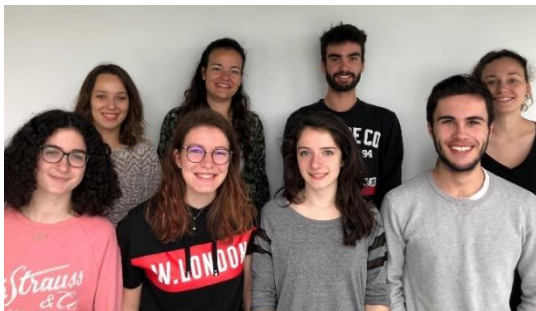
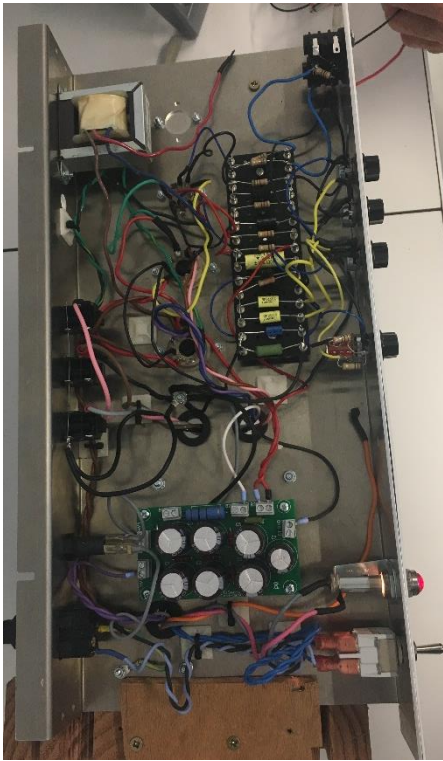


Projet de Physique P6
STPI/P6/2018 - 43

AMPLIFICATEURS A LAMPES POUR GUITARE



Etudiants :

Marie BOUVET

Chloé DOUIN

Louis LENOIR

Marie PINET

Élise BRIERE

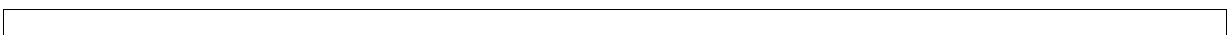
Valentine KASMI-DUVAL

Dorian NOUZILLE

Laura POLONI

Enseignant-responsable du projet :

Richard GRISEL



Date de remise du rapport : **18/06/2018**

Référence du projet : **STPI/P6/2018 – 43**

Intitulé du projet : **Amplificateurs à lampes pour guitare**

Type de projet : **Électronique expérimentale / Mesures / Modèles / Conception**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Les objectifs de ce projet étaient à la fois de comprendre le fonctionnement d'un amplificateur à lampes, de nous initier à de nouveaux outils tels que le logiciel LTSpice, de compléter le travail effectué sur le Fender Champ par les étudiants de l'année dernière ainsi que de monter un nouvel amplificateur à lampes pour basses électriques, le Honey Bass. Nous avons également pour but d'effectuer des simulations de ces deux amplificateurs afin d'analyser leur performance.

Mots-clefs du projet : **Amplificateur, lampes, expérimental.**

TABLE DES MATIERES

I.	Introduction.....	6
II.	Méthodologie / Organisation du travail	7
III.	Travail réalisé et résultats	8
III.1.	Historique des amplificateurs FenderChamp et HoneyBass	8
III.2.	Présentation des caractéristiques d'un amplificateur à lampes.....	9
III.3.	Montage du Fender Champ WF-55.....	10
a.	Montage du caisson	11
b.	Mise à jour de la documentation	12
III.4.	Montage du Honey Bass.....	12
a.	Inventaire.....	12
b.	Assemblage du châssis.....	12
c.	Câblage et soudage de l'alimentation.....	13
d.	Soudure de la « turret board »	14
e.	Fin du montage	14
f.	Vérification des tensions avant branchement	15
III.5.	Simulations et résultats	15
a.	Fender Champ WF-55.....	16
b.	Honey Bass.....	17
IV.	Conclusions et perspectives	21
V.	Bibliographie.....	22
VI.	Table des illustrations	23
VII.	Annexes.....	24
VII.1.	Schéma Fender (mis à jour).....	24
VII.2.	Simulation LTspice Fender.....	25
VII.3.	Schéma Honey-Bass (avec points de mesure).....	26
VII.4.	Mesures Honey-Bass	27
VII.5.	Simulation LTspice Honey-Bass.....	28

REMERCIEMENTS

Nous aimerions dans un premier temps remercier toutes les personnes nous ayant aidés lors de ce projet, sans qui cette expérience n'aurait pu être aussi enrichissante.

Tout d'abord, nous remercions notre enseignant responsable du projet M. Richard Grisel, pour sa disponibilité et pour sa patience, ainsi que pour son intérêt très prononcé envers notre sujet, qui fut source de motivation pour tout le groupe.

Nous remercions également Pascal Williams, Hélène Rade et Michaël Jolly pour leur assistance technique et logistique sans laquelle la construction des amplificateurs se serait avérée bien plus compliquée.

Pour terminer nous remercions Jean-Yves, Bertrand et Guirec de s'être rendus disponibles afin de pouvoir tester les amplificateurs non plus avec des générateurs basse fréquence mais avec de vraies guitares.

I. INTRODUCTION

Précurseurs de la grande famille des amplificateurs de guitare, les amplis à lampes sont à l'origine du large panel de bases sonores qui constituent le rock. Caractérisés par ses accents clairs et crunchs, auxquels s'additionnent des effets de modulation (distorsion du son ou « gain ») et de sursaturation, ils permettent le son puissant et rond tant vénéré dans les salles de concert.

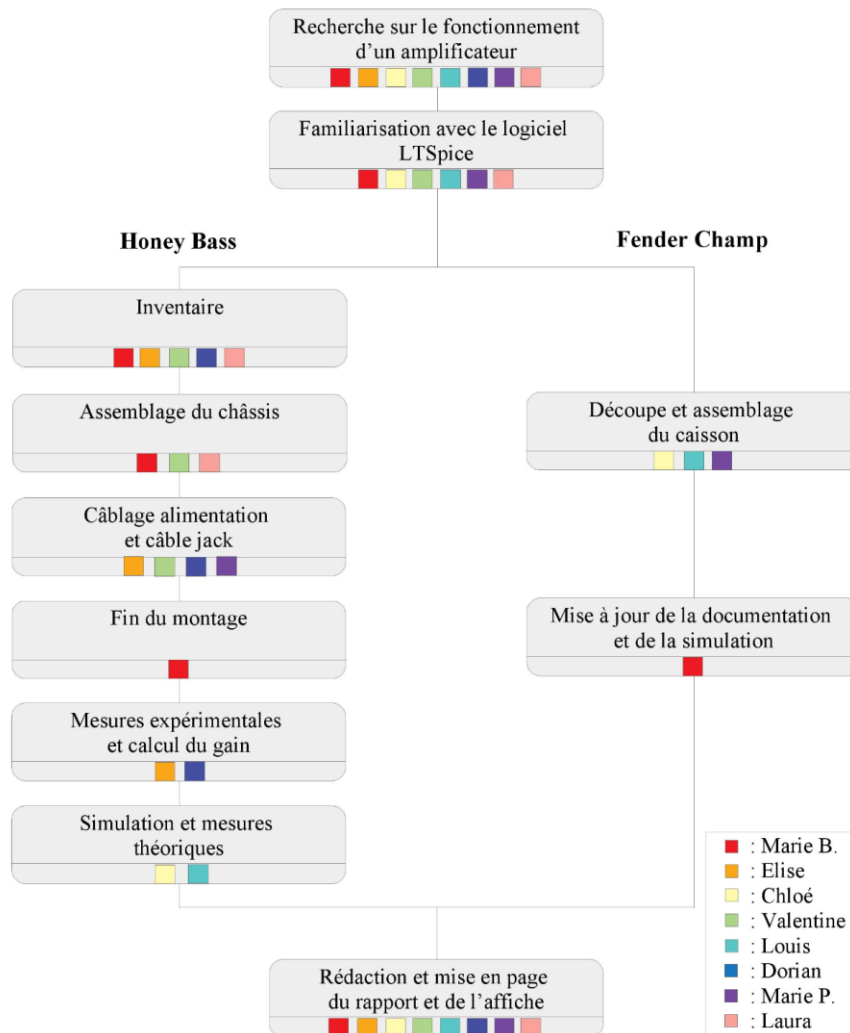
Dans le cadre de notre projet de P6, nous avons donc décidé de nous intéresser à ces piliers musicaux des années 50. Pour ce faire, nous avons réparti notre travail en trois temps principaux : l'étude du fonctionnement électronique (circuit et lampes), la finalisation du Fender Champ monté l'année dernière par des étudiants et le montage d'un nouvel amplificateur, le Honey Bass.

Notre objectif principal a été de mettre en lien pratique et simulation afin de s'assurer du bon fonctionnement de notre réalisation, mais aussi de comprendre la complexité du système et de ses composants.

En outre, ce projet nous a également permis nous familiariser avec les logiciels de simulation tels que LTSpice et Tone Stack Calculator.

II. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Étant un groupe de très grande taille, nous avons dû nous séparer en sous-groupes afin de réaliser un travail efficace.



1- Organigramme, répartition des tâches

III. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

III.1. Historique des amplificateurs FenderChamp et HoneyBass

Dans les années 1940, les guitaristes dans les groupes de big-band de jazz n'arrivent pas à se faire entendre parmi les cuivres. En conséquence, les premiers amplificateurs apparaissent à cette époque et ont une puissance approximative de 10 watts. Cette puissance étant loin d'être suffisante et la popularité des guitares électriques augmentant rapidement, le besoin d'amplificateurs plus performants devient pressant.

Ainsi Leo Fender commença à construire des amplificateurs à partir de pièces de postes de radios. Il deviendra un électronicien réputé aux Etats-Unis et finira par créer une société qui portera son nom.

Les amplificateurs audio d'usage général ont pour but d'amplifier un signal électrique sans en modifier le caractère. Les ingénieurs travaillent sans cesse à diminuer autant que possible les niveaux de distorsion et de bruit de fond. A l'inverse, l'amplificateur pour guitare est conçu pour apporter une distorsion spécifique. Il doit apporter un son agréable et mélodieux d'un point de vue musical, incluant parfois des déformations du signal d'entrée. Le guitariste choisit ainsi son ampli en fonction du rendu qu'il souhaite.

Le modèle Fender Champ 5E1, qui est l'équivalent de l'amplificateur Fender que nous avons finalisé, a été construit pour la première fois en 1957.

Le HoneyB est une réplique du Fender Musicmaster, et a été spécialement conçu pour les bassistes qui veulent un son chaud et rond. A l'origine, l'ampli basse Fender Musicmaster a été pensé comme un complément à la guitare basse Musicmaster et était très puriste. Jusqu'à quelques décennies auparavant, le bassiste devait se contenter d'un seul bouton "Tone" et "Volume". De nos jours, cela semble difficile à imaginer, puisque les électroniciens ont rajouté un contrôle de tonalité en une pile de tonalités typique à trois voies. Ainsi, la polyvalence de cet amplificateur a été considérablement améliorée sans abandonner l'idée d'un son pur.

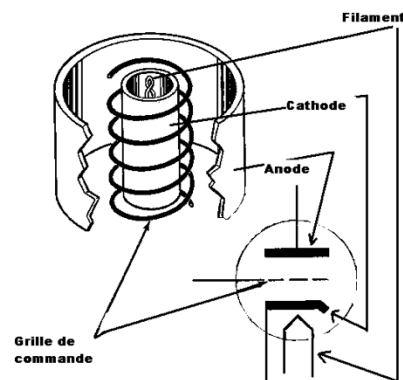
III.2. Présentation des caractéristiques d'un amplificateur à lampes

Les premiers amplificateurs fonctionnaient à l'aide de lampes. Depuis, les amplificateurs à transistor ont été créés, et sont très populaires car ils ont l'avantage d'être moins chers. Cependant la plupart des guitaristes considèrent que le son d'un amplificateur à lampe est de meilleure qualité.

Une lampe est un tube à vide qui ressemble à une ampoule d'où son nom. La triode est composée de 2 pattes pour le filament chauffant, d'une cathode, d'une anode et d'une grille.



2- Une triode



3- Eléments internes de la triode

La guitare produit un signal électrique qui est une tension alternative constituée d'une alternance de plusieurs cycles positifs et négatifs. La fréquence de cette alternance dépend de la note jouée par le guitariste.

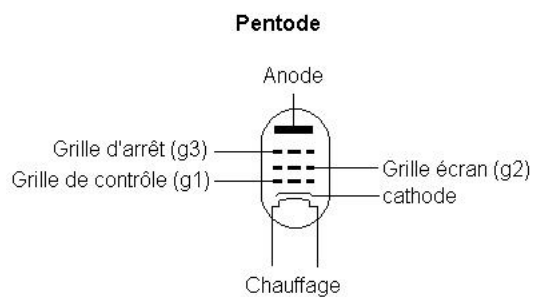
Le filament est soumis à une certaine tension et chauffe la cathode. Le chauffage de la cathode fournit de l'énergie ce qui permet l'émission d'électrons. L'ensemble du dispositif est placé dans une ampoule contenant un gaz inerte permettant au filament de ne pas se consommer. Les électrons vont être excités par une température élevée et seront attirés par l'anode chargée négativement.

Entre l'anode et la cathode se trouve la grille portée à une certaine tension. Cette dernière repousse les électrons, les empêchant ainsi de rejoindre l'anode. La grille est connectée à la guitare et, lorsqu'une note est jouée, la charge électrique de la grille est modifiée ce qui permet de laisser passer les électrons qui veulent aller vers l'anode d'un coup. Ceci entraîne une amplification du signal. De plus, ce signal garde la même fréquence que la note jouée.

On constate donc que notre dispositif peut être dans deux états différents.

Dans le premier état, aucune note n'est jouée. Dans ce cas, les électrodes (anode, cathode et la grille) sont portées à une tension continue fixe appelée propre tension de polarisation. C'est l'état de "fonctionnement à vide".

Dans le deuxième état, le guitariste joue une note. Dans ce cas, toutes les électrodes ont une tension qui correspond à la somme de sa propre tension de polarisation (signal continu) et d'une tension sollicitatrice (signal alternatif). C'est l'état de "fonctionnement dynamique".



4- Une pentode

Une pentode est une amélioration de la triode. En plus des éléments de la triode, elle comprend une grille écran et une grille d'arrêt placées entre l'anode et la grille de contrôle.

La grille écran permet un fonctionnement à des fréquences très élevées. Cette grille est chargée positivement ce qui permet d'augmenter la vitesse des électrons qui sont attirés par l'anode. L'amplification du signal est donc plus importante. Cependant, lorsque la vitesse des électrons augmente, cela implique une discontinuité dans les caractéristiques courant / tension du tube. C'est pour cette raison qu'une grille d'arrêt a été ajoutée.

III.3. Montage du Fender Champ WF-55

En ce qui concerne le Fender, il restait deux tâches à effectuer pour compléter ce projet, commencé quelques années auparavant par d'autres étudiants : le montage du caisson et la mise à jour de la documentation.

a. Montage du caisson

Le kit que nous avons reçu afin de construire le caisson du Fender n'étant pas adapté aux dimensions de l'amplificateur, nous avons dû réaliser plusieurs modifications pour optimiser ses performances. Les différents objectifs étaient d'assembler les planches de manière à rendre les prises et boutons le plus accessible possible tout en protégeant au maximum l'amplificateur pour le transporter en toute sécurité. Pour commencer, nous avons scié deux planches pour la face avant-basse du caisson. Nous avons opté pour une forme arrondie pour des raisons esthétiques et pratiques : l'absence d'angles réduisant les risques de cassure des planches et de blessures de l'utilisateur. Pour la partie haute de la face avant, nous avons laissé entière la plus grande planche, afin d'assurer la protection de l'amplificateur et principalement des ampoules qui étaient avant exposées aux risques extérieurs. Finalement, pour l'arrière du caisson, nous avons fixé une planche fine à mi-hauteur, pour laisser suffisamment d'espace pour le branchement de l'amplificateur, tout en minimisant les risques d'abîmer celui-ci.



5- Préparation du caisson

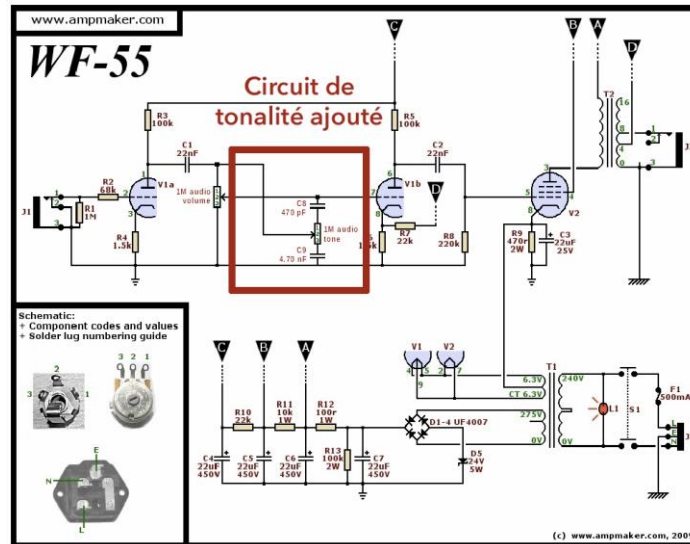
Pour finaliser le caisson, nous avons poncé les arêtes des planches pour créer des congés et rendre ainsi l'utilisation du Fender plus pratique et sécurisée. Nous avons assemblé la totalité des pièces à l'aide de colle à bois en s'appuyant sur des cales que nous avons fixées derrière chaque planche de manière à créer un ensemble plus résistant.



6- Visuel définitif du caisson

b. Mise à jour de la documentation

Lors du montage du Fender l'année dernière, nos camarades ont ajouté un circuit de tonalité sans l'ajouter à la documentation par manque de temps. Nous avons donc ajouté ce circuit sur le schéma de l'amplificateur (cf. annexe 1) ainsi que sur le fichier LTSpice pour pouvoir effectuer les simulations qui seront détaillées ci-après.



7- Documentation Fender

III.4. Montage du Honey Bass

Dans cette partie nous allons développer les étapes successives qui nous ont permis de réaliser le montage de l'amplificateur basse Honey Bass.

a. Inventaire

Avant toute chose il était important de vérifier la composition du kit. Ainsi nous avons réalisé un inventaire complet. Lors de ce dernier nous avons vérifié l'ensemble des valeurs des condensateurs et résistances ainsi que l'état des autres composants. Nous avons remarqué à ce moment qu'une lampe était endommagée, nous avons donc dû la recommander.

b. Assemblage du châssis

Une fois que nous avons bien toutes les pièces à notre disposition et réparties selon leur place dans l'amplificateur nous avons pu commencer à assembler le châssis.

Nous avons commencé par placer les éléments de base sur le châssis : les boutons de réglage, les ports servant aux branchements extérieurs et les emplacements pour les lampes.



8- Assemblage du châssis (1)

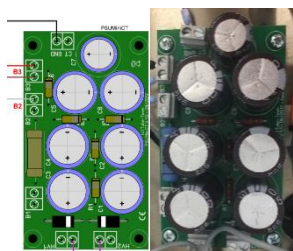
Une fois ces éléments placés, nous avons installé les condensateurs et vissé des planches de bois pour surélever l'amplificateur et faciliter le reste de l'installation.



9- Assemblage du châssis (2)

c. Câblage et soudage de l'alimentation

Une fois le châssis assemblé, nous nous sommes répartis en deux groupes : un se chargeant de préparer les différents fils nécessaires au câblage et l'autre de la mise en place de l'alimentation.



10- Alimentation

Le groupe se chargeant de l'alimentation a donc dû faire de la soudure. Lors de la réalisation de cette étape nous avons rencontré un contretemps car les condensateurs de l'alimentation ont été soudés à l'envers, suite à une erreur de lecture du plan. Les techniciens nous ont donc aidé à dessouder et ressouder les composants dans le bon sens.

Le groupe s'occupant du câblage a principalement tressé les fils ensemble et les a fixés dans les encoches prévues. Suite à cette étape nous étions enfin prêts à commencer à ajouter l'alimentation au châssis et câbler le circuit.



11- Câblage

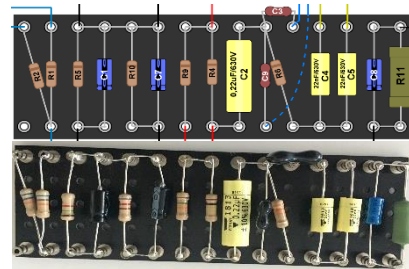
d. Soudure de la « turret board »

Pour éviter de refaire des erreurs lors du montage, nous avons commencé par mettre à plat les composants en prenant soin de repérer la place de chacun.

Nous avons ensuite soudé l'ensemble des composants en vérifiant le sens des composants et notamment les bornes “+” et “-” des condensateurs.



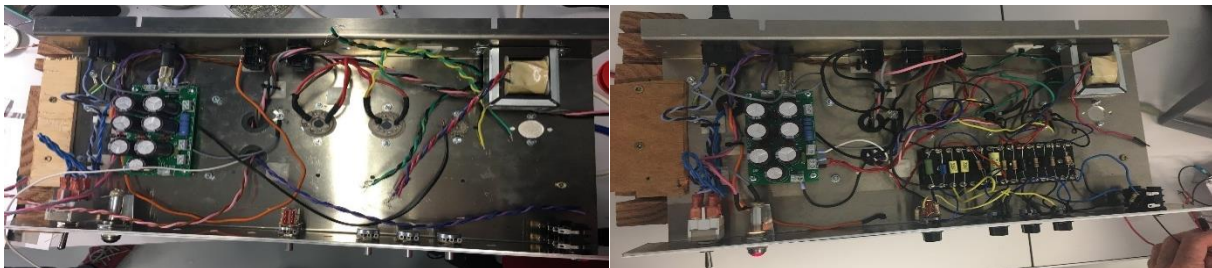
12- Repérage de éléments



13- Turret board

e. Fin du montage

Une fois la turret board assemblée nous avons pu finaliser l'assemblage du châssis et le câblage. Nous remercions infiniment les techniciens travaillant à l'INSA qui nous ont apporté leur aide et sans qui il nous aurait été impossible de finir l'amplificateur à temps et d'effectuer des mesures sur ce dernier.



14- Fin du montage

f. Vérification des tensions avant branchement

Une fois l'amplificateur assemblé et câblé avec l'aide des techniciens Hélène Rade et Pascal Williams de l'atelier, nous avons pu vérifier les tensions et les comparer avec le schéma de l'amplificateur fourni par le constructeur.

Nous avons mesuré la tension à de nombreux points précis du circuit à l'aide d'un voltmètre afin de s'assurer que l'amplificateur était en état de marche. Dans l'idéal, nous devons avoir une marge d'erreur de 10%. Les résultats expérimentaux sont les suivants :

POINT	Valeur Théorique	Valeur expérimentale
B2	380V	400V
B3	280V	294V
V1a-1	190V	191V
V1a-3	1,35V	1,545V
V1b-6	278V	292V
V1b-8	1,75V	1,769V
V2-6	28,5V	31,4V
V2-3	376V	398V
V2-4	375V	400V
V3-3	376V	398V
V3-4	375V	400V

Les valeurs expérimentales sont toutes supérieures aux valeurs théoriques pour tous les points. Cela est dû aux valeurs réelles des résistances. En revanche, nous sommes toujours dans l'intervalle de confiance de 10%. Nous pouvons donc en conclure que l'amplificateur répond aux critères de tension.

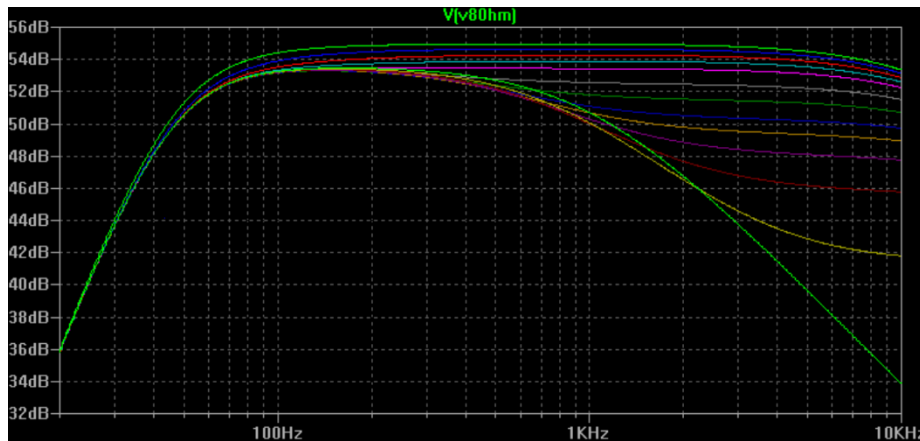
III.5. Simulations et résultats

Afin de pouvoir se faire une idée des caractéristiques de l'amplificateur avant de le construire, il est pratique d'utiliser l'outil de la simulation. A cet effet, nous avons à notre disposition le logiciel LTspice permettant la simulation de circuits électroniques. Nous avons

donc utilisé les schémas mis à disposition par le site Tube-Town pour créer des simulations d'amplificateurs.

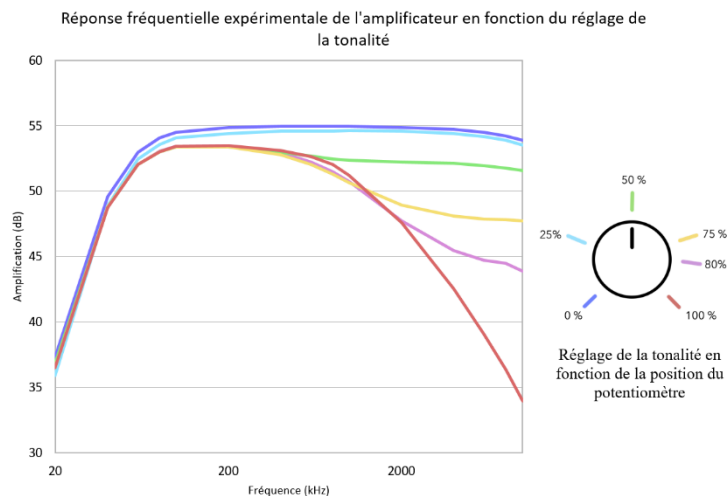
a. Fender Champ WF-55

Le Fender Champ est doté d'un réglage de tonalité, par l'intermédiaire d'un potentiomètre. Lors de la construction du Fender, le groupe de l'année dernière avait déjà réalisé la simulation de la réponse fréquentielle de l'amplificateur en fonction du réglage de la tonalité (voir ci-dessous)



15- Simulation Fender

La dernière étape est donc de passer de la théorie à la pratique. Pour cela nous avons utilisé un générateur basse fréquence, avec une tension de référence de 20mV crête-crête. Pour chaque position du potentiomètre nous avons relevé la tension de sortie pour une quinzaine de fréquences différentes, afin d'en déduire le gain et d'obtenir une courbe comparable à la simulation. Nous avons obtenu la courbe suivante :

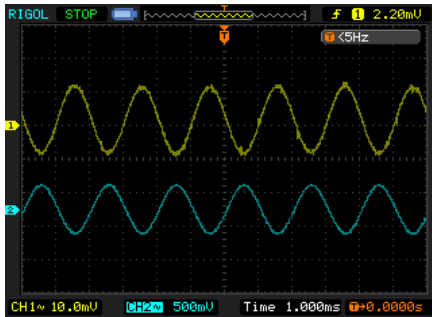


16- Mesures Fender

On remarque que la courbe issue des mesures est totalement conforme à la simulation, le Fender Champ est donc parfaitement fonctionnel.

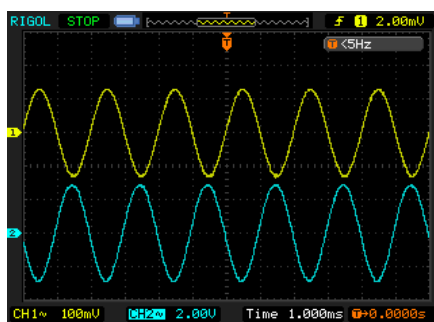
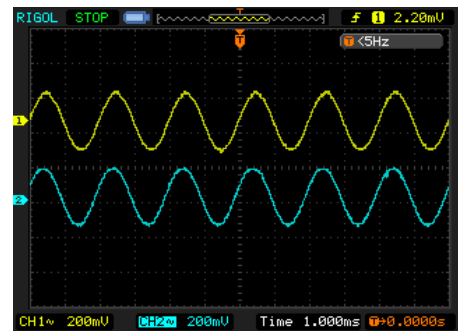
b. Honey Bass

Nous avons ensuite pris des mesures pour évaluer le gain en différents points du circuit. Nous avons alors imposé un signal d'entrée de 20mV crête à crête d'une fréquence de 500 Hz. Nous avons placé l'oscilloscope en mode alternatif pour observer le signal d'entrée (CH1) et le signal de sortie (CH2).



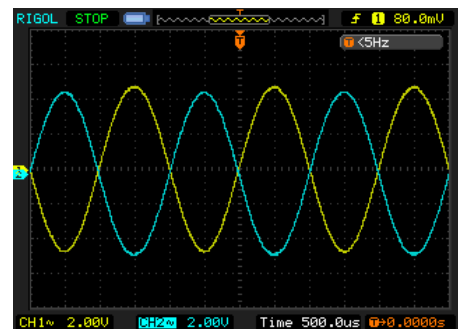
On observe alors une amplification entre le point V1a-2 et V1a-1, en effet l'amplitude passe de 20mV CC à 740mV CC. (Voir ci-contre) Le gain est donc de x37 entre ces deux points, ce qui est une valeur tout à fait cohérente pour une préamplification.

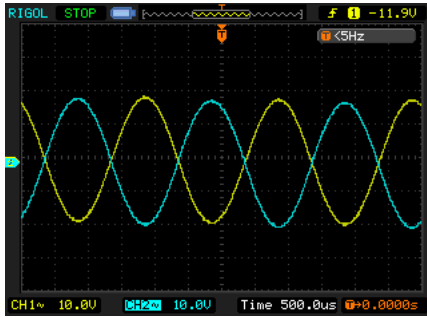
Nous avons mesuré la différence de tension entre les points A et B (voir annexe 3). On relève en A une tension de 340mV CC et en B 336mV CC.



Par la suite, nous avons mesuré le gain entre V1b-7 (CH1 entrée) et V1b-6 (CH2 sortie). On remarque que la tension d'entrée a chuté de 740 mV à 264mV CC dû au pont diviseur de tension et à la résistance de charge qui précèdent V1b-7. En sortie, la tension est de 5,76 V CC. On observe donc une nouvelle amplification à la sortie de la première lampe. (Voir ci-contre) Le gain est donc de x21.

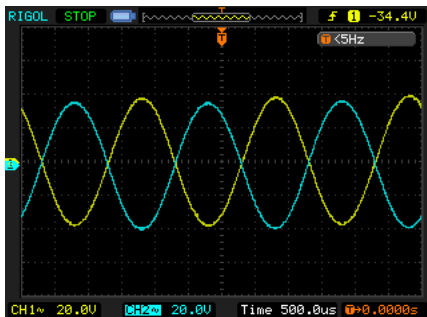
Nous avons ensuite mesuré la tension à la sortie du transformateur en V2-5 étant de 9.44V CC et en V3-5, 9.52V CC. Les deux signaux ont la même amplitude mais sont en opposition de phase. Il s'agit donc d'un inverseur.





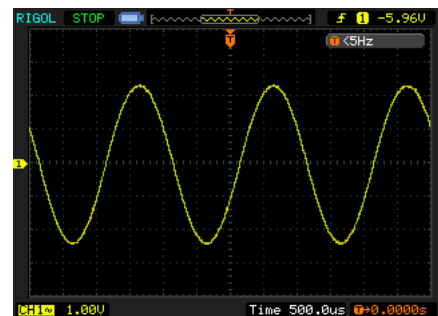
A la sortie des deux lampes V2 et V3 sur le transformateur à un enroulement de 50%, les deux signaux sont à nouveau amplifiés. Nous avons alors en V2-4 une tension de 38.2V CC et en V3-4 38.8V CC. Ces signaux sont toujours en opposition de phase.

Aux points V2-3 et V3-3, les tensions sont respectivement de 74.8V CC et 75.2V CC et sont toujours en opposition de phase. Il s'agit du double des tensions précédentes, car nous avons pris les mesures à un enroulement de la bobine du transformateur de 100%.



En sommant les deux signaux (A-B), nous obtenons les courbes ci-contre soit environ 150V.

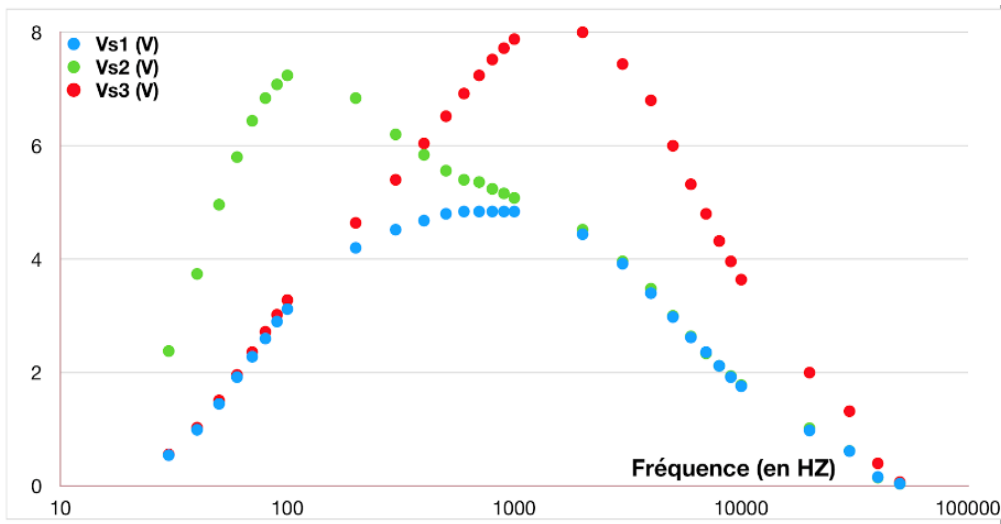
De plus, nous avons mesuré, la tension de sortie sur la sortie 8Ω chargeant sur du 9Ω qui est de 4.80V CC. Nous avons simulé un branchement sur haut-parleur. Une entrée de 8Ω est censée renvoyer 8000Ω car le transformateur a un rapport théorique de x1000.



Le rapport inverse du transformateur est donc d'après les mesures de $150/4.80 = 31.25$
Soit $31.25^2 = 976.6$ (environ 1000) ce qui est donc cohérent.

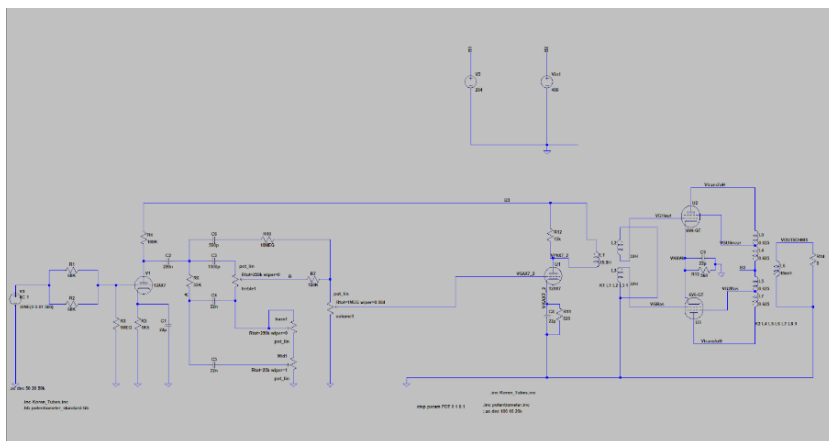
Pour finir, nous avons mesuré les tensions de sortie de l'amplificateur en fonction de la fréquence d'entrée. La tension d'entrée est ici fixée à 20mV. Nous avons fait varier les commandes de Treble, Middle et Bass pour obtenir les courbes suivantes (voir mesures annexe 4).

- **VS1** : tension de sortie pour les réglages Treble 0, Middle 1, Bass 0
On laisse donc passer uniquement les fréquences du milieu, ce qui explique la forme de la courbe.
- **VS2** : tension de sortie pour les réglages Treble 0, Middle 1, Bass 1
On laisse passer uniquement les fréquences du milieu et des basse fréquences.
- **VS3** : tension de sortie pour les réglages Treble 1, Middle 1, Bass 0
On laisse passer uniquement les fréquences du milieu et les hautes fréquences.



17- Relevé des tensions de sortie de l'amplificateur Honey-Bass

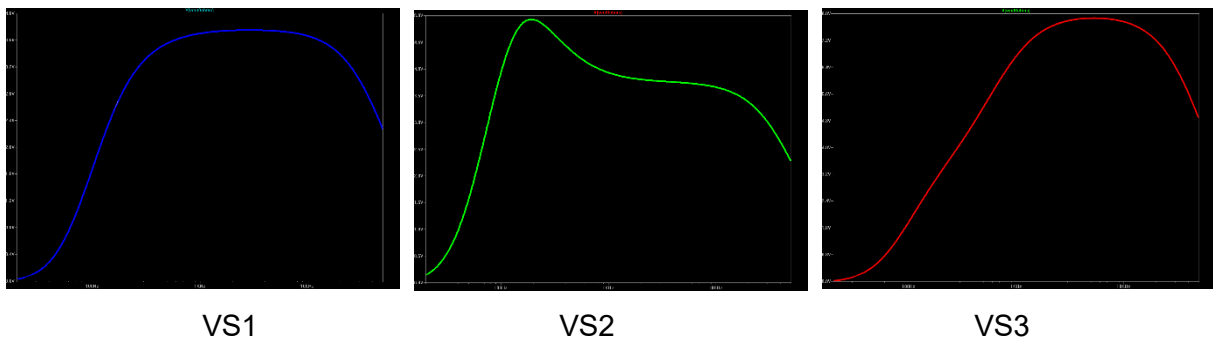
Tout comme pour le Fender Champ, le Honey-Bass a été simulé sur LTspice. Nous avons obtenu le circuit ci-dessous :



18- Simulation Honey-Bass

Cela nous a permis de prévoir le comportement du signal lors d'un réglage de la tonalité, de la même façon que pour le Fender Champ. Cependant le Honey-Bass est doté de trois potentiomètres pour ce réglage. Lors des mesures nous avons fait varier les potentiomètres de Treble, Middle et Bass, pour obtenir les réglages VS1, VS2 et VS3 explicités dans la partie des résultats du Honey-Bass.

Nous avons donc vérifié sur la simulation la correspondance des courbes obtenues lors des mesures :



19- Courbes théoriques

On remarque que ces courbes ont une allure très semblable aux courbes expérimentales correspondantes. Cela montre que les résultats du Honey Bass sont conformes à nos attentes. Le Honey-Bass est donc fonctionnel.

IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans un premier temps, nous avons terminé le projet commencé l'année dernière en fabriquant le caisson de l'amplificateur Fender Champ et en mettant à jour la documentation relative à celui-ci. Cela nous a permis d'avoir un aperçu du produit fini ce qui nous a aidé à construire par la suite l'amplificateur Honey Bass. Nous avons, grâce à ce projet, pu comprendre le fonctionnement d'un amplificateur de guitare et simultanément appris à maîtriser les techniques de bases de construction en électronique telle que le câblage ou la soudure. De plus, nous avons appris à utiliser le logiciel de simulation LTSPICE pour pouvoir comparer nos mesures expérimentales aux valeurs théoriques. Grâce à ce projet, nous avons aussi développé notre capacité à travailler en groupe et à communiquer, ce qui a été nécessaire pour le mener à bien.

En ce qui concerne les perspectives de ce projet, il pourrait être intéressant d'améliorer l'amplificateur en lui ajoutant de nouvelles fonctionnalités. Comparer le rendu du Honey-Bass, amplificateur à lampes, avec un amplificateur à transistor serait également enrichissant. De nombreuses pistes et perspectives pour d'autres projets restent donc ouvertes.

V. BIBLIOGRAPHIE

Wikipédia (consulté le 24/05/2018)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pentode>

Tube-town (consulté le 07/06/2018)

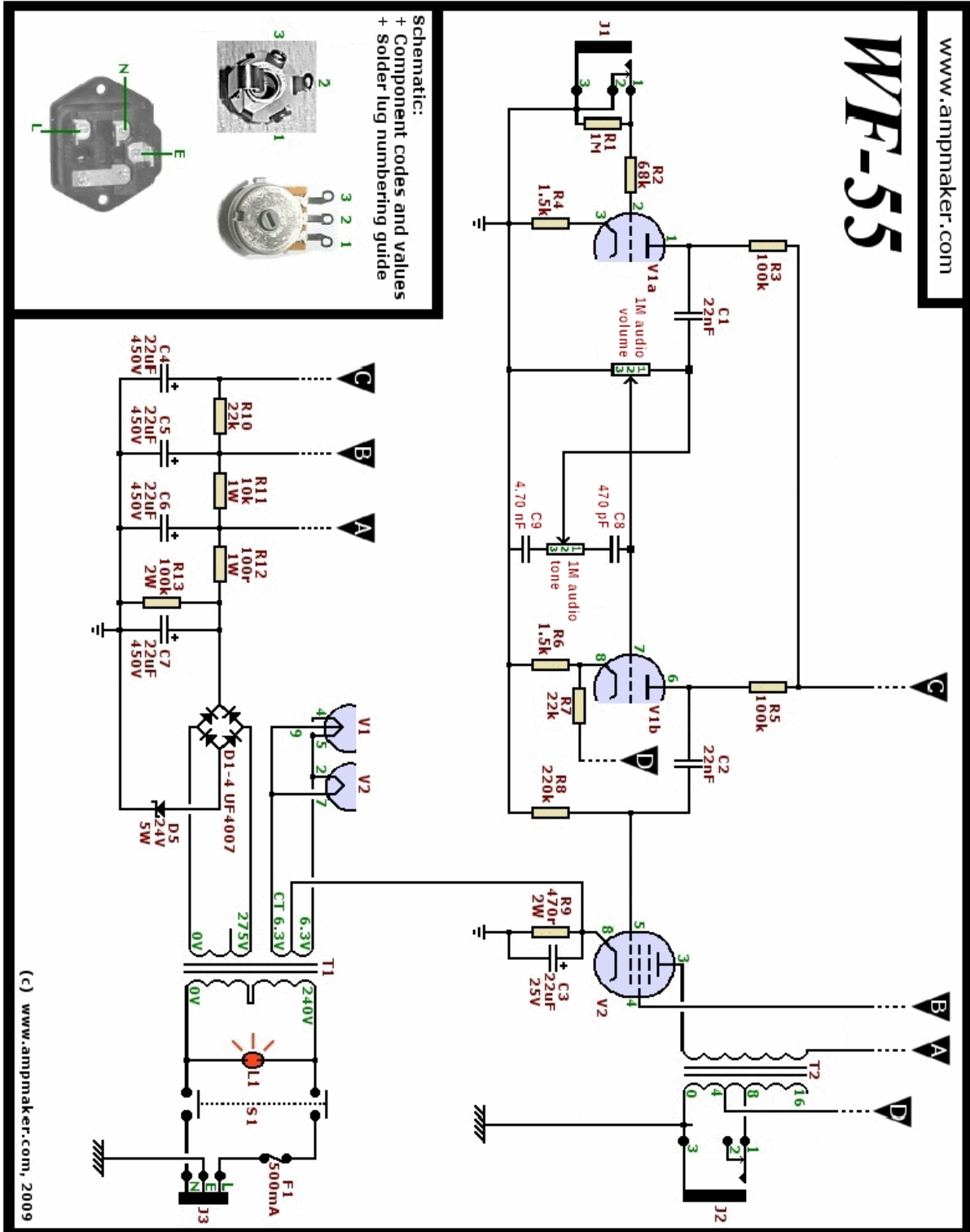
https://www.tube-town.net/cms/?DIY/B-Serie/HoneyB_%28enq1%29

VI. TABLE DES ILLUSTRATIONS

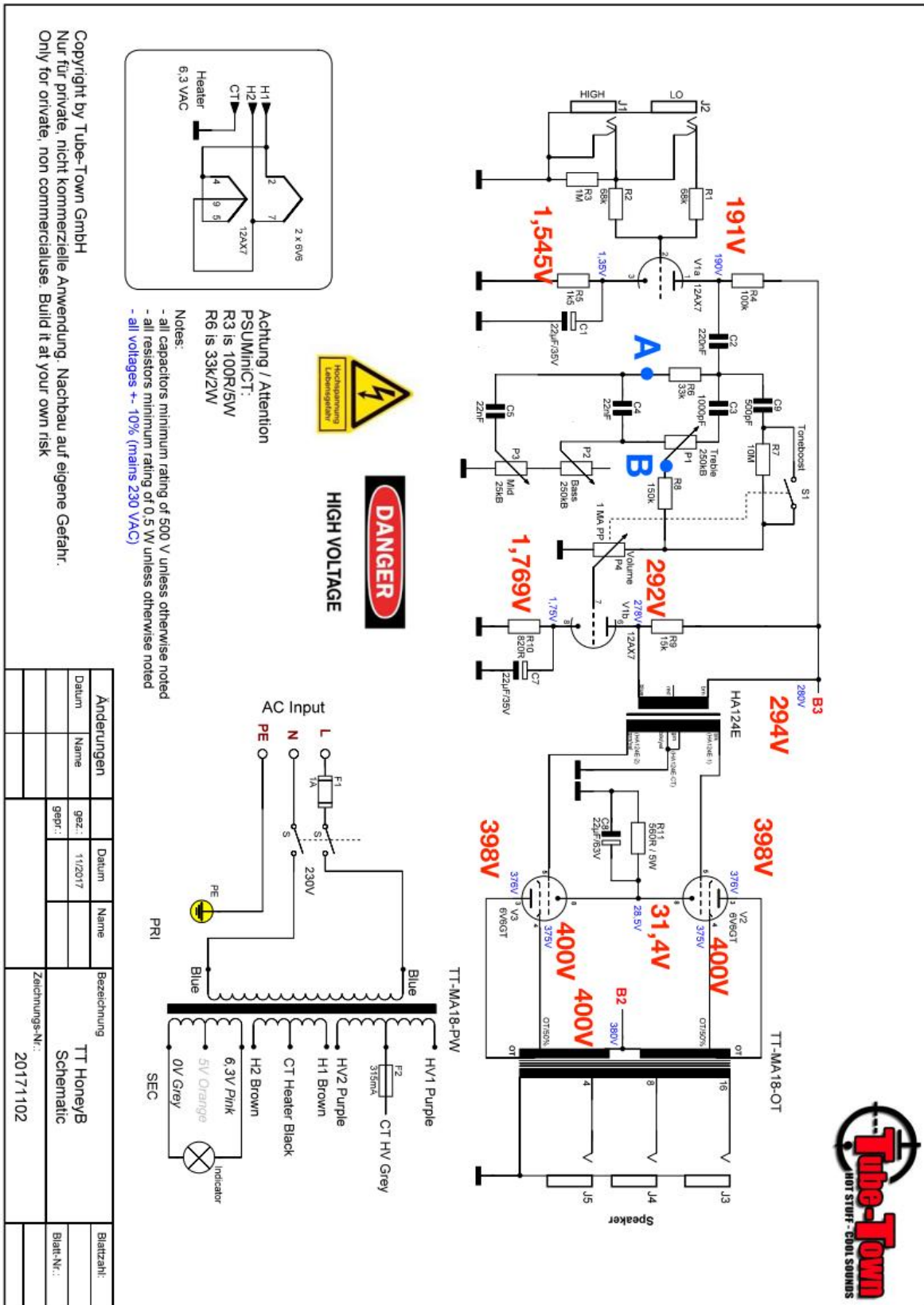
1- Organigramme, répartition des tâches	7
2- Une triode.....	9
https://mymusicteacher.fr/blog/wp-content/uploads/2015/07/lampe_amplificateur.png	
3- Eléments internes de la triode	9
http://www.leblogguigratte.fr/2011/11/04/comment-fonctionne-un-ampli-a-lampe-explifications-simples/	
4- Une pentode.....	10
https://fr.wikipedia.org/wiki/Pentode	
5- Préparation du caisson.....	11
6- Visuel définitif du caisson	11
7- Documentation Fender	12
8- Assemblage du châssis (1).....	13
9- Assemblage du châssis (2).....	13
10- Alimentation.....	13
11- Câblage	14
12- Repérage de éléments	14
13- Turret board.....	14
14- Fin du montage	14
15- Simulation Fender	16
16- Mesures Fender	16
17- Relevé des tensions de sortie de l'amplificateur Honey-Bass	19
18- Simulation Honey-Bass	19
19- Courbes théoriques	20

VII. ANNEXES

VII.1. Schéma Fender (mis à jour)



VII.3. Schéma Honey-Bass (avec points de mesure)



VII.4. Mesures Honey-Bass

Fréquence (Hz)	Vs1 (V)	Vs2 (V)	Vs3 (V)
30	0,544	2,38	0,56
40	0,992	3,74	1,03
50	1,45	4,96	1,51
60	1,92	5,8	1,96
70	2,28	6,44	2,36
80	2,6	6,84	2,72
90	2,9	7,08	3,02
100	3,12	7,24	3,28
200	4,2	6,84	4,64
300	4,52	6,2	5,4
400	4,68	5,84	6,04
500	4,8	5,56	6,52
600	4,84	5,4	6,92
700	4,84	5,36	7,24
800	4,84	5,24	7,52
900	4,84	5,16	7,72
1000	4,84	5,08	7,88
2000	4,44	4,52	8
3000	3,92	3,96	7,44
4000	3,4	3,48	6,8
5000	2,98	3	6
6000	2,62	2,64	5,32
7000	2,36	2,34	4,8
8000	2,12	2,12	4,32
9000	1,92	1,94	3,96
10000	1,76	1,78	3,64
20000	0,98	1,02	2
30000	0,616	0,62	1,32
40000	0,16	0,15	0,4
50000	0,042	0,04	0,07

VII.5. Simulation LTspice Honey-Bass

