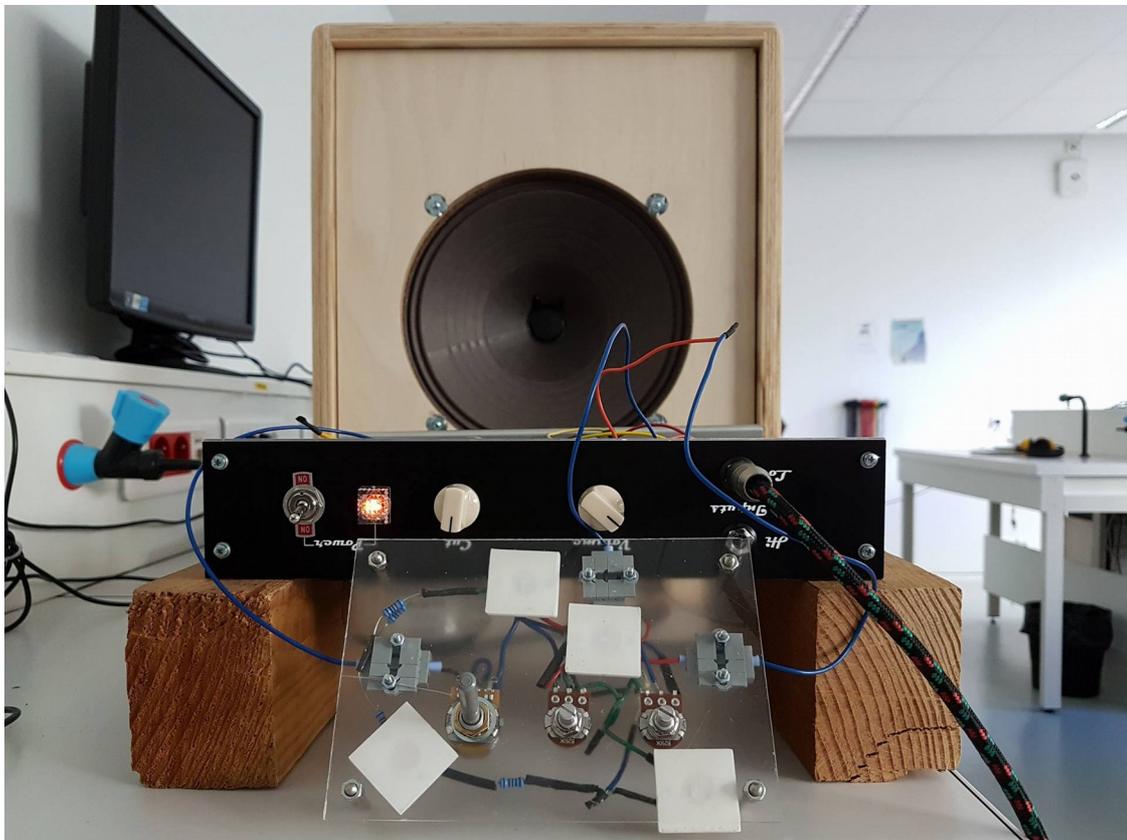


## **Vox AC30 low-power : Amplificateur à lampes**



### **Étudiants :**

**Romain BONHOMMET**

**Louis DELAFONTAINE**

**Samuel EL GUEDJ**

**Charles LHUILLIER**

**Barthélémy THIBAUD**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Richard GRISEL**



Date de remise du rapport : **19/06/2017**

Référence du projet : **STPI/P6/2017 – 50**

Intitulé du projet : **Vox AC30 low-power : Amplificateur à lampes**

Type de projet : **étude/ modélisation / expérimental**

Objectifs du projet :

***L'objectif de ce projet a été dans un premier temps de comprendre le principe de fonctionnement d'un amplificateur et plus particulièrement celui d'un amplificateur à lampes.***

***Il nous a donc fallu comprendre tout ce qui avait déjà été mis en place l'année dernière lors du montage du kit TT Molly. Dans un second temps, afin de prendre la suite du projet de l'an passé, nous avons pour objectif d'améliorer l'ampli TT Molly en ajoutant plusieurs extensions, notamment un haut-parleur relié à la tête d'ampli et un circuit de tonalité (bass, middle, treble)***

***En parallèle, nous devons également comparer les mesures théoriques et pratiques à l'aide du logiciel LTSpice.***

Mots-clefs du projet : **Ampli – Lampe**

## TABLE DES MATIERES

1.Introduction.....	6
2.Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3.Travail réalisé et résultats.....	8
3.1.Présentation globale de la technologie d'amplification.....	8
3.1.1.Amplification à Tube et à Transistor.....	8
3.1.2.Fonctionnement des amplificateurs à lampe.....	9
3.1.3.Fonctionnement spécifique à l'amplificateur Vox AC30.....	10
3.2.Travaux réalisés.....	12
3.2.1.Mesures pratiques et théorique.....	12
3.2.2.Filtre Low-Medium-High.....	15
4.Conclusions et perspectives.....	16
5.Bibliographie.....	17
6.Annexes.....	18

## Table des illustrations

1: Ampli VOX AC 30.....	6
2: Photo de groupe.....	7
3: Exemple de lampe.....	9
4: Différentes classes d'amplificateurs.....	11
5: Dispositif de mesure pendant une séance.....	12
6: Représentation de l'amplificateur avec LTSpice.....	14
7: Filtre High, Middle, Treble après le montage.....	15
8: Cut théorique.....	18
9: Cut réel.....	19
10: Gain avec filtre inactif (1ère version).....	20
11: Gain avec filtre inactif (2ème version).....	20

## 1. INTRODUCTION

Premier amplificateur apparu sur le marché dans les années 30, l'amplificateur à lampes est utilisé pour amplifier les instruments électriques comme les guitares ou les basses. Ce type d'amplificateur est réellement le Saint-Graal des puristes mélomanes.

Malgré la montée en puissance des amplis à transistors suite à leur apparition dans les années 50, notamment grâce à leurs prix attractifs, les amplis à lampes n'ont jamais été délaissés des musiciens. Leur qualité et leur chaleur sonore leur ont même valu de faire un retour marqué sur le marché, principalement dans celui du haut de gamme. Nous noterons même, qu'aujourd'hui, dans le milieu professionnel, sont utilisés quasiment exclusivement des amplis à lampes, que ce soit lors de concerts ou d'enregistrements en studio.

Les grandes marques d'amplificateurs n'ont jamais cessé de produire des modèles à lampes. Parmi elles, nous pourrions citer Fender, Marshall et également Vox, réputée pour sa sonorité très claire et typée « british ». C'est sur le modèle phare de cette dernière, le Vox AC30, que nous avons eu l'occasion de travailler.

Ce modèle, commercialisé en 1958, fut extrêmement utilisé par les musiciens célèbres, notamment dans les années 1960-1970, parmi lesquels nous pouvons citer des groupes comme les Shadows, The Beatles, The Rolling Stones, Queen et bien d'autres.

Avec notre tuteur nous avons, après discussion en début de projet, décidé de porter notre travail sur l'analyse de cet amplificateur dans son fonctionnement et éventuellement d'y apporter quelques modifications afin de l'améliorer.

Notre objectif a donc été, dans un premier temps, de comprendre le fonctionnement d'un système d'amplification et les spécificités des modèles à lampes. Parallèlement, nous devons également relier un haut parleur à la tête d'ampli puis dans un second temps notre objectif a été d'ajouter un circuit de tonalité (bass, middle, treble). Durant toute la durée de notre projet, nous avons effectué à la fois des simulations sur le modèle numérique correspondant ainsi que des mesures pour les comparer aux valeurs théoriques.



*1: Ampli VOX AC 30*

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Dans un premier temps, afin de donner un contexte à notre travail, nous avons reçu un cours nous permettant de mieux cerner le fonctionnement théorique d'un ampli à lampes d'un point de vue électronique et électrique.

Forts de ces connaissances, nous avons pu reprendre la suite du travail qui avait été accompli l'année précédente, à savoir la tête d'ampli déjà montée avec un potard de volume et un potard de tonalité.



*2: Photo de groupe*

Pour comprendre au mieux ce qui a été fait, le travail s'est généralement divisé en deux postes : la modélisation informatique du circuit interne de l'ampli par le logiciel LTSpice afin d'obtenir les valeurs théoriques et la prise de mesures directement au niveau du circuit afin d'obtenir les valeurs expérimentales et de les comparer aux théoriques. Nous avons généralement travaillé par deux et essayé de tourner le plus possible afin de balayer toute la variété des tâches à accomplir.

Nous avons également apporté des améliorations à l'ampli que nous avons récupéré. En effet, nous avons installé des haut-parleurs dans des caissons pouvant être reliés directement à la tête d'ampli par l'intermédiaire d'un câble jack. Cela a demandé du travail de soudure ainsi que la réalisation de câbles.

Enfin nous avons souhaité pouvoir affiner les réglages du son au niveau de l'ampli, c'est pourquoi nous avons mis en place un circuit de tonalité comprenant un potard de réglage des basses et un potard pour les aigus. Le travail a à nouveau été partagé entre modélisation théorique sur LTSpice et réalisation du circuit à greffer sur le circuit principal (soudure des composants, installations...)

### Liste des tâches réalisées:

- Mise en place de la baffle dans le caisson (haut-parleur) et conception de ses connexions (soudure d'un câble mâle/mâle, soudure d'une fiche d'entrée de baffle)
- Prise de mesures de tensions aux bornes de chaque composant de l'ampli afin de les comparer avec les valeurs données par le constructeur et de s'approprier les propriétés du circuit de l'ampli.
- Deuxième partie des mesures avec un courant alternatif afin de recueillir un signal sinusoïdal et de les comparer avec celles obtenues à partir du schéma théorique créé sur le logiciel LTSpice.
- Le schéma effectué sur LTSpice va nous permettre de simuler toutes les modifications envisagées afin d'effectuer des mesures rapidement et d'évaluer la pertinence des modifications sans perdre de temps et de ressources en les réalisant réellement.
- Prise de mesures et étude de la distorsion harmonique de l'ampli sur l'ensemble de sa plage de fréquences (de 10Hz à 10kHz environ)
- Rédaction du rapport

### **3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS**

#### **3.1. Présentation globale de la technologie d'amplification**

##### ***3.1.1. Amplification à Tube et à Transistor***

Aujourd'hui, le monde de l'amplification acoustique est monopolisé par deux technologies : les tubes et les transistors.

Depuis plusieurs décennies maintenant, l'amplificateur à transistor a surpassé son homologue à lampes en terme de ventes. Mais pourquoi une telle différence de vente quand on sait que les modèles à lampes, plus anciens, sont réputés pour avoir une qualité sonore plus pure et un son plus « fort » ?

Les raisons sont multiples mais assez évidentes en fin de compte. En effet tout d'abord le prix beaucoup plus attractif à la fabrication joue en la faveur du modèle plus récent. La raison principale provient du fait que certains composants ne sont pas nécessaires pour le fonctionnement de ce dernier, comme par exemple les transformateurs en sortie, et qui le sont pour l'amplificateur à lampes. Ensuite nous pouvons citer également le fait qu'il soit théoriquement plus fiable car moins fragile et d'une technologie plus récente, ou le fait qu'il soit moins encombrant et donc plus facilement adaptable dans les coffrets de plus petites tailles.

Les connaisseurs apercevront, à l'écoute, des différences notamment sur l'aspect légèrement plus « électronique » des amplificateurs à transistor, un son moins naturel en quelque sorte.

### 3.1.2. **Fonctionnement des amplificateurs à lampe**

Les lampes, ou tubes, utilisées dans les amplificateurs, sont nommées ainsi à cause de leur forme d'ampoule dans laquelle des composants vont chauffer. Ces lampes sont généralement composées d'électrodes placées dans le vide ou dans un gaz servant à les isoler, et comprenant une source d'électrons. Le verre de ces lampes sert à isoler l'ensemble de l'extérieur. Des broches viennent compléter ces lampes. Elles permettent aux lampes d'être fixées dans les supports prévus à cet effet et permettent aussi un remplacement facile de ces lampes en cas de panne ou de casse. Ces broches ont chacune une utilité différente des autres : une des broches sert pour la grille, une autre pour l'anode (aussi appelée « plaque »), une pour la cathode et enfin deux dernières pour le filament chauffant dans la lampe. Les lampes utilisées dans notre montage sont des pentodes, versions améliorées de la diode basique ou de la triode, la différence principale se trouvant dans l'ajout de la grille (par rapport à la diode) ou de son amélioration (par rapport à la triode).



3: Exemple de lampe

L'amplification créée par le VOX peut être décrite de cette façon :

Tout d'abord, une source émet un signal électrique sous forme de tension alternative, chargée positivement ou négativement de manière cyclique. La note jouée par la source est définie par sa fréquence.

Dans une première lampe, la tension créée par la source va permettre au filament de chauffer la cathode, élément fait d'un métal plaqué d'oxydes favorisant l'émission d'électrons. La cathode va alors chauffer jusqu'à exciter les électrons qui seront ensuite attirés par la plaque. L'ampoule contenant du gaz ou du vide trouve son utilité dans cette étape, puisqu'elle permet au filament de la lampe de ne pas se consumer lorsqu'il est soumis à une tension.

Ensuite, lorsqu'une note est jouée, la guitare va modifier la charge de la grille, se trouvant entre la cathode et l'anode, à laquelle elle est reliée. La grille étant chargée négativement et fonctionnant comme un aimant qui repousserait les électrons, cette charge laissera passer un flux d'électrons plus ou moins grand de la cathode vers l'anode. Ce flux a la même fréquence d'émission que le signal de la guitare et cela consiste donc à amplifier ce dernier signal. Ce phénomène est appelé « pré-amplification ».

Une seconde lampe vient reproduire le phénomène précédemment expliqué afin d'amplifier le signal déjà pré-amplifié. Cette deuxième amplification sert à donner plus de puissance au signal alors que la première sert à « préparer » à la première.

Enfin un haut-parleur vient interpréter le signal reçu afin d'émettre un signal sonore correspondant à la fréquence émise en amont par la source.

### 3.1.3. **Fonctionnement spécifique à l'amplificateur Vox AC30**

En entrée de l'ampli, on reçoit le signal émis par la guitare, très faible car il n'excède généralement pas 50mV. C'est pourquoi on va le faire passer dans les différents étages de l'ampli afin d'obtenir un son qui dépendra, on le comprend bien, en partie de la guitare mais en plus grande partie de l'ampli.

Le signal reçu se heurte en premier à la pentode, qui amplifie le signal à la manière d'un amplificateur inverseur : si celui-ci est positif, il passera négatif ; si il est négatif, il passera positif. Au niveau de cette pentode, le gain est très fort car il est de l'ordre de 100 dB. Autrement dit, le rapport de la tension de sortie sur celle d'entrée est environ égal à 100 dB. Nous avons pu vérifier cette valeur grâce aux simulations sur PSpice.

On arrive ensuite au potentiomètre (au « potard », dans le jargon) de volume, qui permet tout simplement de régler le volume de l'ampli grâce à une simple rotation du bouton. Du moins en interface. Au niveau du circuit, on a en fait un pont diviseur de tension qui va permettre de ré-ajuster l'amplitude du signal selon l'utilisation qu'on en fait, dans notre cas, l'augmentation du volume mène à de la saturation qui peut être recherchée également par les guitaristes. Angus Young lui-même, le guitariste d'AC/DC, tournait à fond son potard de volume qui, combiné à sa Gibson SG, donnait le son saturé caractéristique de *Highway to Hell*.

Le signal poursuit ensuite sa route jusqu'à l'*AC Long Tailed-Pair*, le deuxième étage d'amplification. Ce dernier est un amplificateur différentiel, c'est à dire qu'il fait entrer deux lignes de tension possédant chacune leur valeur propre, et dont il multiplie et donc amplifie la différence de potentiel. Dans notre cas, le rapport des potentiels, c'est à dire le gain, vaut 30 dB. Ce montage du circuit permet également de séparer le signal initial en deux signaux qui sont décalés de sorte à être en opposition de phase (de même amplitude mais de signes opposés) et de limiter ainsi la distorsion.

Avant d'arriver au *push-pull*, le signal passe par un potentiomètre qui fait office de filtre passe-bas, c'est le potard cut que l'on pouvait retrouver aux côtés du potard de volume. Cette portion du circuit a été remplacée cette année par deux potentiomètres, *bass* et *treble*, permettant un réglage plus fin et plus complet des aigus et des graves.

Nous voici au *push-pull*, le dernier étage d'amplification. Son nom est très significatif puisque le *push-pull* va reprendre les deux signaux opposés en entrée, « tirer » vers le haut le signal de signe positif et « pousser » vers le bas celui qui est de signe négatif en les multipliant selon un coefficient donné, égal pour les deux. Le signal amplifié de chaque côté est ensuite recomposé en sortie. Pour mettre des chiffres sur ce principe, si on avait en sortie de l'*AC Long Tailed-Pair* deux signaux, un à 50V et un à -50V, soit une amplitude C-C de 100V, et qu'on multipliait par 2 les signaux, on obtiendrait respectivement des signaux à 100V et à -100V, soit après recombinaison un signal d'amplitude C-C 200V en sortie du *push-pull*.

Nous arrivons à la fin de ce circuit, lorsque le son s'apprête à sortir ! À la sortie du circuit, la résistance vue au primaire est de 15k $\Omega$  alors que les enceintes de sortie ont des résistances de 4 ou 8 $\Omega$ . On va alors assurer le maintien de la puissance grâce à un transformateur. On peut faire une analogie avec un train

d'engrenage : là où il utiliserait le rapport des dents, le transformateur va quant à lui utiliser le rapport des spires. Calculons rapidement ce rapport.

On sait que :

$$P_e = U_e^2 / R_e$$

$$P_s = U_s^2 / R_s$$

Et la formule de rapport du transformateur donne :

$$U_s = (N_s / N_e) * U_e$$

Et comme on veut  $P_e = P_s$  :

$$U_e^2 / R_e = U_s^2 / R_s$$

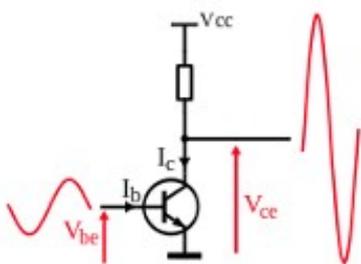
d'où  $R_s / R_e = (U_s / U_e)^2 = (N_s / N_e)^2$

A.N. :  $N_s / N_e = \sqrt{(R_s / R_e)} = \sqrt{(15000 / 4)} = \sqrt{(3750)} = 61$

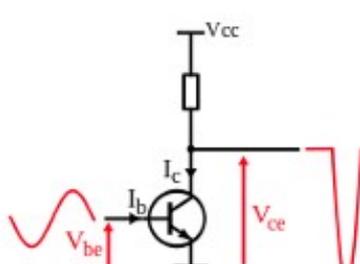
On obtient ainsi une puissance au secondaire égale à celle au primaire, en théorie, puisqu'en pratique on constatera toujours quelques pertes.

On peut conclure en remarquant que le Molly a un fonctionnement de classe AB, notamment grâce au montage *push-pull* : il fonctionne comme une classe A pour de faibles amplitudes et passe en classe B lorsqu'il doit traiter de plus grandes amplitudes. Il possède les avantages de la classe B car il est économique et a un très bon rendement. Cependant on peut en pâtir au niveau du son, qui est un peu plus pauvre qu'un ampli de classe A comme l'ampli de type Fender réalisé par l'autre groupe, mais qui a cependant un moins bon rendement.

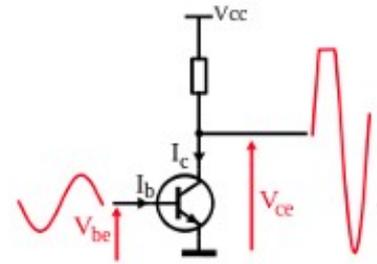
Au niveau du son, nous avons pu remarquer que le son du Molly était plus clair et cristallin alors que le son du Fender était plus grave et chaud mais très rapidement claquant et distordu. Cette différence s'explique principalement par l'utilisation du *push-pull*.



Amplificateur de classe A.



Amplificateur de classe B.



Amplificateur de classe AB.

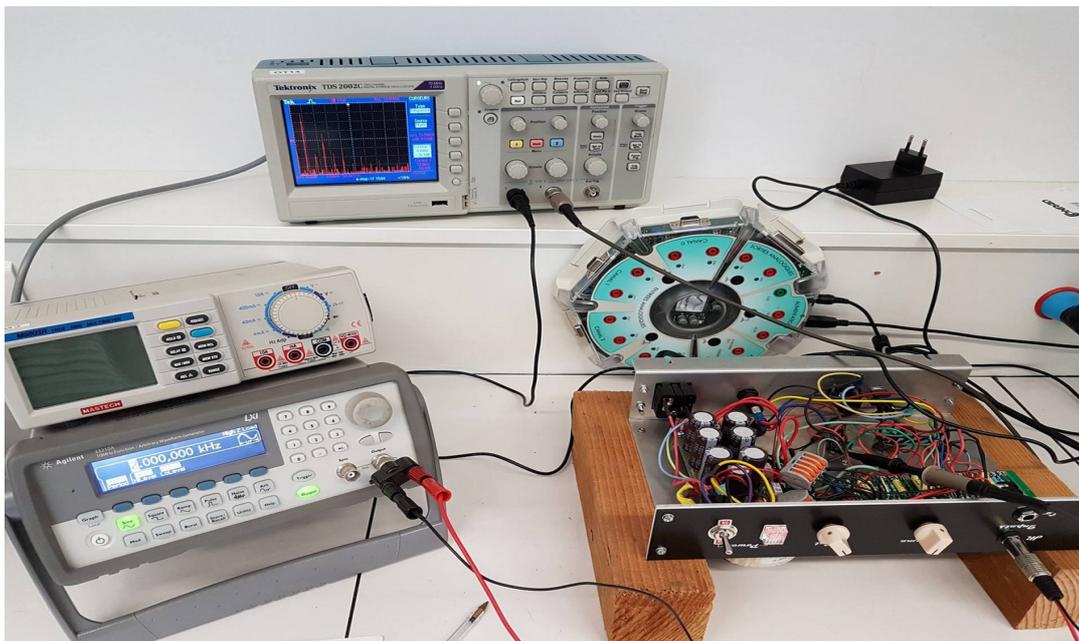
4: Différentes classes d'amplificateurs

### 3.2. Travaux réalisés

#### 3.2.1. *Mesures pratiques et théorique*

##### 3.2.1.1. *Mesures pratiques*

Nous avons débuté notre étude en se penchant sur la plage de fréquences que le Molly était amené à amplifier. Sur notre montage, nous avons mesuré le gain en décibels à différentes fréquences pures (200Hz, 500Hz, 1000Hz puis 2000Hz) à l'aide d'un oscilloscope. Ces mesures ont été faites avec une amplitude d'entrée de 70mV en crête à crête. Cela correspond à la plage de fréquence qu'une guitare peut émettre ainsi que l'amplitude moyenne du signal émis par les micros de la guitare



5: Dispositif de mesure pendant une séance

Une fois le gain obtenu, nous avons pu calculer l'amplitude de sortie maximale  $V_{Max}$  à l'aide de la formule  $V_{Max} = \sqrt{2} * 10^{(gain/20)}$

Nous avons ensuite réalisé le rapport d'amplification à chacune des fréquences choisies au départ. Ce rapport est obtenu à l'aide de l'amplitude d'entrée et de l'amplitude de sortie  $V_{Max}$  :  $Rapport\ d'amplification = V_{Max} / 0,035$

L'amplitude de sortie  $V_{Max}$  nous a aussi permis de calculer les valeurs efficaces pour chaque fréquence ainsi que pour leurs harmoniques. Nos résultats viennent de la formule :

$$Valeur\ Efficace = (V_{Max} / \sqrt{2}) .$$

Nous nous sommes ensuite intéressés à la distorsion harmonique du Molly. Nous avons remarqué que le Molly n'amplifiait pas seulement la fréquence émise par l'oscillateur mais amplifiait aussi la 3<sup>e</sup> et la 5<sup>e</sup> harmonique (ce qui correspond à la quinte et la tierce et en musique, les notes de l'accord majeur). Cette observation nous a amené à calculer différents taux de distorsion. Le premier, le taux de distorsion harmonique total ( $TDH_t$ ), est lié aux valeurs efficaces des fondamentales des quatre fréquences que nous avons choisies

au départ, alors que le taux de distorsion (  $TDH$  ) est lié aux valeurs efficaces des harmoniques obtenues à chacune de nos fréquences d'entrée.

Le  $TDH_t$  est obtenu à l'aide de la formule

$$TDH_t = 100 * \sqrt{\frac{(V_{effharmonique1}^2 + V_{effharmonique2}^2)}{(V_{efffondamentale}^2 + V_{effharmonique1}^2 + V_{effharmonique2}^2)}}$$

Le  $TDH$  est obtenu à l'aide la formule  $TDH = 100 * (V_{effharmonique} / V_{efffondamentale})$

Pour finir l'étude du Molly, nous avons étudié l'efficacité du *cut* (potentiomètre permettant d'atténuer les fréquences aiguës). La comparaison a été faite sur le gain obtenu à différentes fréquences en utilisant trois positions du *cut* : une fermée, une ouverte à moitié, et une entièrement ouverte. En utilisant une amplitude d'entrée de 0.2V, nous avons mesuré les amplitudes de sortie  $V_s$  pour chaque fréquence et chaque variation de *cut* ce qui nous a permis de calculer le gain à l'aide de la formule  $20 * \log(V_s \div V_e)$  . Nous avons ensuite réalisé un graphique représentant trois courbes du gain, pour chaque variation de *cut*, en fonction de la fréquence.

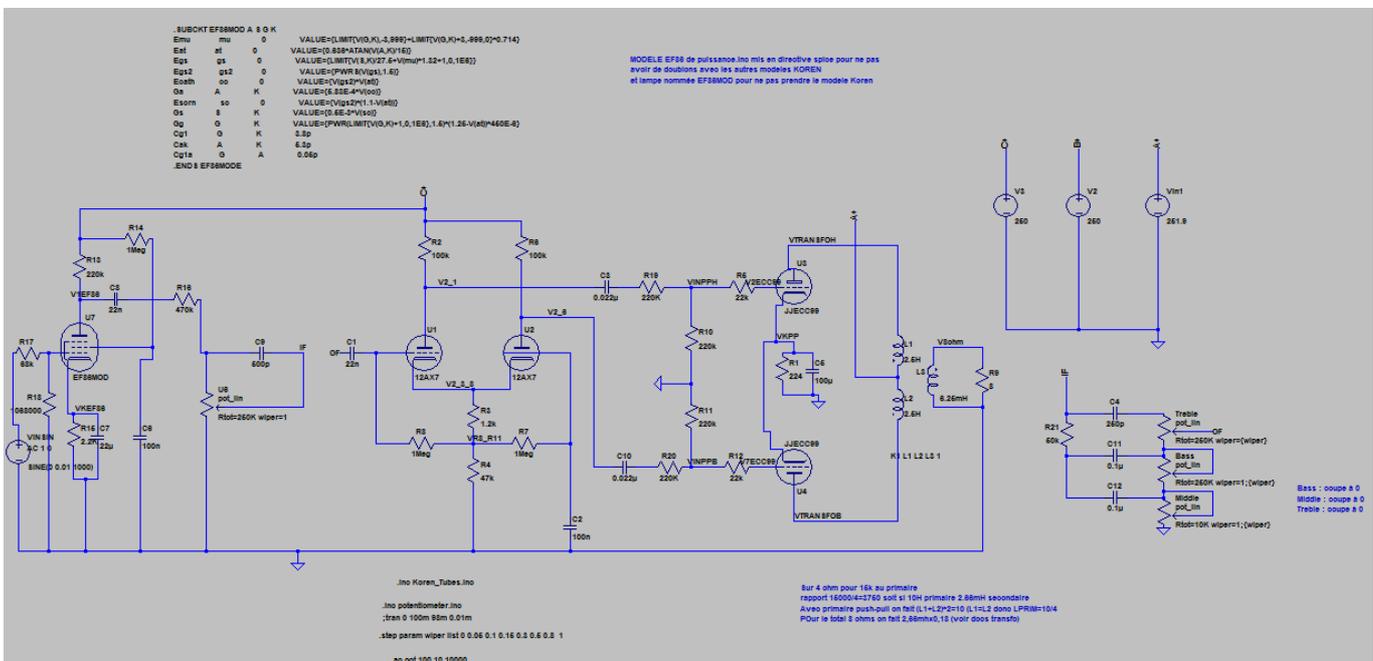
Ce graphique nous laisse remarquer que le *cut* permet de grandement diminuer le gain dans les grandes amplitudes. Par exemple à 10kHz, lorsque le *cut* est maximal, le gain maximal est divisé par 5.

### 3.2.1.2. Comparaison : de la théorie à la pratique

En parallèle de ces mesures, nous avons procédé aux mêmes relevés sur le schéma modélisé sur LTSpice. Les différences sont assez significatives : sur le modèle théorique, la fondamentale est amplifiée similairement mais on constate que les harmoniques sont bien plus présentes en réalité que lors de la simulation (on constate un écart d'environ 8dB pour la cinquième harmonique). Cet écart, ne provenant à priori pas d'incertitudes de mesures à cause de sa régularité, pourrait s'expliquer par une imprécision du modèle employé pour simuler le comportement des lampes dans LTSpice.

Concernant le taux de distorsion, on observe qu'il est inférieur sur la simulation comparé à la réalité (à 2kHz : TDH de 8,3% en pratique et 4,6% sur simulation). Cependant, lors des essais guitare, on constate que le son obtenu est cristallin et ne présentait que peu de distorsion.

Finalement, le cut coupe les hautes fréquences dans des proportions similaires dans la théorie comme dans la pratique (voir annexes 3,2,1,2).



6: Représentation de l'amplificateur avec LTSpice

### 3.2.2. Filtre Low-Medium-High

L'un des premiers objectifs que nous nous sommes fixés au début du projet était de remplacer le *cut* déjà présent sur l'ampli par un filtre plus complet permettant d'ajuster au besoin les graves, les mediums et les aigus.

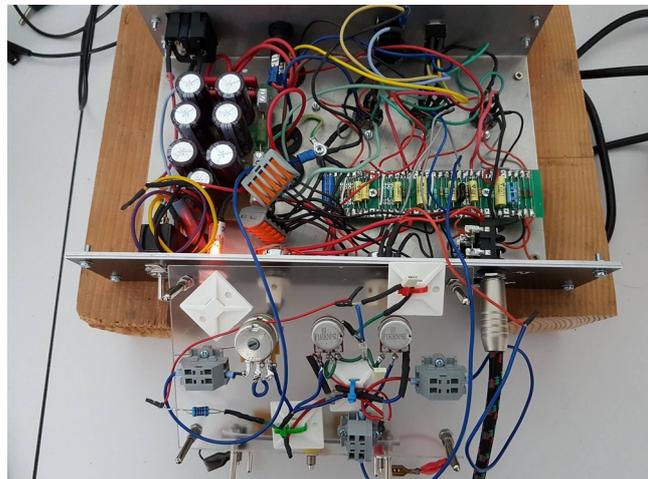
Pour se faire, nous nous sommes inspirés de filtres utilisés sur des amplis Fender et Marshall que nous avons intégré au Molly. Deux options s'offraient alors à nous : placer le filtre entre le volume et le *push-pull* ou bien l'installer directement après le *push-pull*. La première option est la plus simple à réaliser tandis que la seconde nous impose de mettre en place deux circuits en parallèle, notre signal ayant été séparé par le *push-pull*.

Après la construction du filtre sur LTSpice et son installation dans les deux configurations possibles, nous avons testé différents réglages de basses/mediums/aigus et avons obtenu des résultats très similaires. Nous avons donc choisi d'installer le filtre avant le *push-pull*, ce montage étant le plus simple à mettre en place.

A ce stade, en position neutre, le nouveau filtre coupe légèrement les basses (30dB à 500Hz contre 44dB sur l'original) et un peu plus les *mediums* (24dB à 2000Hz contre 47dB sur l'original) lors des simulations(voir annexes 3,2,2).

Nous avons donc construit avec l'aide et les conseils du personnel de l'atelier un filtre indépendant de l'ampli afin de pouvoir éventuellement le débrancher sans avoir à le dessouder. Les potentiomètres ont été fixés sur une plaque de plastique transparente et les autres composants sont fixés au verso.

Lors des essais, le gain final s'est révélé être bien faible pour un ampli à lampes. Par ailleurs, nous avons constaté que le filtre peinait à couper efficacement les aigus. Cependant, la modulation est globalement efficace et la modulation des basses est particulièrement intéressante.



7: Filtre High, Middle, Treble après le montage

Pour palier cette perte de gain, plusieurs solutions s'offrent à nous. Tout d'abord, nous pouvons ajouter un étage d'amplification supplémentaire à notre amplificateur à l'aide d'une nouvelle pentode. Cette installation est relativement lourde et a donc été rapidement abandonnée. Ensuite, nous pouvons abandonner l'idée d'utiliser un filtre passif pour passer sur un système de filtrage actif à l'aide d'un amplificateur opérationnel. Ce schéma serait cependant plus complexe et nécessiterait l'installation d'une alimentation supplémentaire. Ayant peu de temps à notre disposition à ce stade du projet, l'idée a donc été abandonnée. Reste alors la solution d'ajuster les valeurs de résistances et de condensateurs.

Après quelques essais sur Spice, nous avons décidé de réduire la valeur de la résistance de 250k à 50k et de passer la valeur du condensateur relative au passe-bandes de 250p à 0,1 $\mu$ . Ainsi, nous obtenons d'une part un gain globalement plus élevé (au prix d'une modulation légèrement moins prononcée) et les *mediums* sont plus efficacement coupés (le filtre précédent coupait énormément les *mediums*, même avec le potentiomètre ouvert au maximum. Cette seconde modification n'impacte par ailleurs que très peu la qualité de la modulation des *mediums*).

De retour de l'atelier avec notre nouveau filtre, les essais se sont révélés plus concluants : le gain est légèrement supérieur et la modulation des *mediums* est plus intéressante. Cependant, la modulation des aigus est bien inférieure au *cut* pré-existant.

#### **4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

Finalement, notre kit TT Molly présente des valeurs de gain, et de distorsion similaires à notre version simulée sur LT Spice. Cela nous montre que notre appareil ne possède pas de défaut dans le montage et que le circuit simulé sur ordinateur lui est assez fidèle. Seules quelques amplitudes d'harmoniques sont différentes et peuvent être notables. Cependant elles sont probablement dues au fait que la simulation représente une version « parfaite » du circuit.

Après avoir monté l'égaliseur sur notre amplificateur, nous avons pu noter quelques différences, mais avons manqué de temps afin de faire de réelles mesures. En effet une baisse de l'amplification s'est faite entendre, ce qui était prévisible grâce à la simulation du filtre sous LT Spice. De plus, l'égaliseur s'est montré très efficace dans les graves ainsi que les *mediums* ce qui correspond aussi aux mesures obtenues sur l'ordinateur, témoignant une nouvelle fois de la cohérence entre notre modèle virtuel et notre modèle réel.

Lors des deux dernières séances de notre projet, en guise de test du travail réalisé, nous avons effectué différents enregistrements à l'aide de l'amplificateur des deux projets réalisés conjointement (Fender et Vox). Pour ce faire, l'un de nous, guitariste, a enregistré les mêmes morceaux en raccordant sa guitare au deux amplificateurs successivement afin de détecter d'éventuelles différences. Même si l'appréciation du son reste subjective et propre à chacun nous avons tous constaté des différences marquantes entre les deux modèles en particulier une distorsion plus importante sur l'ampli Fender.

Il était très agréable de prendre en quelque sorte la relève dans un projet initié l'année dernière qui était de « construire » l'amplificateur et qui avait été réalisé avec brio. Le fait de pouvoir y apporter des modifications afin de le perfectionner au mieux fut un réel plaisir.

C'est pour ces raisons que nous avons été agréablement surpris d'entendre les conséquences sur le son qu'apportait notre modification. C'est même avec une certaine fierté que nous avons effectué les différents tests et enregistrements puisque chaque soudure a été réalisée de notre propre chef et avec l'aide non négligeable des trois techniciens, Pascal Williams, Hélène Rade et Michael Jolly que nous remercions chaleureusement.

Portant tous les cinq un intérêt important pour la musique, plusieurs d'entre nous étant même musiciens, le domaine abordé dans ce projet nous a immédiatement plu. De plus, une étude simplement théorique du fonctionnement de l'amplification des instruments aurait sans doute été moins intéressante pour nous tous, c'est pour cela que nous avons choisi de reprendre le travail effectué l'année dernière afin d'y apporter des améliorations.

Nous sommes pleinement satisfaits de ce projet qui allie à la fois découverte, travail manuel et recherche. La bonne entente au sein du groupe a permis un travail en équipe efficace et nous a appris les différentes subtilités de la réalisation d'un projet sur plusieurs mois, ce qui nous semble indispensable dans notre cursus d'ingénieur. En effet, dans notre cursus préparatoire qui nous offre une formation principalement théorique, ce projet nous permet une ouverture sur les projets futurs et est, selon nous, un excellent exercice.

Nous envisageons cependant quelques modifications : en effet, le cut ayant un impact bien plus probant que notre filtre aigu, nous pourrions envisager de retirer notre filtre High au profit de l'ancien cut. Nous aurions alors une excellente modulation sur toutes les fréquences. Par ailleurs, le choix de réaliser un amplificateur actif est intéressant et pourrait se révéler plus efficace que notre filtre passif actuel.

Pour finir, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Richard Grisel pour l'aide, les connaissances poussées et les explications précises et fournies qu'il nous a apportées tout au long de ce projet.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

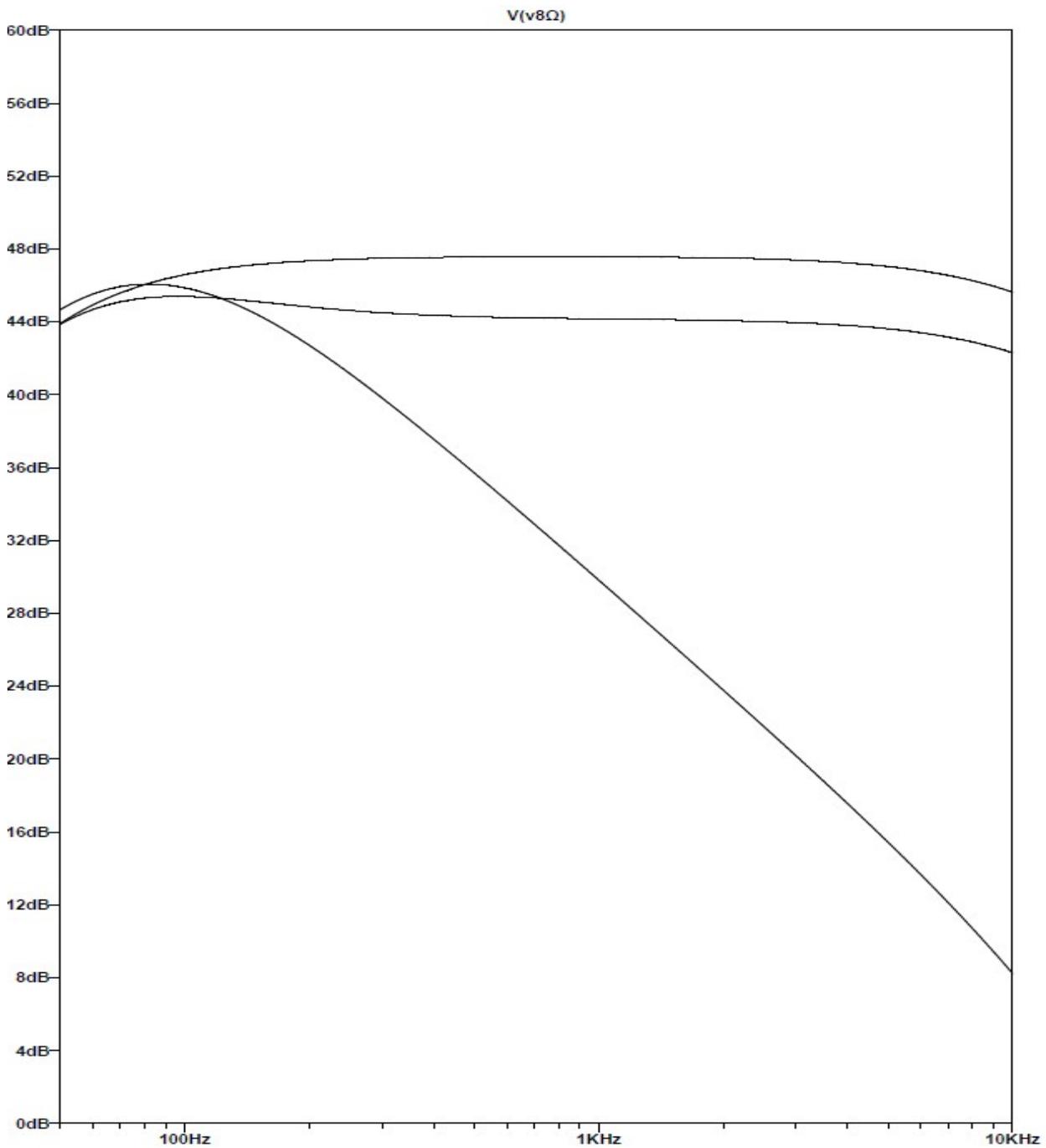
<http://reine-marguerite/dossiers/amplificateur/tout-savoir-sur-les-lampes> (20/05/17)

<https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/egaliseur-3-bandes-pour-preampli-guitare>  
(1/06/17)

<http://renaud.battle.free.fr/index24.htm> (17/06/17)

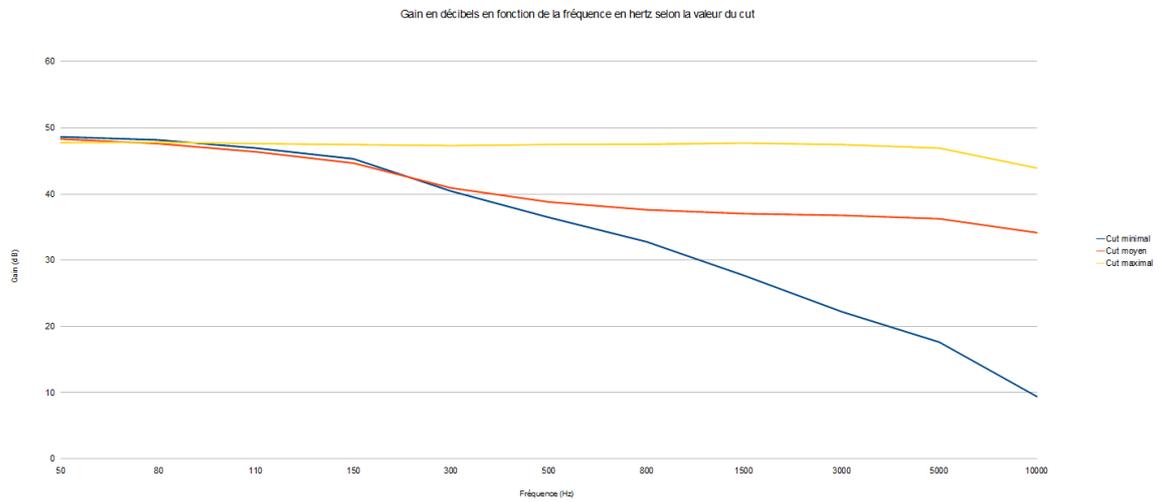
## 6. ANNEXES

### 3.2.1.2



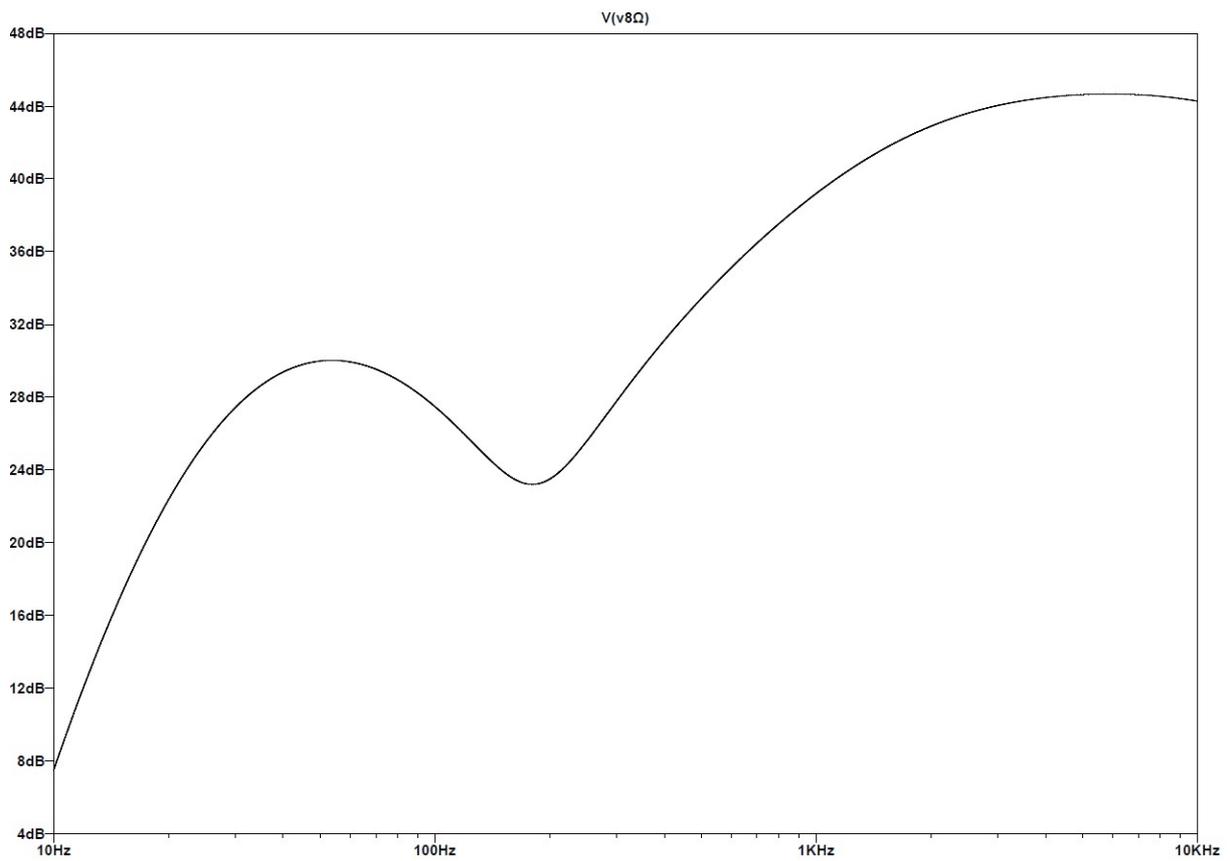
8: Cut théorique

	Vs à 1	Vs mid	Vs à 0	Ve	Cut minimal	Cut moyen	Cut maximal
50	5,4	5,2	4,88	4,88	0,02 48,62727528 48,25946896	47,74779883	
80	5,12	4,8	4,92	4,92	0,02 48,16479931 47,60422483	47,81870214	
110	4,44	4,16	4,8	4,8	0,02 46,92705949 46,3612687	47,69422483	
150	3,68	3,42	4,72	4,72	0,02 45,29635648 44,65992221	47,45324006	
300	2,1	2,22	4,64	4,64	0,02 40,42378588 40,90645658	47,3097597	
500	1,33	1,74	4,72	4,72	0,02 36,45643291 36,79039505	47,45824006	
800	0,972	1,52	4,76	4,76	0,02 32,78972979 37,61627165	47,53163314	
1500	0,484	1,42	4,84	4,84	0,02 27,67630732 37,02516697	47,67630732	
3000	0,258	1,38	4,72	4,72	0,02 22,21179421 36,77898181	47,45824006	
5000	0,152	1,3	4,44	4,44	0,02 17,61627185 36,25226713	46,92705949	
10000	0,059	1,02	3,14	3,14	0,02 9,39644832 34,15140352	43,91795305	

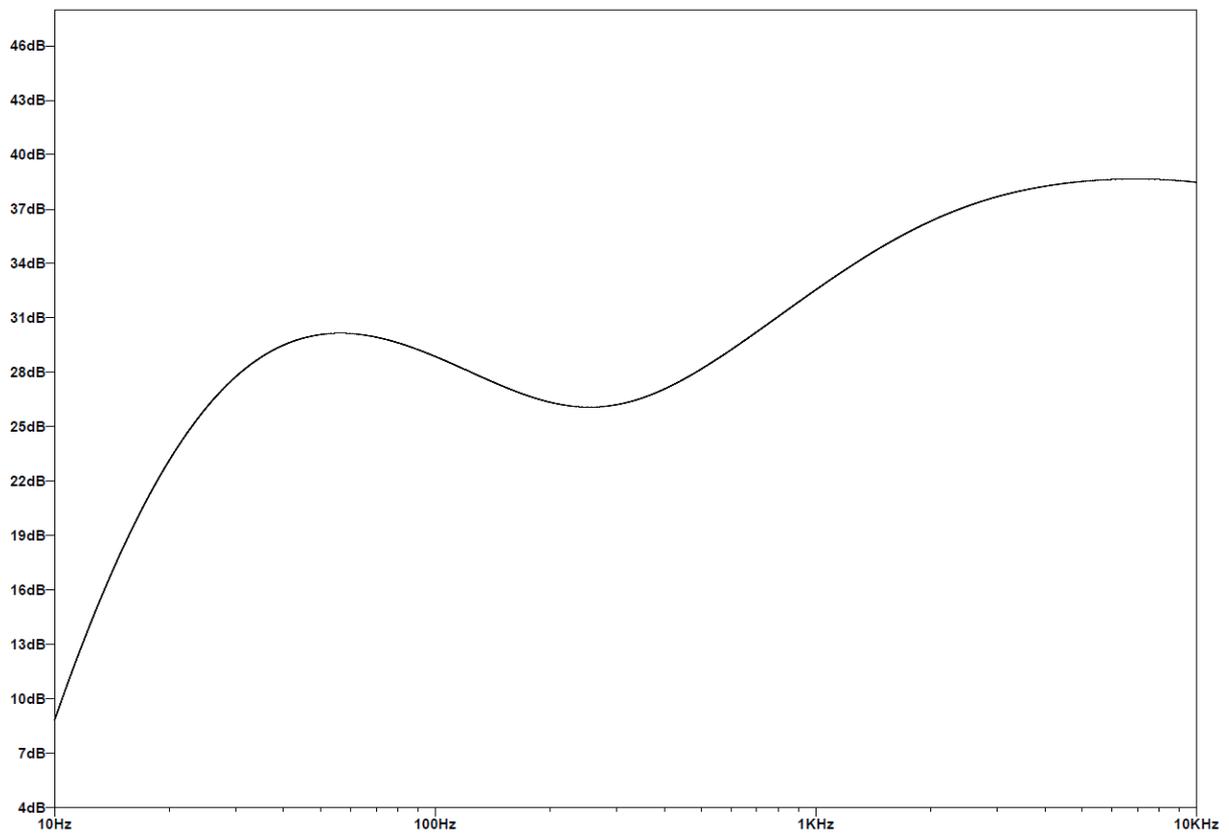


9: Cut réel

**3.2.2**



*10: Gain avec filtre inactif (1ère version)*



*11: Gain avec filtre inactif (2ème version)*