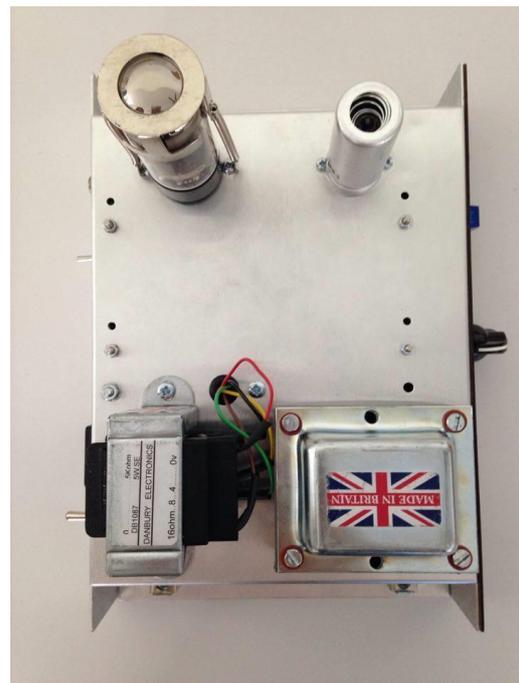
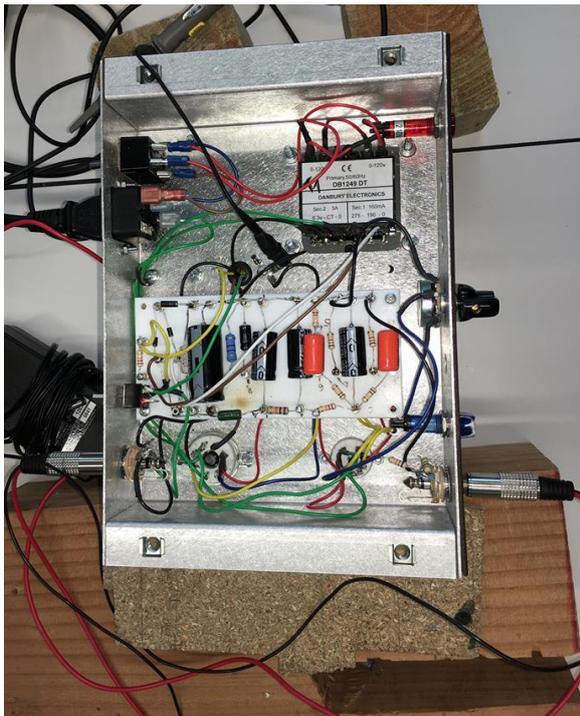


L'amplificateur à lampes Fender Champ E1 – Etude/Modélisation/Réalisation



Etudiants

Constance PIERRARD

Annita TILAWAT

Lina MANALI ZEBADI

Romain MALEUVRE

Delphine BANNIER

Enseignant-responsable du projet :

Richard GRISEL

Date de remise du rapport : 13/06/2016

Référence du projet : STPI/P6/2016 – 48

Intitulé du projet : L'amplificateur à lampes Fender Champ E1 – Etude/Modélisation/Réalisation

Type de projet : Simulation, montage, expérience

Objectifs du projet :

L'objectif de notre nouveau projet est de réaliser un amplificateur à lampe afin de comprendre son fonctionnement tout d'abord grâce à la simulation, puis le montage du kit. Finalement tester l'amplificateur à lampe et on compare les résultats théoriques et expérimentaux.

Mots-clefs du projet: Amplificateur, lampe, réalisation

Sommaire

I.	Introduction	5
II.	Organisation du travail	6
III.	Travail réalisé :	
	1. Caractéristiques de l'amplificateur à tubes	7
	2. Structure	9
	3. Modélisation et mesures théoriques	13
	4. Montage	15
	5. Tests et mesures	24
IV.	Conclusion et perspectives	25
V.	Annexes	26
VI.	Bibliographie	30

Introduction

Dans le cadre de notre projet, nous avons décidé d'étudier, puis par la suite de réaliser un amplificateur Fender Champ.

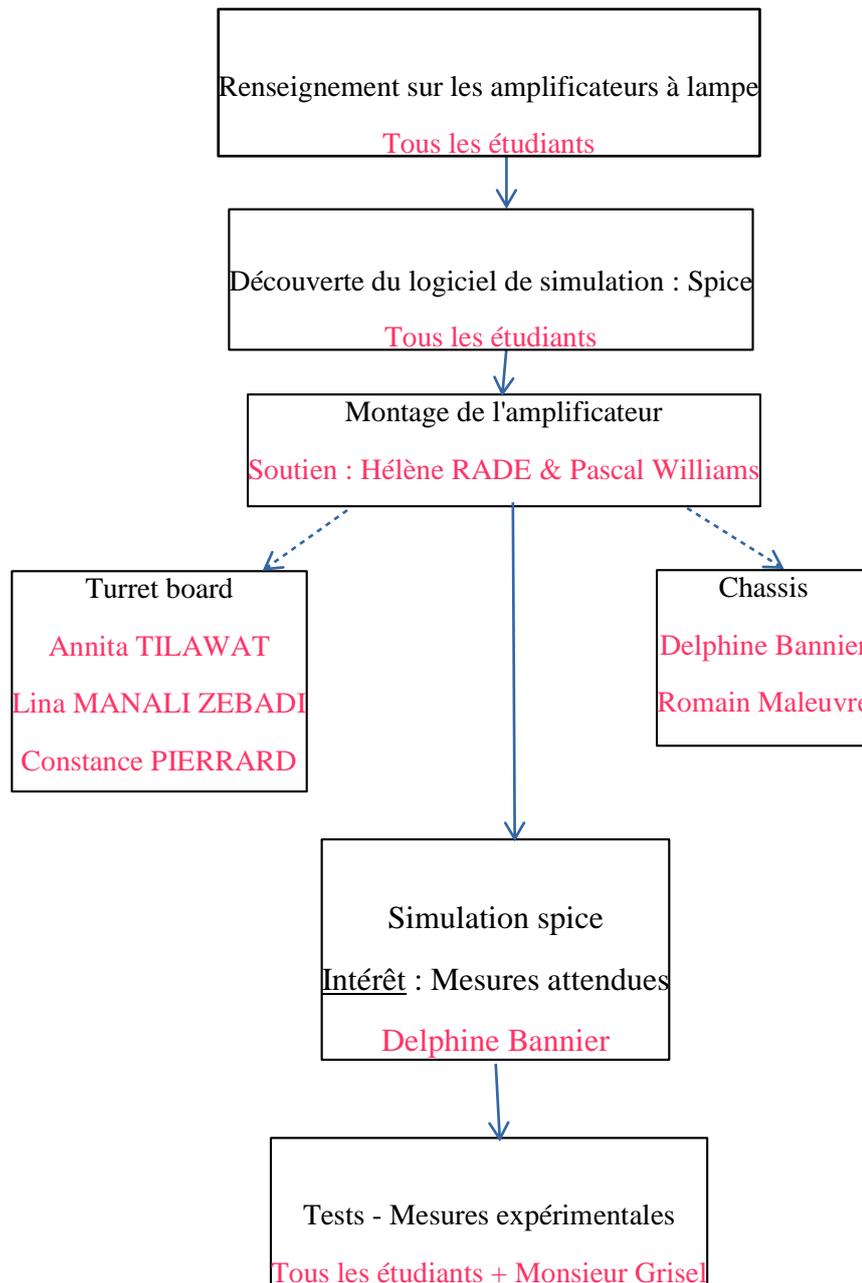
Tout d'abord, expliquons ce qu'est un amplificateur à lampes ainsi que son utilité.

Un amplificateur à lampes est un composant électronique utilisé généralement comme un amplificateur de signal. Ainsi, le but premier de cet amplificateur est de transmettre non seulement le timbre, la coloration qui modifie le timbre par modification du gain dans différentes plages de fréquence, mais également la dynamique c'est-à-dire la façon dont l'amplitude du signal varie dans le temps. La particularité de l'amplificateur à lampes est donc de transmettre tout cela sans pour autant modifier les composantes citées précédemment. Cette transmission se fait donc depuis la source sonore, jusqu'à sa conversion en puissance acoustique par les baffles.

En effet, au sein de ce projet, notre but est en premier lieu de nous initier à un logiciel de simulation nommé P-Spice, qui nous permettra de mieux nous représenter et d'avoir une approche plus concrète des composants de l'amplificateur. Cette simulation a donc pour but de nous permettre de visualiser l'intégralité du circuit de l'amplificateur.

Puis, après s'être informé sur les différentes classes d'amplificateurs à lampes et sur l'utilité des pièces composants ceux-ci, l'objectif est donc de procéder au montage de l'amplificateur composé lui-même d'un châssis et d'une turret board. Enfin, une fois l'amplificateur à lampes monté en intégralité la dernière étape consiste à effectuer les différentes mesures de gain et de tensions d'entrée et de sortie notamment. Après les mesures effectuées, des tests devront donc être faits à l'aide d'une guitare électrique pour vérifier que l'amplificateur et donc que toutes ses composantes fonctionnent correctement.

Organisation du travail



Premièrement nous nous sommes tous renseignés sur les amplificateurs à lampe pour accumuler des connaissances personnelles sur le sujet afin de tous bien comprendre notre projet au sens général. La découverte du logiciel de simulation a également été essentielle pour comprendre plus précisément le fonctionnement de l'amplificateur.

Ensuite, nous nous sommes séparés en deux groupes pour réaliser le montage de l'amplificateur pour plus d'efficacité. Enfin une simulation théorique spice a été capitale pour prévoir les mesures expérimentales et les comparer aux mesures théoriques.

Travail réalisé

A. Caractéristiques de l'amplificateur

A. Amplificateur à lampe

Les premiers amplificateurs électroniques ont été réalisés en 1906 par l'américain Lee De Forest.

Un amplificateur électronique permet d'augmenter la tension et l'intensité d'un signal électrique. Pour amplifier le signal, le système électronique utilise l'alimentation électrique du système pour obtenir l'énergie nécessaire à l'amplification. Un bon amplificateur ne déforme pas le signal en entrée et permet ainsi d'obtenir un signal en sortie identique et amplifié qui permet à l'ensemble du système d'utiliser ce signal. Nous pouvons trouver des amplificateurs dans l'ensemble des circuits électroniques.

Il existe 4 grands types d'amplificateurs. Tout d'abord nous avons les amplificateurs intégrés qui sont présents sous la forme d'un circuit intégré. Ce type d'amplificateur contient des transistors, des diodes, des résistances et des condensateurs. On trouve aussi des amplificateurs opérationnels qui permettent d'effectuer des opérations mathématiques grâce à la tension.

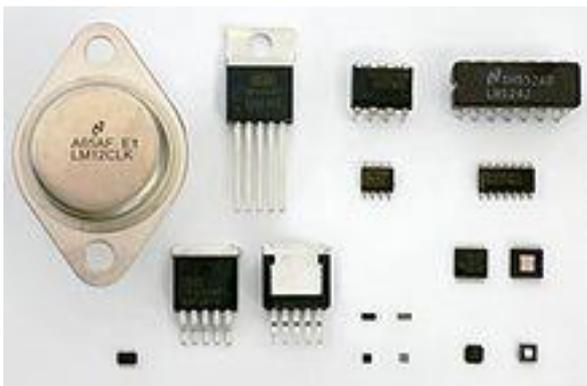


Illustration 1: Amplificateurs opérationnels

L'amplificateur que nous allons utiliser se découpe en 3 parties. La première partie représente la pré-amplification. Cette partie permet d'amplifier et de modéliser le son en provenance de l'instrument. La deuxième partie est l'amplification de puissance. Le but de l'amplification de puissance est de restituer le signal avec une puissance plus importante. Et enfin la dernière partie est le haut-parleur. Le haut-parleur est souvent composé d'une bobine qui transforme le signal électrique en force mécanique.

Dans notre cas, c'est-à-dire pour amplifier le son d'une guitare par exemple, nous avons remarqué que nous avons 2 différentes technologies à notre disposition. La première technologie étant les lampes ou aussi appelé tubes. Mais qu'est-ce qu'une lampe ? Une lampe est un tube en verre dans lequel le vide a été créé dans lequel sont placés des électrodes. Nous verrons son fonctionnement et sa structure dans la partie suivante.

La seconde technologie utilisée est l'amplificateur avec des transistors. Les transistors sont des composants électroniques qui fonctionnent sur le même principe qu'une triode. Les transistors sont raccordés par l'émetteur et le collecteur et le signal arrive par la base qui lui permet d'être amplifié.

L'une des seules différences entre ces 2 différents types d'amplificateurs est que l'ampli à lampe rend le son plus agréable alors que l'ampli à transistor donne un rendu parfait du son.



Illustration 2: Lampe pour amplificateur

B. Amplificateur classe A

Les amplificateurs sont classés par classe. Le nom des principales classes est A, B, AB, D et H. La classe d'un amplificateur est définie à partir de la forme du signal d'entrée et la forme du signal de sortie et de la durée où le composant est actif lors de l'amplification du signal.

Dans cette partie, nous allons surtout expliquer le fonctionnement des amplificateurs de classe A. Un amplificateur de classe A reproduit de manière identique le signal en entrée et en sortie. Par ailleurs, l'amplificateur de classe A possède la distorsion la plus basse. Cependant, un amplificateur de cette classe chauffe énormément, il y a donc d'énormes pertes d'énergie thermique c'est pour cela que les amplificateurs sont peu puissants (entre 30W et 50W), on peut donc en déduire qu'un amplificateur de cette classe consomme énormément de courant.

Si nous faisons le bilan de puissance d'un amplificateur de classe A, nous verrons que le rapport entre la puissance utile et la puissance fournie en permanence, nous verrons que le rendement vaudra seulement 50%. En prenant en compte les tensions et courants résiduels, le rendement est inférieur à 40%. La classe A est donc un mode de

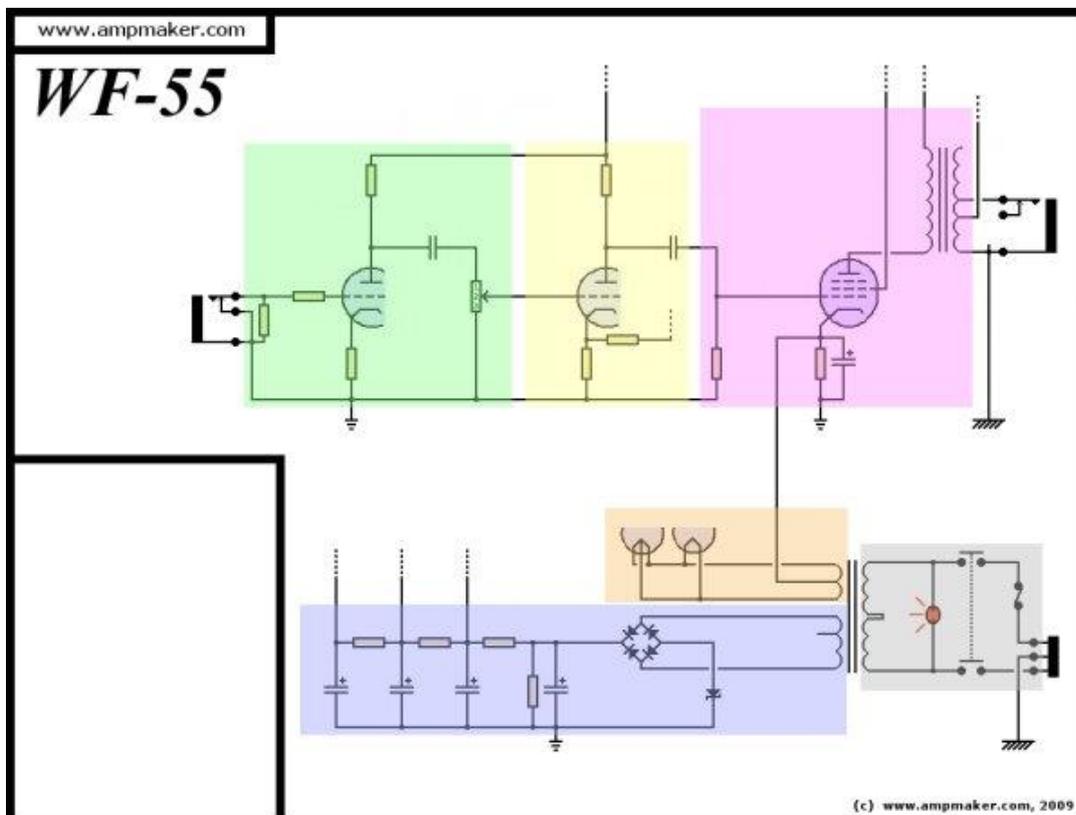
fonctionnement à mauvais rendement. On utilise les amplificateurs de classe A pour réaliser des étages de pré-amplifications, des amplificateurs hautes fréquences ou encore des amplificateurs audio. Par la linéarité de ces amplificateurs, de nombreux musiciens préfèrent un amplificateur de classe A que de classe B.

B. Structure

L'amplificateur WF-55 est constitué de 2 étages d'amplification et d'un étage de sortie. Afin de clarifier la structure, nous allons vous présenter les différents étages, leurs rôles ainsi que les éléments importants de l'amplificateur.

A. Structure générale

Le but d'un amplificateur est en premier lieu d'augmenter la puissance du signal, soit son amplitude, sans altérer le son d'entrée. D'autre part, pour les guitaristes, le but n'est pas de restituer le son en lui-même mais d'en produire un « nouveau » amplifié et modifié selon la dynamique, la coloration, un timbre.



Montage de l'amplificateur

✚ Etage d'amplification

Pour amplifier un son, on utilise un ou plusieurs composés actifs tels que les transistors ou les lampes. Dans le cas du WF-55, on utilise deux étages amplificateurs à lampe. On utilise plus spécifiquement une double triode ECC83, une triode se retrouve dans le premier étage d'amplification (partie verte du schéma) tandis que le reste de l'ECC83 dans le second étage (partie jaune).

➤ Qu'est-ce qu'une triode ?

Une triode est en réalité une vanne à courant électrique composé d'une cathode, d'une anode et d'une grille de commande.

Plus simplement, une triode cherche de l'énergie, dans un circuit électrique, on cherche donc à créer un flux d'électrons ainsi qu'un dispositif pour la moduler. Dans un premier temps, on prend deux électrodes (2 plaques de métal) et on cherche à faire circuler un flux d'électrons à l'intérieur. Pour cela, on les place suffisamment proche sous une forte tension dans un tube de verre - afin de créer un quasi-vide. On chauffe la cathode (le plus souvent avec une résistance) ce qui va arracher les électrons de ce dernier et former un nuage électronique peu stable. Ce nuage va par la suite être attiré par l'électrode à potentiel positif : l'anode.

On obtient un flux constant d'électrons qui ne peut circuler que dans un seul sens, on a une diode (2 électrodes : la cathode d'où part les électrons pour arriver sur l'anode) à vide. Il faut à présent moduler ce flux à forte tension et d'une intensité remarquable.

Pour cela, on place une grille de métal entre les deux électrodes et on la porte à un potentiel négatif. Si la tension est élevée, on peut arrêter le flux d'électrons étant donné que les particules de mêmes signes se repoussent. On peut ainsi moduler le flux d'électrons, la grille de métal est la troisième électrode.



Ici, l'ECC83 est composée de deux triodes qui peuvent fonctionner de façon indépendantes, elles ont un fort gain en tension. Elle est plutôt indiquée pour préamplifier des faibles signaux.

On peut mettre en série plusieurs étages d'amplification afin de d'augmenter le gain global. On utilise ainsi chaque composant « actif » sur un étage afin de minimiser ses faiblesses et exploiter ses apports au système. Effectivement, chaque étage répond à des besoins spécifiques, chaque étage sera donc monté selon ces derniers.

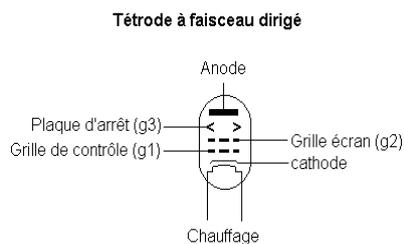
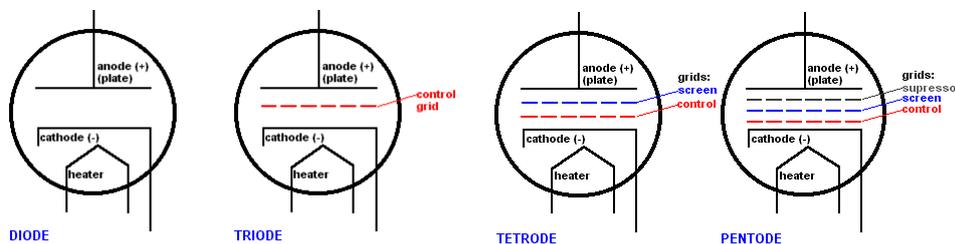
✚ Etage de sortie

Cet étage est le lieu de l'amplification de la puissance afin de pouvoir mouvoir la membrane du haut-parleur, on passe alors des quelques millivolts en entrée à plusieurs dizaines de Volts (on obtient ainsi des amplitudes de signal fortes) et on produit aussi de l'intensité. L'étage de sortie est composé du tube 6V6 ainsi que d'un transformateur (partie rose du schéma).

Remarque : l'intensité et la tension électriques ont pour analogie respectives le débit et la hauteur d'une chute d'eau. On rappelle que $P = U \cdot I$. Ici, on utilise une pentode 6V6 qui utilise des grandes tensions et de faibles intensités.

➤ Qu'est-ce qu'une pentode ?

Une pentode est une évolution de la tétrode qui est une amélioration de la triode vue précédemment. La tétrode possède une électrode de plus que la triode, une grille écran placée entre l'anode et la grille de commande. Grâce à cet ajout, on peut utiliser le tube électronique à de plus hautes fréquences et il permet un meilleur gain. Cependant, ces avantages conduisent également à une discontinuité dans les caractéristiques tension/courant. C'est pour cela qu'a été inventée la pentode qui possède une grille d'arrêt entre l'anode et grille écran.

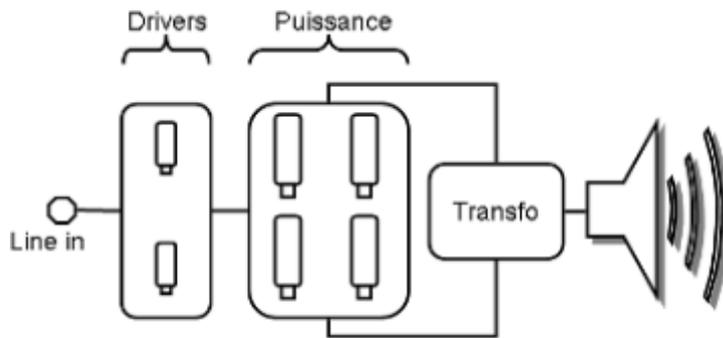


Cependant, le tube utilisé ici n'est pas exactement une pentode, en effet le tube 6V6 est une tétrode à faisceau dérivée. Il essaye de combiner les avantages de la triode et de la pentode. Ce faisant, on obtient un tube parfaitement adapté à l'amplification de la puissance. Ce qui différencie la tétrode à faisceau dérivée et la pentode est l'utilisation de deux plaques de métal au lieu de la grille d'arrêt classique.

B. Rôle du transformateur

Dans un montage, une impédance est la grandeur reliant l'intensité et la tension. Or, on cherche à obtenir une différence d'impédance peu importante entre l'impédance de sortie de l'amplificateur et celle d'entrée du haut-parleur. Dans le cas contraire, on perd de la puissance sous forme de chaleur.

Dans un amplificateur à lampe, cette différence d'impédance est importante, il faut donc l'adapter afin d'optimiser les gains. Souvent, on abaisse la tension, pour abaisser l'impédance. De ce fait, l'intensité diminue du fait de la conservation d'énergie.



Ampli de puissance à lampes

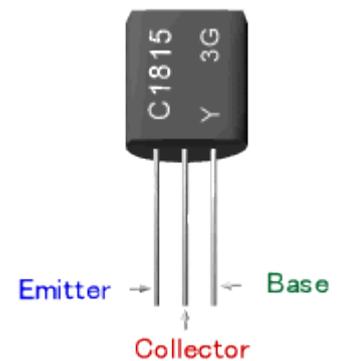
On note que le transformateur joue un rôle primordial dans la qualité du son sortant. C'est notamment cet élément de l'amplificateur qui est coûteux.

De plus, le transformateur permet le phénomène d'isolation galvanique entre l'amplificateur et le haut-parleur, c'est-à-dire que les deux circuits n'ont aucune liaison conductrice. L'énergie est alors transférée par liaison électromagnétique.

⚡ Différences étage à transistor et étage à lampe

Tout d'abord, quelle est la différence entre une lampe et un transistor ? Ce dernier a en réalité un fonctionnement similaire à une triode avec un émetteur, un collecteur ainsi qu'une base comme sur la figure ci-contre.

La base reçoit le signal et les deux autres électrodes peuvent être chargées négativement ou positivement tant que les deux ont un signe différent.



Au niveau des amplificateurs de guitare, les puristes préfèrent de loin les amplis à lampe alors que le transistor possède de nombreux avantages. Il est plus fiable, moins fragile, ne nécessite pas de transformateur en étage de sortie et plus efficace. Alors pourquoi n'est-il pas plus répandu si plus efficace et moins coûteux ? C'est notamment au niveau de la saturation et des plages de fonctionnement des lampes que les différences se remarquent. En effet, lorsque le guitariste sature le son avec un ampli à lampe, la transition est douce et naturelle tandis qu'avec un ampli à transistor, on a une coupure nette.

De plus, le son sortant d'un ampli à lampe semble sonner plus fort qu'un ampli à transistor, cela est dû au fait que les lampes acceptent de fonctionner en dehors de leurs plage de fonctionnement durant un certain laps de temps contrairement aux transistors, plus fragiles électriquement.

C. Mesures théoriques et modélisation

Dans cette partie, nous allons tenter de comprendre comment le signal électrique d'entrée de l'amplificateur est amplifié. En fait, le signal est amplifié à trois reprises, grâce tout d'abord à deux petites doubles triodes de type ECC83 et enfin à l'aide d'une pentode 6V6.

Nous allons donc déterminer les gains théoriques engendrés par ces trois étages à l'aide, d'une part, de graphes théoriques mis à disposition par les fabricants des lampes (annexe1 et 2), puis, d'autre part, nous nous appuyerons d'un modèle réalisé avec le logiciel LtSpice (annexe3).

A. Mesures à l'aide des graphes fournis par les distributeurs de triode

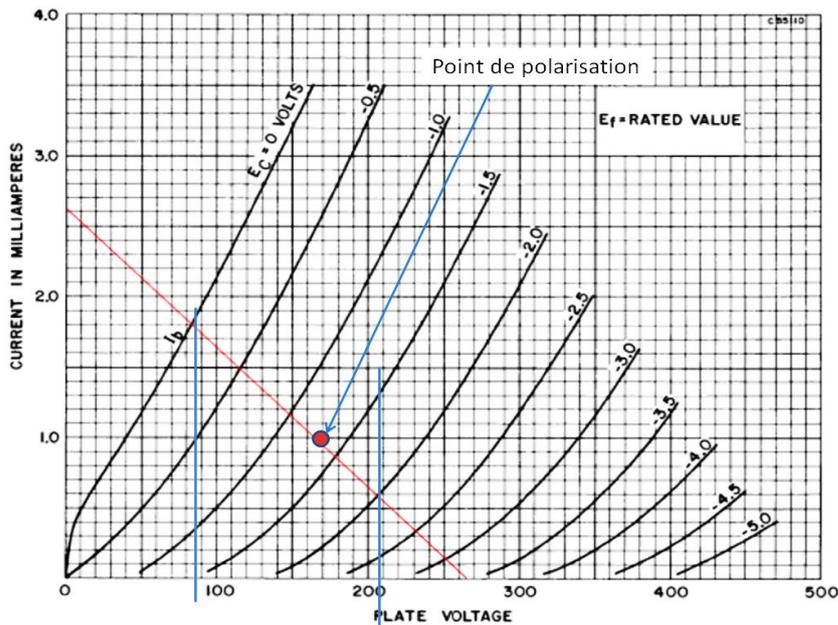
Le but est ici de déterminer le gain qu'apporte un tube ECC83 en traçant la droite de charge sur un graphe présentant l'intensité en fonction de la tension V_a . Pour tracer cette droite, on utilise la relation donnée par la loi de Kirchhoff pour un générateur $U=E-RI$ c'est-à-dire $I=(U-E)/R$, sachant que la tension U aux bornes de la première lampe vaut 250V, et que la résistance R vaut 100k Ω .

Le point de polarisation (indiqué en rouge sur la figure) se trouve à l'intersection de cette droite (dite de charge) et de la courbe correspondant à la tension de grille en continu ; ici -1,393.

Le gain se trouve ensuite aisément en calculant $(\Delta V_a)/(\Delta V_g)$ autour de ce point de fonctionnement, par exemple si l'on choisit un ΔV_g de 2V (entre 0 et -2V), on regarde l'abscisse des points d'intersection de la droite de charge et des courbes $V_g=0V$ d'une part, $V_g= -2V$ d'autre part. On obtient finalement un gain de $\Delta(V_a)/\Delta(V_g)= (200-80)/2=60$ si la résistance de la cathode (R_4 sur l'annexe 0) est court-circuitée par un condensateur.

Cette valeur peut être vérifiée sur le site <https://www.ampbooks.com/mobile/amplifier-calculators/cathode-capacitor/> :

Ici ce n'est pas le cas, il n'y a pas de condensateur donc il n'y a pas de découplage de la résistance. Il faut donc prendre en compte la variation de l'intensité du courant due au signal sinusoïdal dans le calcul du gain. On a ainsi la relation $DV_{in}=DV_g + R_k DI_k$ avec $R_k=1500$ ohms. De plus, à l'aide de la courbe ci-dessous, on trouve que si DV_g augmente de 1V alors DI_k augmente de 0,6mA d'où $DV_{in}=+1 + 0,6 \times 1,5=+1,9$. De même si DV_g diminue d'un Volt, $Dv_{in}= -1 - 0,6 \times 1,5=-1,9$. Ainsi pour un Dv_g égale à 2 on a $Dv_{in}=3,8$. On obtient finalement $Dv_a/Dv_{in}=120/308=31,6$.



On peut également vérifier cette valeur sur le même site que précédemment, en appliquant une valeur très faible au « bypass capacitor » :

← more
recalculate ↻
© Amp Books LLC

gain at 82Hz (low E)	29.82 (29.49 dB)
gain at 10kHz	29.82 (29.49 dB)
12AU7 12AT7 12AX7 12AY7 6SN7 5751 6386 6922	12AX7
bypass capacitor C_K (uF)	0.000001
grid resistor R_G (kΩ)	100
plate resistor R_L (kΩ)	1000
cathode resistor R_K (kΩ)	1.5

Par ailleurs, le deuxième étage de pré amplification est équipé d'un retour sur contrôle, également appelé « feedback ». Le gain de ce montage étant plus difficile à calculer puisqu'il fait appel à la théorie des asservissements, le professeur nous a directement indiqué sa valeur qui est égale à 15.

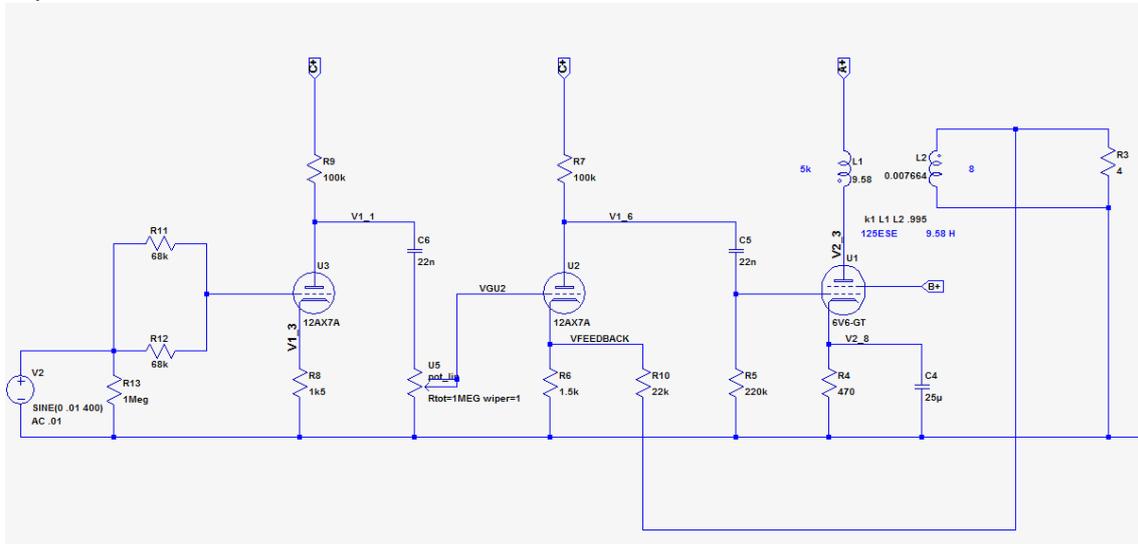
En traçant la droite de charge du tube 6V6 de la même manière que précédemment (voir annexe 2), on montre que son gain est de 18,25. On obtient donc un gain de $31,6 \times 15 \times 18,25 = 8650$ après les 3 étages d'amplification.

Par ailleurs, le transformateur situé entre la lampe 6V6 et la sortie de l'amplificateur permet de réduire la valeur de la tension délivrée sans en modifier la fréquence ni la puissance. Le rapport des tensions entre l'entrée et la sortie du transformateur vaut donc, comme $P_1=P_2$ et $P=U^2/R$, $(U_2/U_1)^2=(R_2/R_1)$. Cette relation nous donne finalement un gain de $U_2/U_1=\sqrt{4k\Omega/5\Omega}=1/35,35$ pour le transformateur.

Finalement, le gain total théorique de l'amplificateur est donc de $8650/35,35=244,7$

B. Modélisation LtSpice

Afin de vérifier les mesures que nous allons obtenir avec notre amplificateur, nous avons utilisé une modélisation du WF-55 avec le logiciel LtSpice (<http://www.linear.com/designtools/software/>). Ce dernier nous a permis de mettre en évidence les gains entre les différents étages d'amplification. Pour obtenir les résultats présentés ci-dessous, nous avons reproduit le schéma de l'amplificateur (figure ci-dessous) et fait une simulation de type transitoire avec un signal d'entrée de fréquence 400Hz et d'amplitude crête-crête de 20mV.

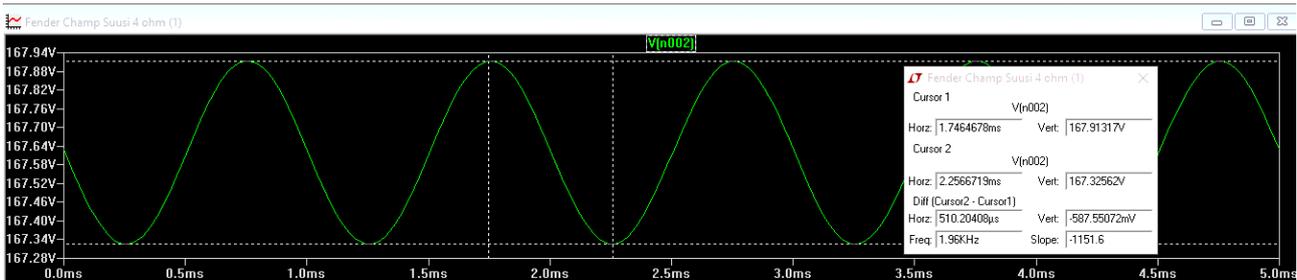


La mesure dans la fenêtre de simulation se fait avec les curseurs : ils indiquent directement la différence de potentiel crête à crête pour chaque point. Le rapport de la tension de sortie à l'anode d'une lampe sur la tension d'entrée (à la grille) de celle-ci donnait ensuite le gain apporté par cette lampe.

La modélisation a aussi permis de souligner le rôle des condensateurs. En effet, on s'aperçoit que la valeur moyenne continue est éliminée par le condensateur mais qu'il permet cependant le passage des petits signaux sinusoïdaux autour du point de fonctionnement en continu. Le condensateur ne modifie pas la valeur de la tension Crête-crête. Il est donc placé dans le circuit dès qu'il y a présence d'un courant continu, dans le but de l'éliminer et donc de ne pas détériorer les autres éléments électroniques.

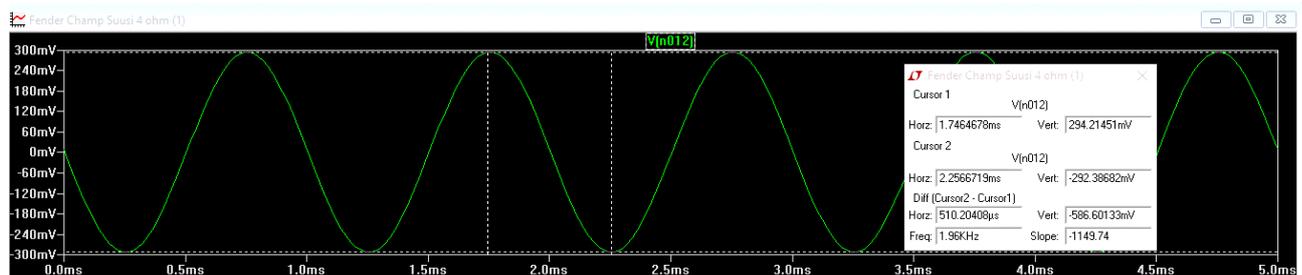
Mesure de la tension à l'anode du premier preampli, situé avant le condensateur :

Signal sinusoïdal d'amplitude cc de 587,5mV et de composante continue d'une valeur de 167,62V.



Mesure de la tension après le condensateur au niveau de la grille du deuxième preamplificateur :

Le potentiomètre étant mis à sa position max il n'intervient donc pas



Le signal est bien de même amplitude mais sa composante continue est nulle.

On remarque par ailleurs une opposition de phase entre la tension entrant dans une lampe et la tension en sortant. En fait il s'agit d'une autre caractéristique des lampes ECC83 et 6V6 qui est celui d'inverseur de phase. Cependant, dans cet amplificateur, seul leur rôle d'amplificateur de tension est utilisé.

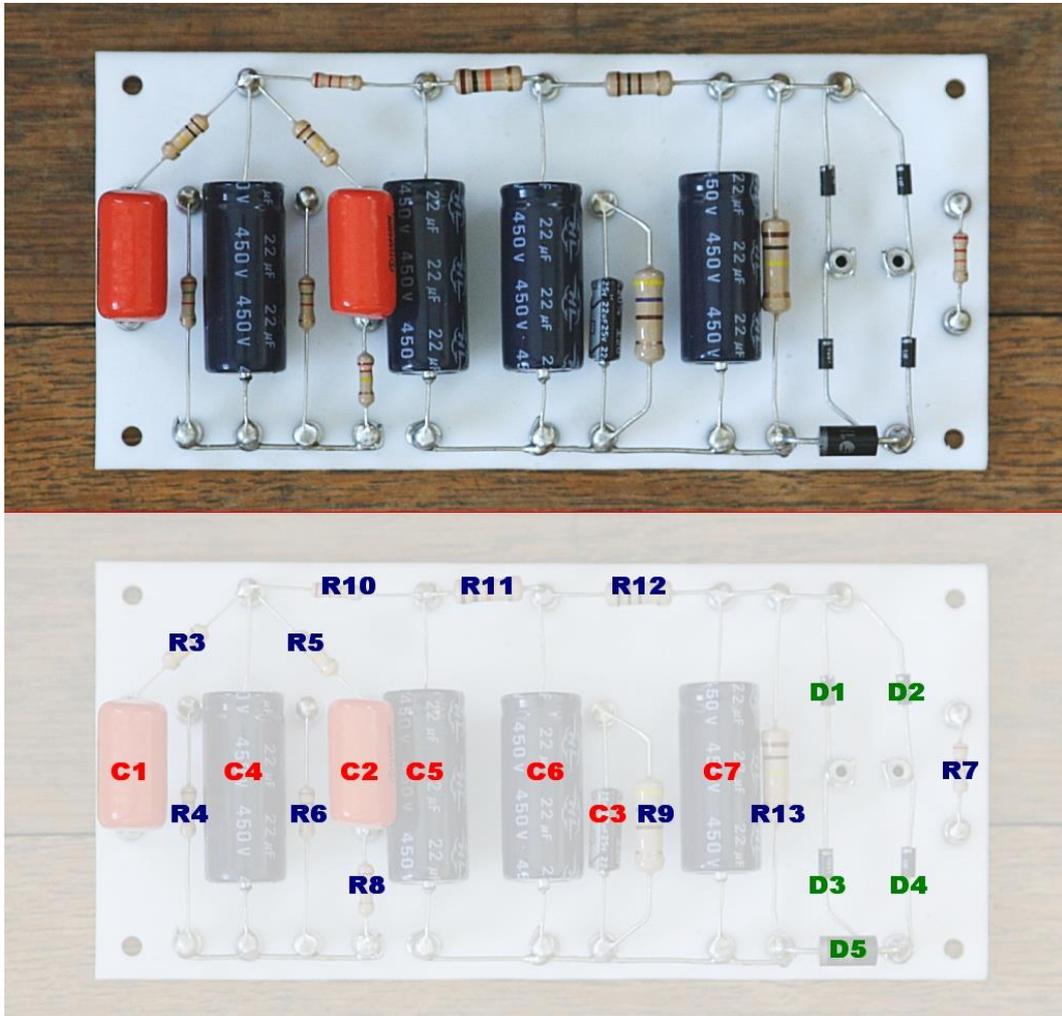
Points	entrée	Anode du premier tube	Anode du deuxième tube	Anode de la lampe 6V6	Entrée Haut Parleur
Valeur de la tension Crête Crête (LtSpice)	20mV	580mV	8,1V	143,4V	4V
Gain Lt Spice	29	13,9	17,7	1/35,85	

Le gain total obtenu avec la modélisation Spice est donc de $G=29*13,9*17,7*(1/35,85)=200$.

4. Manuel de construction

D'après www.ampmaker.com

A. Assemblage de la « turret board »



Dans cette partie nous nous intéressons au manuel de construction de notre amplificateur, et plus précisément à l'assemblage de la « turret board » qui représente la base de notre circuit.

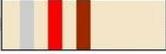
Nous vous proposons alors de vous expliquer les étapes successives du montage.

✚ Le kit

Avant toute chose il est important de vérifier la composition du kit. Le circuit comporte 7 condensateurs, 13 résistances et 5 diodes.

Pour les résistances il existe un code couleurs permettant de connaître leur valeur :

Resistor colour codes



Example
Grey + Red + Brown
= 8 2 x10
= 820r

Black >	0	0	x1
Brown >	1	1	x10
Red >	2	2	x100
Orange >	3	3	x1000
Yellow >	4	4	x10000
Green >	5	5	x100000
Blue >	6	6	x1000000
Purple >	7	7	
Grey >	8	8	-
White >	9	9	-

Malgré tout il est conseillé de vérifier la valeur de chacune des résistances à l'aide d'un multimètre.

1) Avant de souder



Avant de souder, il est judicieux de mettre les composants dans l'ordre, de tester leur place sur la turret board et de vérifier leur polarité pour éviter d'avoir à dessouder les composants.

En effet il est important de vérifier la position des composants sur la turret board. Par exemple nous avons pu remarquer l'existence de 3 résistances de 100 k, en revanche une d'entre elles est visiblement plus grosse que les autres. Il est alors à noter que les deux plus petites (R3 et R5) doivent se trouver dans la préampli et la plus grosse (R13) doit se trouver dans la partie haute tension de l'alimentation.

En ce qui concerne les condensateurs il est absolument nécessaire de vérifier leur polarité à l'aide des signes « - » et « + » indiqués directement sur ces derniers. Nous rappelons que le courant va du « + » vers le « - », il faut donc s'en assurer.

Et pour finir, les diodes doivent également être insérées dans le bon sens en s'aidant des bandes grises à l'extrémité de chaque diode.

2) Souder

Pour la plupart des composants la soudure se fait dans la partie supérieure de la tourelle correspondante. En revanche, pour les diodes D1, D2, D3 et D4, souder sur le bord de la tourelle permet de faciliter la connexion des fils du transformateur.

Une soudure mal réalisée peut entraîner une mauvaise connexion, ce qui peut empêcher le circuit de fonctionner correctement.

Une fois tous les composants soudés, il faut réaliser les « câbles bus ». C'est-à-dire les fils qui vont permettre de connecter les tourelles A, B, C et D ; les tourelles E, F, G, H, I et les tourelles J, K et L.

4) Le câblage

Pour cette étape la turret board est retournée, les points de A à I vers l'assembleur. Cette étape consiste à réaliser les branchements.

Chaque câble comporte 16 fils entremêlés les uns aux autres. Il est donc important de veiller à ce que chaque fil soit bien dans le trou de la tourelle correspondante. Si ces fils ne sont pas bien à leur place, ils peuvent raccourcir le circuit reliant des tourelles adjacentes ou une tourelle avec le châssis.

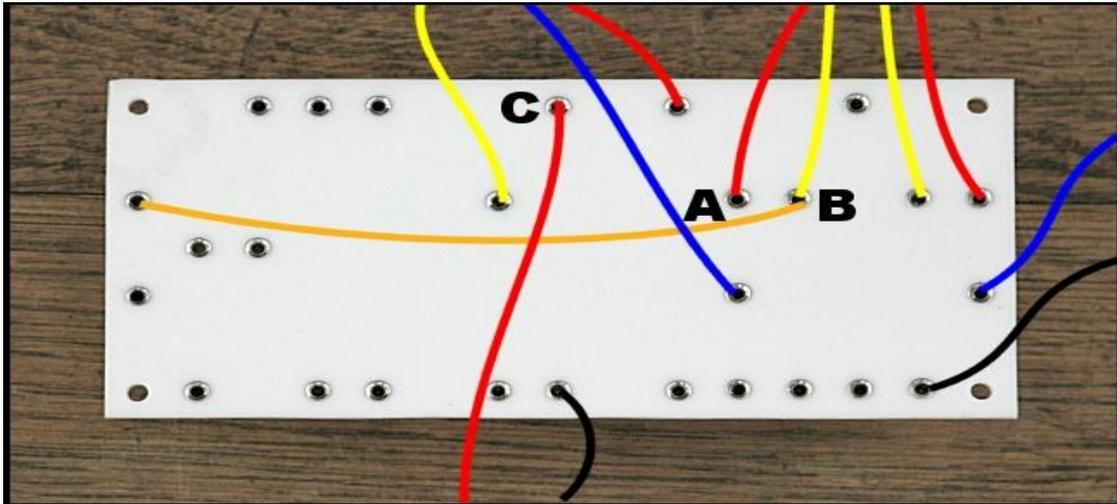
Il est aussi important de vérifier l'état de l'isolation PVC autour des fils car, encore une fois, des fils exposés pourraient compromettre le circuit.

Enfin il est intéressant de se pencher sur l'ordre de soudure des câbles pour éviter tout risque de faire fondre l'isolation d'un autre câble.

Par exemple, il est plus sécurisant de souder d'abord le fil rouge au point A avant le fil orange au point B pour éviter de faire fondre l'isolation du câble orange car les deux tourelles sont très rapprochées.

En revanche au point B, il est nécessaire de souder les deux câbles en même temps car on pourrait avoir du mal à les souder l'un après l'autre.

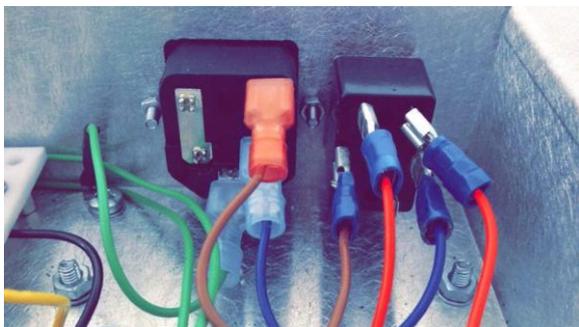




B. Assemblage du Châssis :

Dans cette partie, intéressons-nous désormais à la construction du châssis, élément fondamental de l'amplificateur au sein duquel la « turret board » sera placée. Décrivons alors les différentes étapes du montage de celui-ci.

De la même manière que pour la turret board nous avons dû vérifier tous les composants qui nous ont servi à assembler notre châssis : il comporte donc bien deux transformateurs, une paire de vanne ou tubes, des prises, un tableau de bord avant et arrière et enfin 11 câbles.



Dans un premier temps, la première partie du montage du châssis consiste à tout d'abord connecter la source principale. Pour cela, on utilise le fil vert pour connecter la cosse de terre du porte-fusible à la cosse à souder. Puis on utilise les fils bleu et marron pour connecter le porte fusible à la paire de cosse se trouvant sur le bouton On/Off comme le montre la photo.

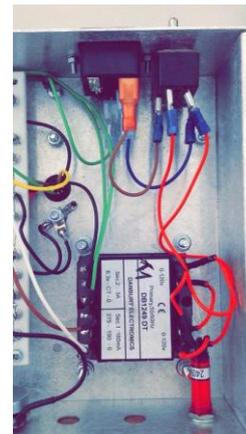
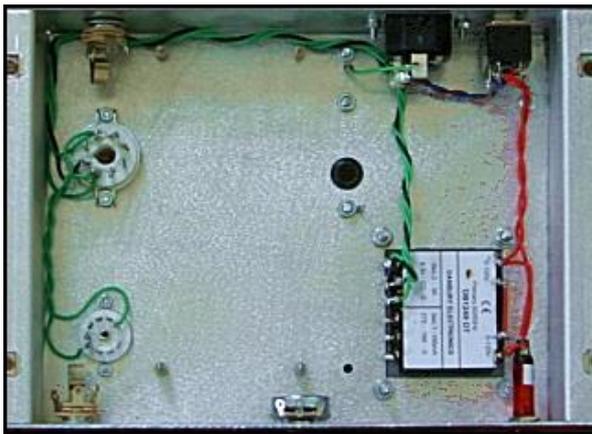
Puis, on utilise deux fils rouge que l'on enroule, que l'on soude à la paire de cosse à souder du bouton On/Off puis que l'on connecte aux cosses 0V-120V du transformateur T1 sans pour autant les souder. On effectue la même opération pour deux autres fils rouges que l'on connecte cette fois au néon témoin. Puis on soude les quatre cosses à souder avant de connecter un autre petit fil entre la paire de cosses 0V-120V.



Ainsi, nous avons complété le câblage de la partie principale de l'amplificateur.

Par la suite, nous nous sommes occupés du câblage de la vanne.

Ainsi nous avons dû enrouler et souder deux longs fils verts et un fil noir au niveau du transformateur c'est-à-dire au niveau des cosses à souder correspondant à 6.3V, CT et 0V. Nous avons utilisé des fils assez longs d'une part pour qu'ils atteignent le transformateur et d'autre part pour qu'ils puissent être enroulés autour de la vanne V2. On épingle les fils verts aux broches 2 et 7 de V2 et le fil noir à la broche 8. On enroule et attache deux autres fils verts aux broches 2 et 7 de V2 puis on les relie le long du châssis aux broches 9, 4 et 5 de la vanne V1 et enfin nous avons soudé chaque fil aux broches correspondantes comme le montre l'image ci-après.



Enfin, avant d'ajouter la turret board, nous avons d'abord soudé une extrémité d'un fil marron de 30 cm de longueur à la broche 3 de la vanne V2 puis, nous l'avons fait passer dans un joint en caoutchouc au milieu du châssis afin de le connecter à la sortie du transformateur T2.



La deuxième partie du montage de notre châssis consiste, elle, à monter la turret board dans celui-ci.

Pour cela, on se doit d'utiliser des écrous et des rondelles pour fixer la turret board en s'assurant qu'elle est montée dans le bon sens, c'est-à-dire avec les diodes vers l'arrière du châssis. En faisant bien attention à la longueur de chacun des 11 fils nous avons enfin pu commencer à connecter la turret board au châssis en commençant par connecter les quatre fils à la vanne V1 puis les trois autres à la vanne V2 comme le montre l'image suivante.

Intéressons-nous désormais au câblage de la prise d'entrée. On y intègre tout d'abord la résistance R1 en pliant bien ses terminaisons pour qu'elle soit en contact avec les trois cosses à souder tout en s'assurant que le corps de la résistance se trouve entre les cosses 1 et 2. Puis on soude cette résistance au niveau de la cosse à souder 2.



On utilise ensuite un bout assez long du fil noir pour connecter cette prise d'entrée au niveau de la cosse 3 de la prise à la broche 3 de VR1, correspondant au contrôle du volume, en soudant les deux bouts. Ensuite, on utilise la dernière résistance R2 afin de connecter directement la cosse 1 de la prise d'entrée à la broche 2 de la vanne V1. On soude ensuite cela au niveau de la vanne et de la prise pour qu'à présent, toutes les cosses de la prise soient connectées et soudées. L'image ci-dessous permet de bien comprendre le cheminement des différentes étapes décrites ci-dessus.

Concernant le bouton de contrôle du volume évoqué précédemment, celui-ci détient quatre connections effectuées à l'aide de deux fils noirs et deux fils bleus.

Le premier fil noir est celui que nous avons connecté précédemment à la prise d'entrée et le deuxième provient de la turret board plus précisément du condensateur C4, nous avons donc soudé ces deux derniers au bouton qui permet de contrôler le volume.

Enfin les deux derniers fils bleus, proviennent pour le premier de la turret board, du condensateur C1, nous l'avons donc soudé au bouton du contrôle de volume.

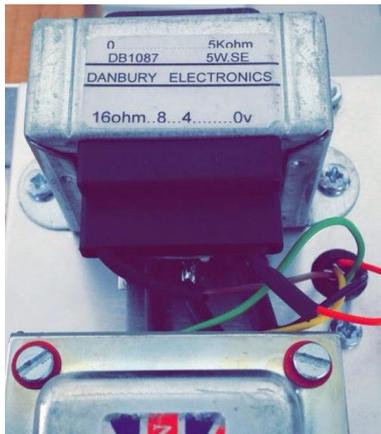
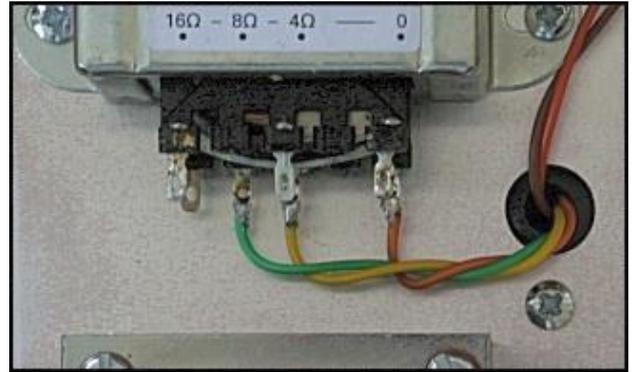
Le dernier fil, lui, nous l'avons soudé à une cosse de ce bouton et à la broche 7 de la vanne V1.



Nous arrivons désormais à la dernière partie du câblage de notre châssis.

Il nous a fallu connecter et souder le fil noir provenant du condensateur C6 de la turret board à la cosse de terre près du joint en caoutchouc.

Par la suite, nous avons soudé les câbles au transformateur de sortie, plus précisément au niveau de la rangée la plus basse des quatre cosses à souder qui assurent la connexion avec le haut parleur. Nous avons ainsi choisi d'utiliser un Switch 4ohms et 8ohms. Nous avons donc utilisé un interrupteur inverseur à trois branches puisque le fender marche mieux avec une valeur de 8 ohms. Ainsi, puisque l'on a choisi ces valeurs, nous avons soudé les fils vert, jaune et orange aux cosses comme le montre la photo.

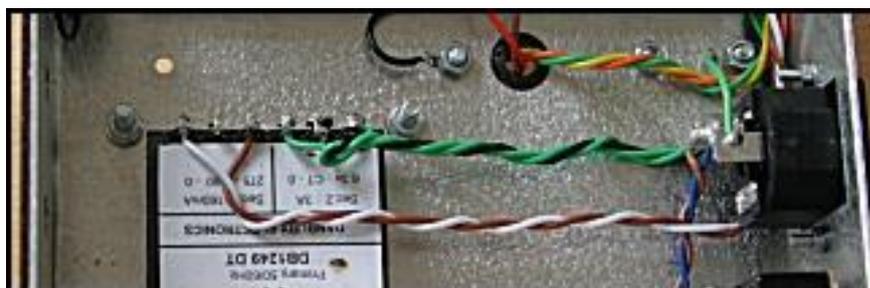


Ensuite, nous avons connecté les deux fils : rouge et marron passant par le joint en caoutchouc à la rangée supérieure des cosses à souder du transformateur de sortie tout en faisant bien attention à ce qu'ils soient correctement isolés pour éviter les accidents car une fois l'amplificateur en marche, ces cosses sont à haute tension.

Ainsi le fil marron est connecté sur la cosse de gauche et le rouge sur celle de droite.

Concernant le câblage du haut parleur, il ne nous reste plus qu'à utiliser les fils provenant du transformateur de sortie en les faisant passer à l'intérieur du châssis et en les connectant ainsi à la prise du haut parleur. On soude alors le fil orange à la cosse à souder 3 de la prise puis les fils correspondants aux valeurs des impédances choisies à la cosse 1 de la prise du haut parleur.

Enfin, les dernières connections que nous avons effectuée sont celles concernant l'alimentation des fils à haute tension. Nous avons donc utilisé un fil marron et un fil blanc que l'on a soudé à la turret board au niveau de la jonction des diodes D1-D3 et des diodes D2-D4 puis que l'on a enroulé et fait passer à l'arrière du châssis pour les connecter au transformateur dans la rangée que nous n'avons pas encore utilisée c'est -à-dire celle ou on peut lire 275-190-0. La dernière étape consiste donc à tester le câblage du châssis et les soudures effectuées avant de mettre en marche notre amplificateur.



5. Mesures et tests

Après avoir monté notre amplificateur, nous avons cherché à savoir si il était conforme aux exigences attendues et notamment aux caractéristiques que nous avons mis en évidence grâce à la modélisation que nous avons réalisée. Nous avons donc mesuré, à l'aide d'un oscilloscope, aux points correspondants à ceux mesurés avec la modélisation LtSpice, la tension crête-crête. Ces mesures sont reportées ci-dessous.

Points	Entrée	Anode du premier tube	Anode du deuxième tube	Anode de la lampe 6V6	Entrée Haut Parleur
Valeur de la tension mesurée crête crête	20mV	576mV	9,04V	172V	4,5V
Gain	28,8	15,7	19	1/38,2	

Le gain total est donc ici de $28,8 \cdot 15,7 \cdot 19 \cdot (1/38,2) = 225$, ce qui semble cohérent avec le gain théorique et le gain obtenu avec la modélisation LtSpice dans la partie C.

En outre, ces mesures ont permis de mettre en évidence le déphasage entre les tensions entrantes et sortantes des lampes (voir annexes 4 et 5).

Nous avons aussi pu confirmer que le transformateur permettait de réduire la tension sans changer la fréquence ni la forme du signal, la tension entrant dans le haut parleur est donc en phase avec celle sortant de la lampe 6V6.

Conclusion

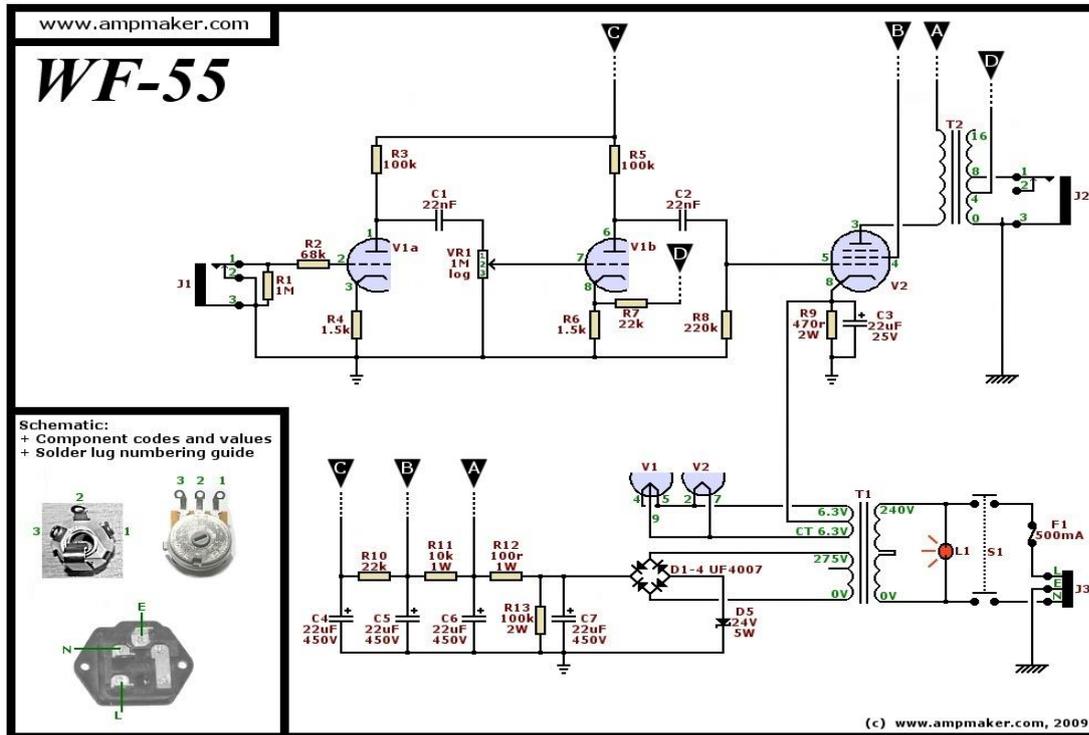
A partir d'une simulation, nous avons construit l'amplificateur associé afin de comparer les résultats théoriques et les expérimentaux obtenus. Le projet regroupe ainsi une partie théorique et pratique. La partie pratique consistait en la réalisation de l'amplificateur qui permet d'identifier les différents composants et ainsi mieux assimiler la construction du circuit. Ce projet permet donc d'appréhender les appareils que l'on utilise différemment. En effet, la comparaison des résultats théoriques et pratiques est une méthode courante et scientifique alors que la construction des appareils est moins courante.

Nous avons travaillé sur différentes parties de l'amplificateur et fait différentes recherches à propos de l'amplificateur qui permettent ainsi d'approfondir plusieurs axes et se compléter. Nous avons ainsi découvert l'électronique au travers de la simulation tout d'abord mais aussi du montage plus pratique et enfin les résultats réels de notre appareil.

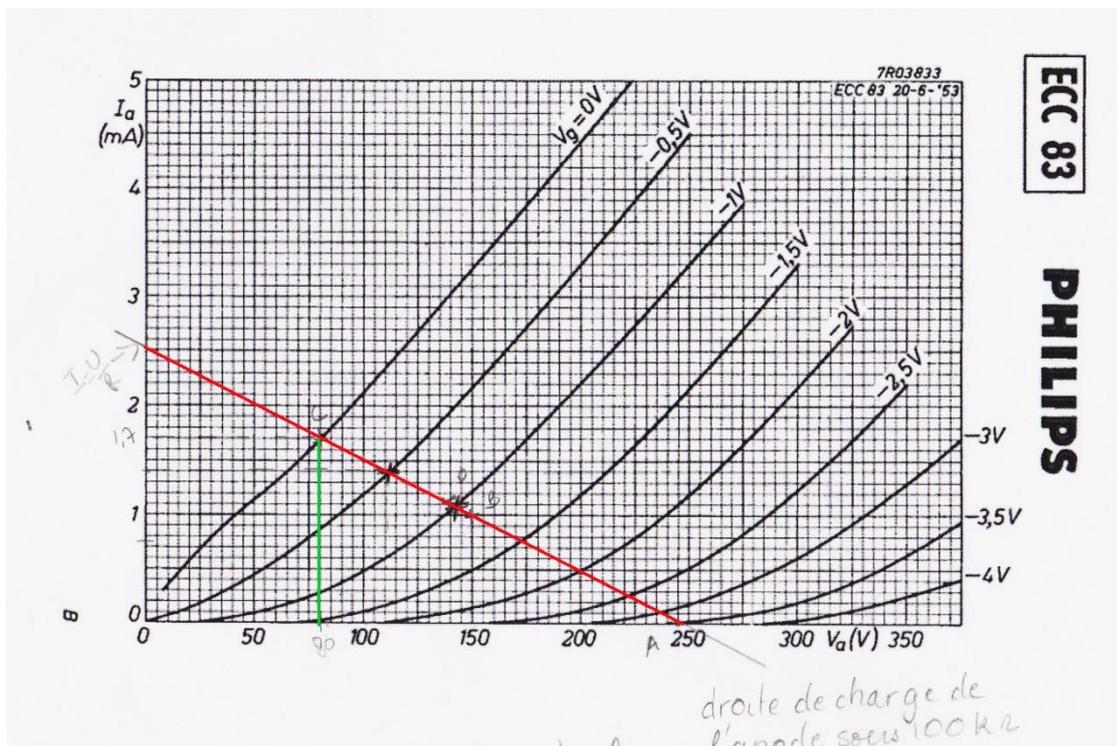
Ce projet nous a permis de travailler en groupe à propos d'un sujet que nous avons choisi pour son intérêt, l'initiation à l'électronique mais également la réalisation d'un projet dans son ensemble. Nous avons ainsi renforcé notre expérience dans le travail de groupe avec l'organisation des tâches et de la rédaction du rapport. Chaque séance permettait de découvrir de nouvelles techniques tels que le logiciel Spice, la soudure mais également l'extraction de résultats à partir des données brutes mesurées par l'oscilloscope et le multimètre. Chacun a ainsi pu compléter les connaissances des autres mais également assembler les différentes parties de l'amplificateur. Nous nous sommes également aperçus que différents domaines reentraient en compte dans ce projet tels que l'électronique, la simulation, l'influence du son et ainsi ouvrir nos horizons scientifiques.

La réalisation d'un amplificateur à transistor et la comparaison de ses performances avec le Fender champ pourraient améliorer nos connaissances sur l'amplification du son ou même constituer un projet futur.

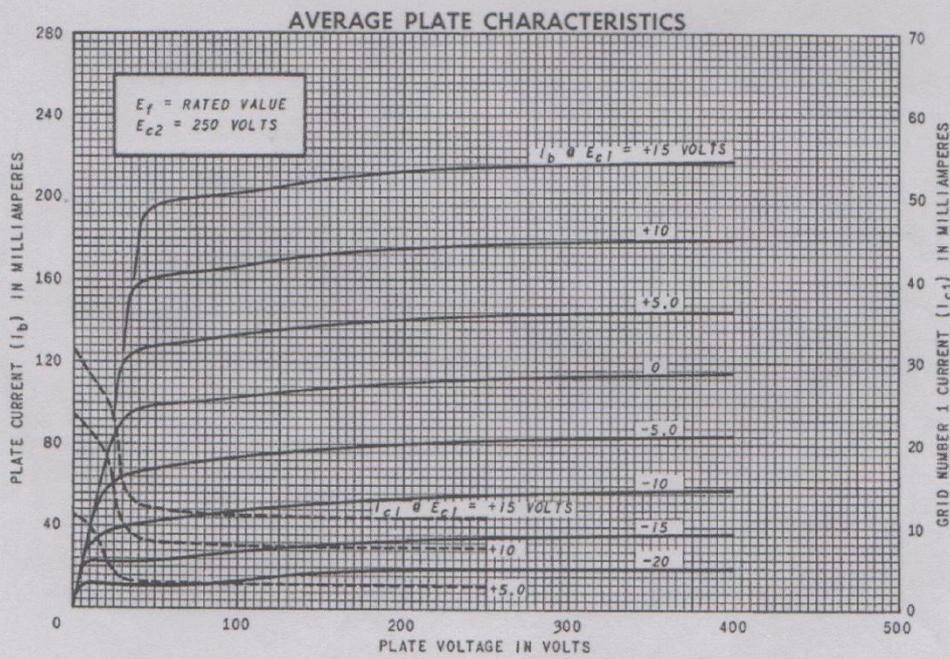
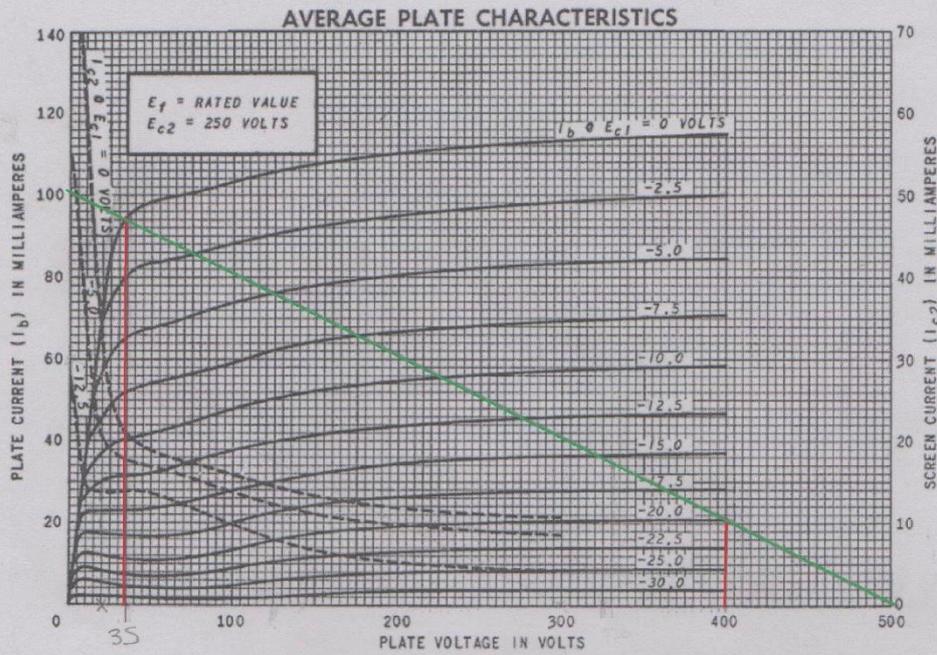
Annexes



Annexe 0

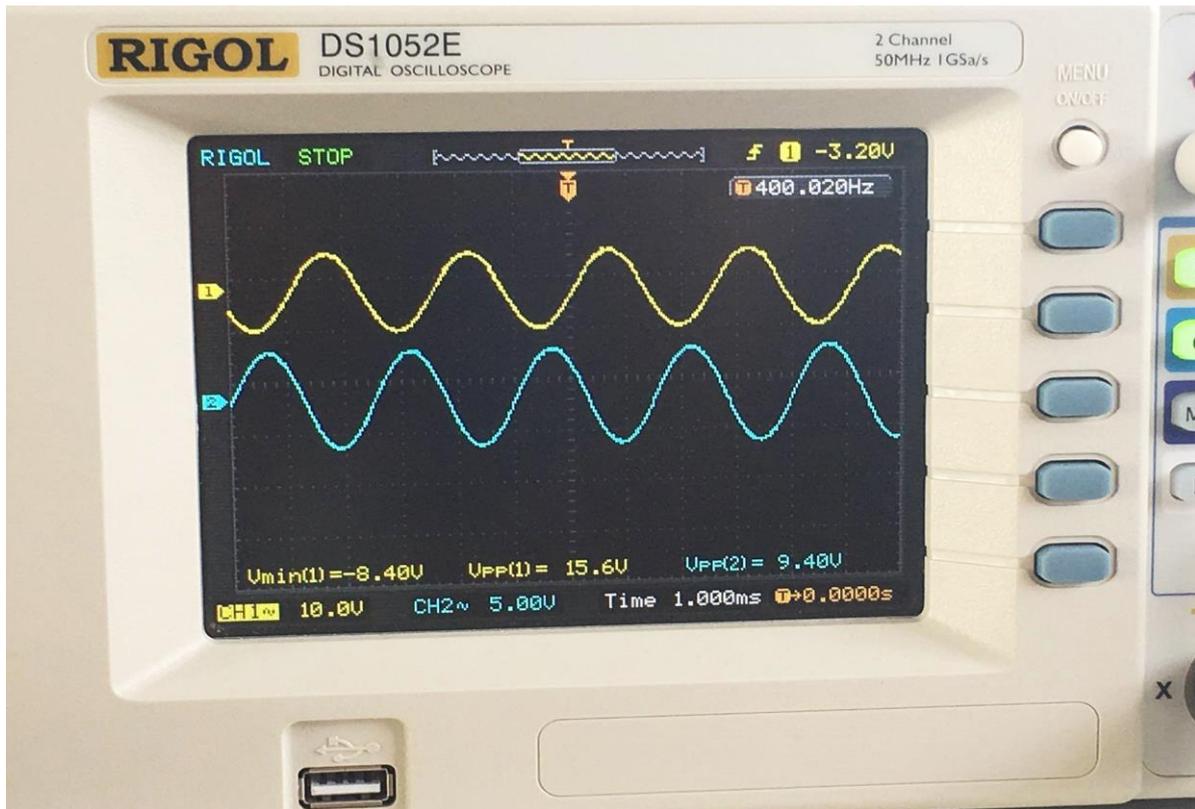


Annexe 1 : tracé de la droite de charge pour la lampe ECC83.

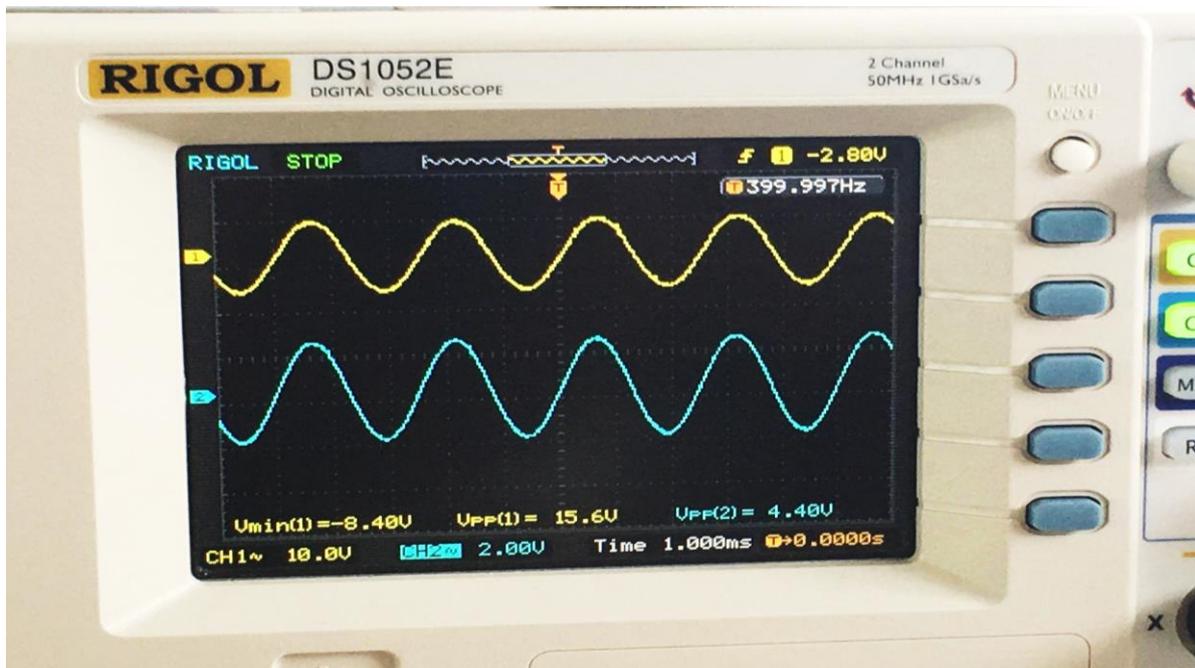


$$\frac{400 - 35}{20} = \frac{365}{20} = 18,25$$

Annexe 2 : Tracé de la droite de charge pour la lampe 6V6 et calcul du gain.



Annexe 3 : Relevé de la tension au niveau de la grille du tube 6V6 (en bleu) et de la tension à l'anode de ce même tube (en jaune) : il y a un déphasage entre ces deux tensions (la sonde de l'oscilloscope pour l'anode est en x10, la tension crête-crête est donc de 156V).



Annexe 4 : Relevé de la tension à l'anode de la lampe 6V6 (en jaune) et de de la tension à l'entrée du Haut-Parleur (en bleu) : Ces deux tensions sont en phase.



Transformateur de sortie



Interrupteur on/off



Bouton de contrôle du volume



Transformateur T1



Vanne

Annexe 5 : photo des composants prises lors du montage du châssis.

Bibliographie

<http://www.ampmaker.com/store/home.php> (8/06/16)

<http://renaud.battle.free.fr/index24.htm> (8/06/16)

<http://corte93.free.fr/lampes.html> (8/06/16)

<http://www.leblogquigratte.fr/2011/11/04/comment-fonctionne-un-ampli-a-lampe-explications-simples/> (8/06/16)