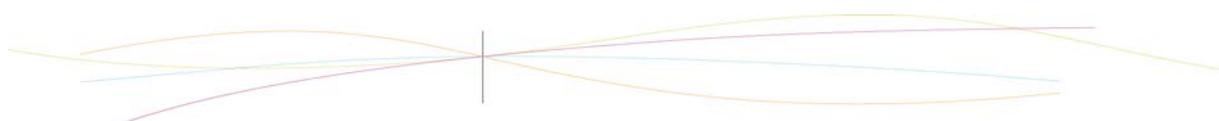
4E ETAGE (ET DERNIER...) : REGULATION

Notre signal est maintenant presque continu, il souffre cependant d'une légère instabilité.

L'étage que nous allons étudier est la régulation, à savoir la finition du signal, légèrement imparfait à l'entrée, nous allons en faire un signal parfaitement continu.

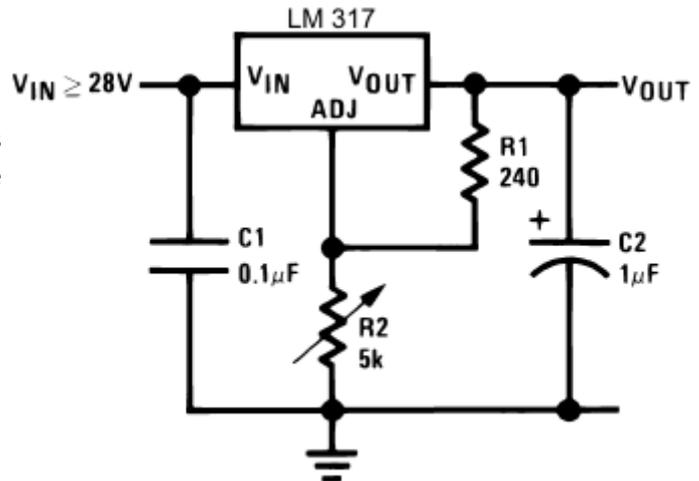
Pour ce faire nous avons choisi d'utiliser un régulateur bien connu et couramment utilisé, puisqu'il s'agit du LM317.

La logique de cet étage étant un peu compliqué à étudier, nous la laisseront volontairement de côté.



Ce d'autant que la "datasheet" répond à la plus-part de nos interrogations quant aux modalités de fonctionnement du dit composant.

Voici le schéma d'application du régulateur :



La formule permettant de déterminer les valeurs de résistance qui conviennent à notre montage est la suivante (tiré du datasheet) :

$$V_{out} = 1,25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

Pour éviter les pertes de courant à la masse via R1 et R2, l'idée est de dimensionner conséquemment ces deux résistors, tout en gardant des valeurs de résistance usuelles pour pouvoir se les procurer facilement.

On veut $V_{out} = 15V$, on fixe arbitrairement $R1 = 220 \text{ ohms}$ (disponible en grand nombre au labo).

$$R2 = \left(\frac{V_{out}}{1,25} - 1 \right) R1$$

Application numérique avec $V_{out} = 15V$ et $R1 = 220 \text{ ohms}$:

$$\begin{aligned} R2 &= (15/1,25 - 1) * 220 \\ &= \boxed{2,4 \text{ k ohms}} \end{aligned}$$

Un autre point qui intéresse la régulation, et c'est plus particulièrement ce point qui nous pousse à éviter un transformateur qui délivrerait un signal à la tension de crête trop supérieure à 5V, c'est la puissance dissipée dans le régulateur.

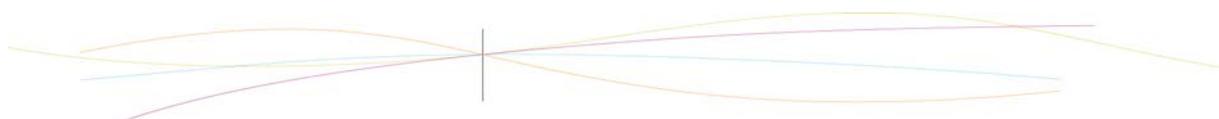
En effet, si l'on part du principe que l'on a un signal d'entrée de 18V d'amplitude, l'étage de régulation a à dissiper une puissance de $P=U*I=(18-15)*1,5=4,5W$ ce qui représente quand même une puissance relativement conséquente pour nos petits composants, surtout en boîtier TO-220.

Nous voilà maintenant avec une alimentation délivrant un 15V DC bien stabilisé, on va maintenant chercher comment adapter cette alimentation pour délivrer un -15V dans le même temps.

SYMETRISER L'ALIMENTATION

L'idée est en fait de doubler l'alimentation, ce qui nous donnera logiquement deux alimentations parallèles délivrant du 15V continu chacune sous 1,5A. Cependant, si l'on relie la masse de la première avec la sortie positive de la seconde, on obtient bien un module donc les potentiels entre leurs masses commune et leurs sorties est de 15V, le premier module, en positif, et le second en négatif.

Nous obtenons donc une alimentation délivrant en parallèle du 15V et du -15V continu stabilisé.



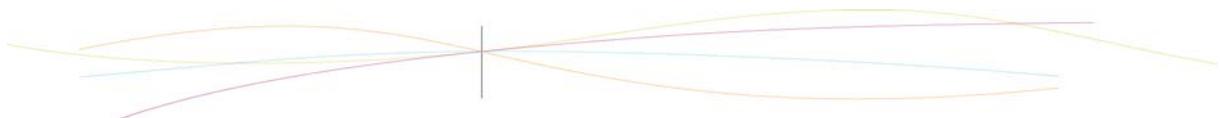
Etant donné mon emprise déjà conséquente sur le dossier, je ne m'étalerai pas sur la réalisation de l'alimentation qui a été relativement longue et fastidieuse.

Les tests effectués cependant n'ont pas réellement donné satisfaction. Tout d'abord je pensais qu'il serait possible d'effectuer des tests à l'aide d'un GBF plutôt que d'investir dans un transformateur.

C'est jusqu'à ce que je réalise qu'un GBF était limité à 12V d'amplitude et à un ampérage très limité.

L'alimentation, donnant un signal d'environ 1,25V continu, tension de référence du LM317, me laisse à penser qu'une erreur s'est introduite dans la conception de la carte, au niveau des pistes.

La réalisation de cette alimentation, bien que de conception relativement simple car bien connue m'aura permis d'éclaircir quelques problèmes concrets touchants à l'électronique et de saisir toute la philosophie du montage.



ENCEINTE + CAISSON

ENCEINTE

Le but de cette partie du projet était de fournir une enceinte pouvant retransmettre le signal délivré par l'ampli de puissance construit par nos soins. Nous allons voir dans les pages suivantes les différentes étapes de cette construction.

HAUT PARLEUR

Tout d'abord rappelons le principe de fonctionnement des Haut-Parleurs. Le son du HP est produit par le mouvement rapide de sa membrane. Les mouvements de cette membrane sont produits par la force du champ magnétique causé par le courant traversant l'HP et par le champ magnétique produit par l'aimant de l'HP. Quand deux aimants sont proches l'un de l'autre, soit qu'ils s'attirent ou soit qu'ils se repoussent. Il en est de même dans un haut-parleur. L'aimant de l'HP attire ou repousse la membrane. Cependant la membrane ne comporte pas un aimant, mais plutôt une bobine mobile qui produit un champ magnétique lorsqu'un courant la traverse.

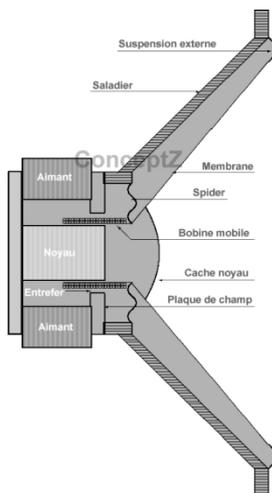
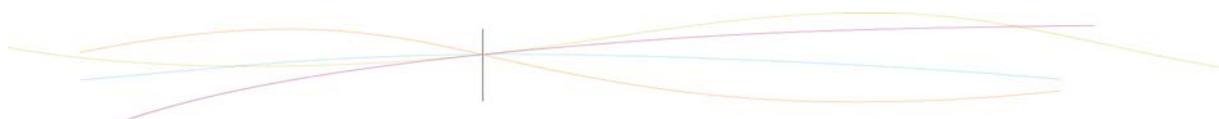


Schéma de coupe transversale d'un Haut Parleur

Dans notre cas, afin de réduire les coûts du projet le HP est un Boomer 15 pouces d'impédance 8 Ohm récupéré sur une enceinte hors d'état. Un Boomer est en fait un HP dédié à retransmettre des basses fréquences. On classe les HP en fonction de leur diamètre et de leur capacité à retransmettre les différentes fréquences. On trouve en 3 grandes classes qui sont : Boomer, Medium et Tweeter allant du plus grave au plus aigu. Plus on réduit le diamètre plus le HP est destiné à des hautes fréquences.

Cela se retrouve bien par la théorie. Le diamètre D optimal du HP devrait mesurer une demi-longueur d'onde, soit $\lambda/2$ de l'onde. La longueur d'onde $\lambda = c / f$, c étant la vitesse du son (340 m/s) et f la fréquence en Hz. Pour la reproduction de 20 Hz la membrane devrait avoir un diamètre de $1/2 * \lambda = 1/2 * (c/f) = 8,5$ m. Donc un haut-parleur de 8,5m pour 20 Hz! - pour 20 kHz le calcul donne 8,5 mm. Pour cette raison, la bande de fréquence totale à reproduire par une enceinte est divisée et répartie sur plusieurs haut-parleurs. Pour des raisons budgétaires, comme l'objectif de ce projet était d'avoir une 1^{ère} approche avec l'amplification, nous nous sommes contentés d'un unique HP.



CONNECTIQUES

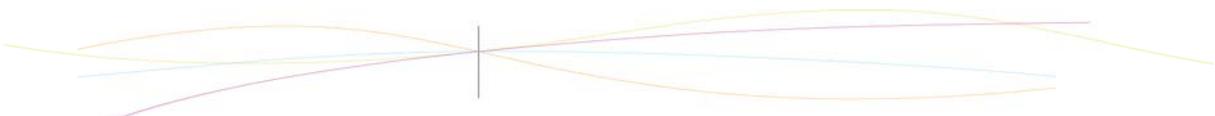
Le HP étant trouvé, il faut maintenant le brancher à la sortie de l'ampli. Pour cela, le choix a donc été de construire une enceinte indépendante. Pour cela il faut alors faire passer le signal par un câble Jack-Jack qui relie alors le boîtier de l'ampli et l'enceinte. Cela se fait à travers des châssis qu'il convient de souder convenablement. On voit sur la photo qui suit les différentes parties de la connectiques (Câble HP, Châssis Jack Femelle) en dessous du HP.



Le châssis utilisé est une prise jack femelle mono basique (voir ci-dessus) et le câble HP est simplement du câble cuivre 2x 1,5mm².



Le choix a été de ne pas fixer le châssis sur le caisson et de le laisser libre comme on le voit ci-dessus. Cela permettra ultérieurement d'y injecter un filtre qui pourra distribuer les fréquences de telle façon que ce caisson ne reçoive que les basses fréquences (50-200Hz).



Ainsi il sera possible d'ajouter à ce caisson de basse, des enceintes composées de médiums et tweeter et ainsi se créer un complexe de sonorisation complet adapté pour toutes les fréquences.

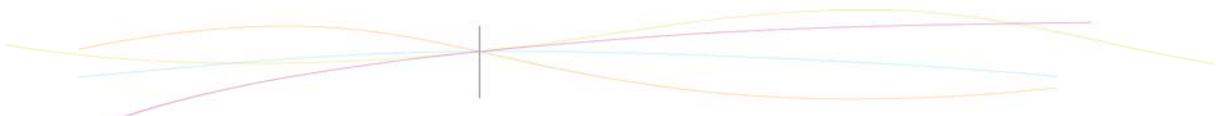
CAISSON

Le caisson qui a servi pour la construction provient d'un vieux système de sonorisation hors d'état de marche qui était utilisé comme caisson de basse. De ce fait il est construit sur la base d'une enceinte basse reflex. Ce type d'enceinte très répandue pour les subwoofers (caisson de basse) a pour particularité de présenter un évent comme on peut le voir dans le schéma ci-dessous.



Le but d'une enceinte basse reflex est de récupérer les ondes sonores émises à l'intérieur du caisson de l'enceinte pour les restituer en phase avec le son émis à l'avant de l'enceinte. En effet, le mouvement vers l'avant de la membrane d'un haut-parleur crée une pression de l'air qui est accompagnée par une dépression équivalente à l'arrière de la membrane. De manière identique, le mouvement vers l'arrière de la membrane crée une dépression de l'air à l'avant de la membrane accompagnée d'une pression à l'arrière du haut-parleur (à l'intérieur du caisson). Le basse reflex a pour but de faire sortir les sons enfermés à l'intérieur du caisson de l'enceinte et de les restituer dans la pièce, en phase avec le son normalement émis.

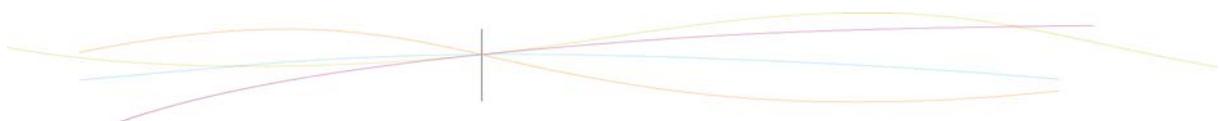
L'avantage de ces enceintes utilisées en tant que caisson de basse est que celles-ci descendent plus bas dans le grave qu'une enceinte close à volume comparable, mais ce registre peut s'avérer moins détaillé si le réglage de l'évent est mal réalisé. Néanmoins, de nombreux audiophiles considèrent tout de même que rien



n'égale une enceinte fermée dans la reproduction des graves. Encore une fois on peut voir que le domaine de l'acoustique s'avère être une science assez objective lorsqu'il s'agit de qualités de perceptions sonores.

Pour conclure sur cette partie, je dirais que le travail s'est trouvé être assez agréable. En effet à partir d'une enceinte qui allait être jeté par le Club Musique de L'INSA, nous avons réussi, en refaisant les connectiques, se débarrassant de la partie électronique et remontant l'enceinte à arriver à un résultat plus que satisfaisant. En effet nous ne nous sommes pas juste contentés de désosser l'ensemble sans objectif.

La prochaine étape qui malheureusement ne sera pas présentée dans ce projet car nécessiterait un trop long travail sera d'essayer de faire la même démarche avec d'autres enceintes mediums et tweeters récupérable de la même façon et à l'aide d'un filtre de fréquence se constituer un système de sonorisation passif performant.



METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail

Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés

LIMITES ET CONTRAINTES DU PROJET

Ce projet s'étalait sur 1 semestre et nous n'avions pas de recul ou de conseils d'anciens élèves. Il nous a donc fallu composer. Avouons le, nous n'avons pas tout le temps été très efficaces dans notre manière de travailler, mais l'autonomie et le manque de recul en sont les principales causes.

En dehors de notre action ce projet convient à un projet en P6-3. Il nécessite une base théorique, mais se réalise très pratiquement, très concrètement. Très couteux en matériel (composants, haut-parleurs, boîtier...), il ne peut se faire sans apport personnel des membres de l'équipe, mais il permet d'avoir un objet opérationnel à la fin. Peut-être le club musique serait-il intéressé par cette thématique. En effet, pour peu que le projet soit poursuivi l'an prochain, il peut conduire à une production d'ampli pour les instruments du club, moins couteuse et – pourquoi pas – sur mesure.

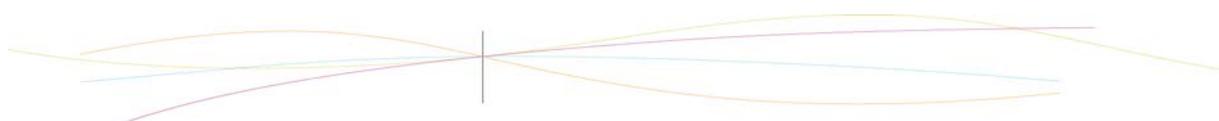
Faire un combo ampli-enceinte plus complexe serait envisageable. On ajoute un tweeter, on ajoute une gestion d'effets... Mais le projet en deviendrait plus complexe. Ou alors mettre deux projets en parallèle, l'un traitant le signal (effets) et l'un traitant son amplification et son passage en onde sonore (ampli de puissance), combinés par la suite pour un combo plus complet.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous devons rappeler à juste titre que le projet que nous avons mené à bien durant ce semestre n'était pas un projet initialement prévu dans les créneaux de P6-3. Monsieur François Guillotin a gracieusement accepté de nous épauler tout au long de ce semestre et nous l'en remercions.

Nous devons également le remercier pour l'accompagnement tout au long du semestre dont nous avons profité. Nous n'étions, initialement, en effet, que peu habitués à travailler avec de l'électronique et nous l'étions encore moins à dessiner des circuits imprimés grâce à différents logiciels. François Guillotin nous a également laissé une grande autonomie, conduisant, certes à une perte de temps parfois, mais nous laissant réaliser par nous même la mesure de notre tâche. Un grand merci à lui aussi pour ses conseils avisés et sa patience.

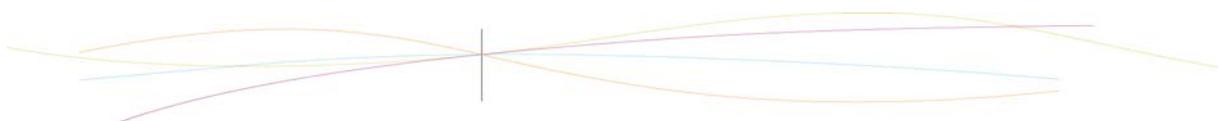
De plus des remerciements à Pascal WILLIAMS pour nous avoir fourni des cartes de bonne qualité dans de très bons délais.



CONCLUSIONS

Ainsi c'est un combo fonctionnel que nous avons mis en place tout au long de ce projet. D'une source générant une tension (perçue par un câble jack), une guitare électrique, par exemple, notre combo est apte à en produire un son audible et fidèle à l'original. Plus adapté aux basses cependant, notre HP préférera jouir pleinement de son caisson que de souffrir en générant des aigus.

Liant plaisir et connaissance, ce projet nous fait comprendre (en ayant le nez dedans et percevoir tous les écueils à éviter pour la suite) comment nos connaissances acquises jusqu'alors pourront être mise en œuvre au service de nos passions. Nous avons un pôle de spécialité, mais chacun connaît le travail des autres. Nous serions donc en mesure d'en refaire pour notre propre usage. Ce projet nous a donc permis de prendre conscience que tout ce que nous achetons (souvent à des prix considérables) est réalisable (pour bien moins cher) par nos propres moyens.



BIBLIOGRAPHIE

http://www.toutlehautparleur.com/enceintes_acoustiques.php<http://fr.wikipedia.org/wiki/Haut-parleur>

http://www.lautsprechershop.de/hifi/index_fr.htm?hifi/aka_tief_fr.htm

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Boomer_\(haut-parleur\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Boomer_(haut-parleur))

http://www.audiosonica.com/fr/cours/post/124/Systemes_de_diffusion_sonore-Genres_des_enceintes_acoustiques

http://www.slc35.com/conceptz/images/enceintes/haut_parleur/schema_haut_parleur.gr.jpg

http://www.vgies.com/downloads/iut/TP6_EN1.pdf

<http://hyperbol.free.fr/Sommaire/Role%20du%20filtre/Role%20du%20filtre.htm>

http://www.brouchier.com/livre/LE_LIVRE.html

<http://www.bonavolta.ch/hobby/fr/audio/filters.htm>

<http://www.sonomag.com/Archives/article,Go,id,2171.html>

<http://www.petoindominique.fr/php/accueil.php>

http://www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_preampli_guitare_003.html

<http://www.guit-art.net/forum/viewtopic.php?pid=308>

<http://dropd.org/geii/dossier/culturel/amplis.html>