

**Musique et Lampes : De la guitare à
l'amplificateur en passant par les pédales de
son (II)**



Étudiants :

Julien DELOMIER

Éléonore SCHENCKERY

Sacha WOJCIECHOWSKI

Mathilde LABAT

Paul THULLIEZ

Florent BRETTON

**Enseignant-responsable du projet :
Richard GRISEL**

REMERCIEMENTS

Nous tenions tout d'abord à remercier notre enseignant-responsable, Mr Richard Grisel. Il nous a aidé à bien assimiler les objectifs du projet, s'est montré ouvert et disponible et nous a grandement aidé à la réalisation de notre amplificateur.

Nous remercions également les techniciens Mr Pascal Williams et Mme Hélène Rade, présents lors des séances pour nous aider à souder les composants. Nous sommes reconnaissants de la confiance et du temps qu'ils nous ont accordé tout au long du projet.

Enfin, nous aimerions remercier l'INSA Rouen Normandie qui nous a donné la possibilité de travailler sur une thématique très intéressante et qui nous tenait à cœur. Ce projet nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement des amplificateurs et des lampes et d'aborder une application directe de la soudure électronique.

Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 044**

Intitulé du projet : **Musique et Lampes : De la guitare à l'amplificateur en passant par les pédales de son (II)**

Type de projet : **Montage, Expérimental, Simulation.**

Objectifs du projet :

Notre projet P6 avait pour but de construire un amplificateur de guitare, sur le modèle du Tomato Blaster, acheté en kit.

Nous devons également réaliser des simulations numériques de notre amplificateur et tester le bon fonctionnement de celui-ci une fois construit.

Mots-clefs du projet : **Électronique, Analogique, Lampe, Amplificateur**

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction | 6 |
| 2. Organisation du travail..... | 7 |
| | 7 |
| 3. Travail réalisé et résultats | 8 |
| 3.1 Construction et soudure du modèle..... | 8 |
| 3.1.1 Généralités sur les amplificateurs à lampe | 8 |
| 3.1.2 Caractéristiques d'une lampe..... | 9 |
| 3.1.3 La lampe du Tomato Blaster..... | 10 |
| 3.2 Travail préparatoire | 10 |
| 3.2.1 Inventaire | 10 |
| 3.2.2 Étude du schéma de l'ampli et de la carte..... | 11 |
| 3.2.3 Soudure des composants et montage | 12 |
| 3.2.4 Tests et simulations | 13 |
| 4. Conclusions et perspectives | 18 |
| 5. Bibliographie..... | 19 |
| 6. Annexes..... | 20 |

1.Introduction

Au début du XX^{ème} siècle, l'explosion du Jazz et du Blues a fait de la guitare un instrument incontournable. Django Reinhardt, BB King, Kenny Burrell... c'est autant de noms qui lui ont rendu hommage en inspirant de nombreux jeunes musiciens. Mais dans sa version acoustique, la batterie, le piano ou le chant prenaient le dessus et l'empêchaient de bien se distinguer. C'est pourquoi amplifier le son à vite été une nécessité.



Le choix de l'amplification électrique commence à partir des années 1930 aux États-Unis suite aux découvertes de Lee de Forest sur l'amplification de signal où un nom se démarque : Georges Beauchamp. Il dépose les premiers brevets d'amplificateurs et conçoit avec l'aide d'Eddy Rickenbacker, la "Rickenbacker Frying Pan", ancêtre de la guitare électrique composée de micro en forme de fer à cheval.

[Figure 1 : La Rickenbacker Frying Pan](#)

Par la suite, dans les années 1950-1960, Leo Fender et Jim Marshall, deux noms bien connus dans l'industrie de la musique, développent et commercialisent des amplificateurs de guitare comme le "Precision bass", le "Vox AC30" ou le "Marshall JTM45". Marshall se montre d'ailleurs à l'écoute de certains artistes et travaille sur ses produits afin de répondre aux besoins des musiciens. La série d'amplificateurs "Marshall JMP" est d'ailleurs la première à utiliser des lampes.

Depuis, de nombreux amplificateurs de guitare ont été commercialisés et deviennent indispensables pour l'utilisation de la guitare électrique.

L'objectif de ce projet était donc de construire un petit amplificateur à lampe grâce au kit "Tomato Blaster" et d'étudier son fonctionnement. La conception de ce genre de modèle passe par l'assemblage physique, mais aussi par la réalisation de simulations pour définir ses caractéristiques techniques ainsi que par des tests pour s'assurer de son bon fonctionnement.

2. Organisation du travail

Suite à la réalisation du travail préparatoire, nous nous sommes répartis les tâches à exécuter selon des petits groupes. De cette manière, nous alternions entre les manipulations et les parties théoriques. Nous avons pu découvrir et comprendre les multiples facettes de la fabrication d'un amplificateur telles que les simulations, les tests, la soudure et le câblage des composants ainsi que l'assemblage. Il était parfois nécessaire de continuer la réalisation des cartes électroniques en dehors des cours de P6 afin de terminer dans les temps.

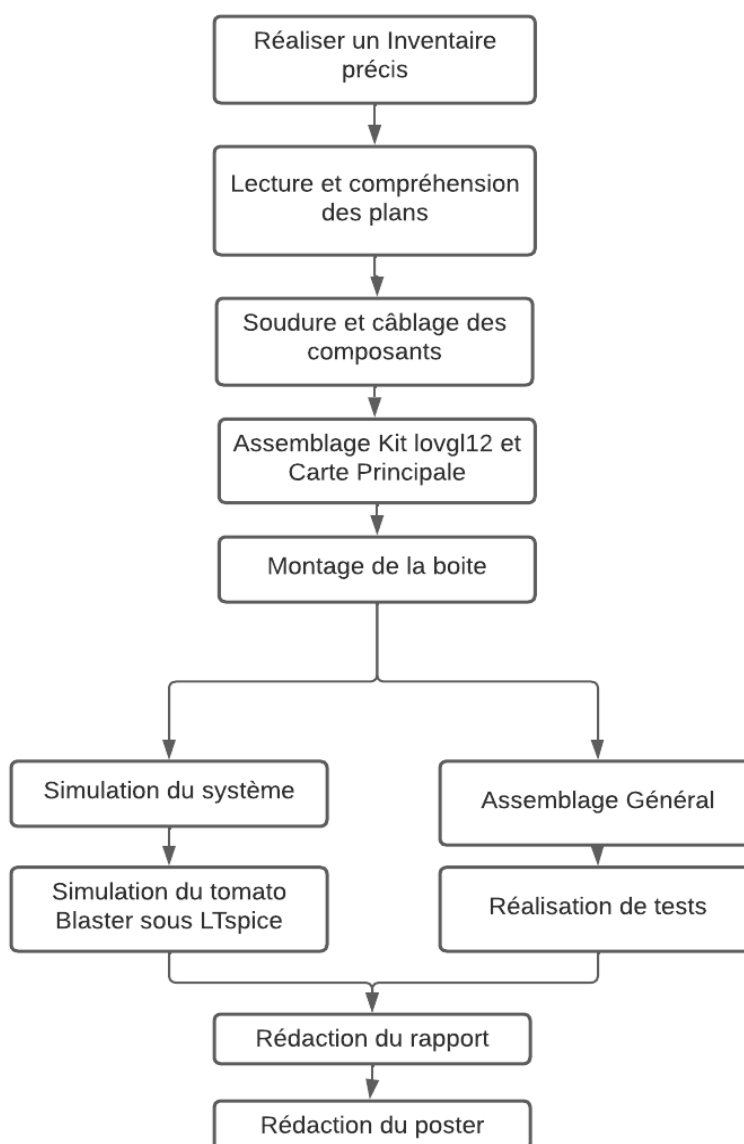


Figure 2 : Organigramme de notre organisation de travail

3. Travail réalisé et résultats

3.1 Construction et soudure du modèle

3.1.1 Généralités sur les amplificateurs à lampe

A partir de 1904, les montages utilisés pour l'amplification des signaux employaient des diodes à tubes. Au départ elles étaient composées de deux électrodes, mais une troisième a été rajoutée en 1906 par Lee De Forest afin de réguler le flux d'électrons. C'est ainsi qu'est née la lampe à triodes telle que nous la connaissons.

On appelle donc **Triodes** les lampes des amplificateurs à lampe. Elles sont composées de 3 électrodes placées dans une enceinte vide :

- Une **Cathode** chargée négativement qui sert de source d'électrons. Cette électrode est chauffée par un "Heater", ce qui donne le nom de "lampe" à cette installation,
- Une **Anode** chargée positivement qui reçoit les électrons,
- Une **Électrode** placée entre les 2 premières. Cette électrode, appelée **Grille**, permet de réguler le débit d'électrons entre la cathode et l'anode.

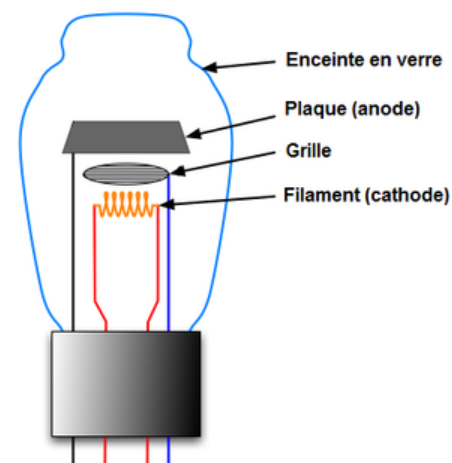


Figure 3 : Schéma d'une Triode d'amplificateur

On peut parler de **chauffage direct** car la cathode ne fait qu'un avec le filament chauffant. Dans le cas contraire, on parle de **chauffage indirect**.

De manière général, les lampes possèdent 5 pattes connectées sur la carte électronique :

- Deux pattes sont dédiées au heater, le filament,
- Une pour la cathode,
- Une pour l'anode,
- Une pour la grille.

Ce nombre peut varier si la lampe contient une double-triode comme le Tomato Blaster, point que l'on détaillera plus tard.

Concentrons-nous maintenant sur les caractéristiques d'une lampe :

3.1.2 Caractéristiques d'une lampe

On appellera "**la**" le courant et "**Va**" la différence de potentiel entre l'Anode et la Cathode. Chaque triode (lampe) possède 3 paramètres : la **résistance d'anode**, le **facteur d'amplification**, et la **transconductance**. On notera la tension de la grille "**Vg**".

Transductance "**gm**" :

La transductance représente le changement du courant de la plaque (anode) divisé par le changement correspondant à la tension de la grille / cathode (avec la tension de l'anode comme constante).

$$gm = \Delta la / \Delta Vg$$

Facteur d'amplification "**μ**" :

Ce facteur représente le gain de la lampe, qui peut être ajusté en faisant varier la tension de la grille.

$$\mu = \Delta Va / \Delta Vg$$

Résistance d'anode "**ra**" :

La résistance d'anode "**ra**" est la réciproque de "**gm**".

$$ra = \Delta Va / \Delta la$$

On pourra écrire :

$$\mu = ra * gm$$

(où "**μ**" reste constant au cours du temps.)

3.1.3 La lampe du Tomato Blaster

L'amplificateur Tomato Blaster, celui sur lequel nous avons travaillé, est un amplificateur qui utilise une lampe double 12AU7 / ECC82, c'est-à-dire qu'elle comporte 2 triodes dans son enceinte faite de vide. Cette lampe possède donc non pas 5 pattes mais 9, comme décrit ci-dessous :

- f_c (9) qui n'est pas utilisée dans notre montage,
- f (4) et (5) correspondent aux pattes des heater des 2 triodes,
- g' (2) et g (7) correspondent aux pattes des grilles,
- a' (1) et a (6) correspondent aux pattes des anodes,
- k' (3) et k (8) correspondent aux pattes des cathodes.

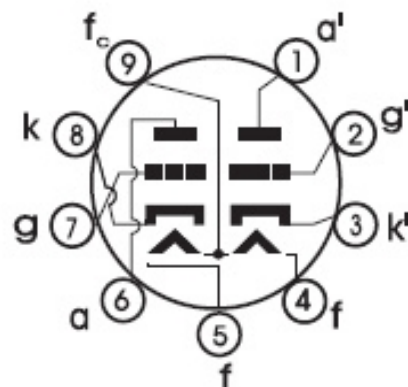


Figure 4 : Schéma d'une double-triode et de ses 9 pattes

Le facteur d'amplification de la lampe 12AU7 / ECC82 utilisé a pour valeur $\mu = 17$.

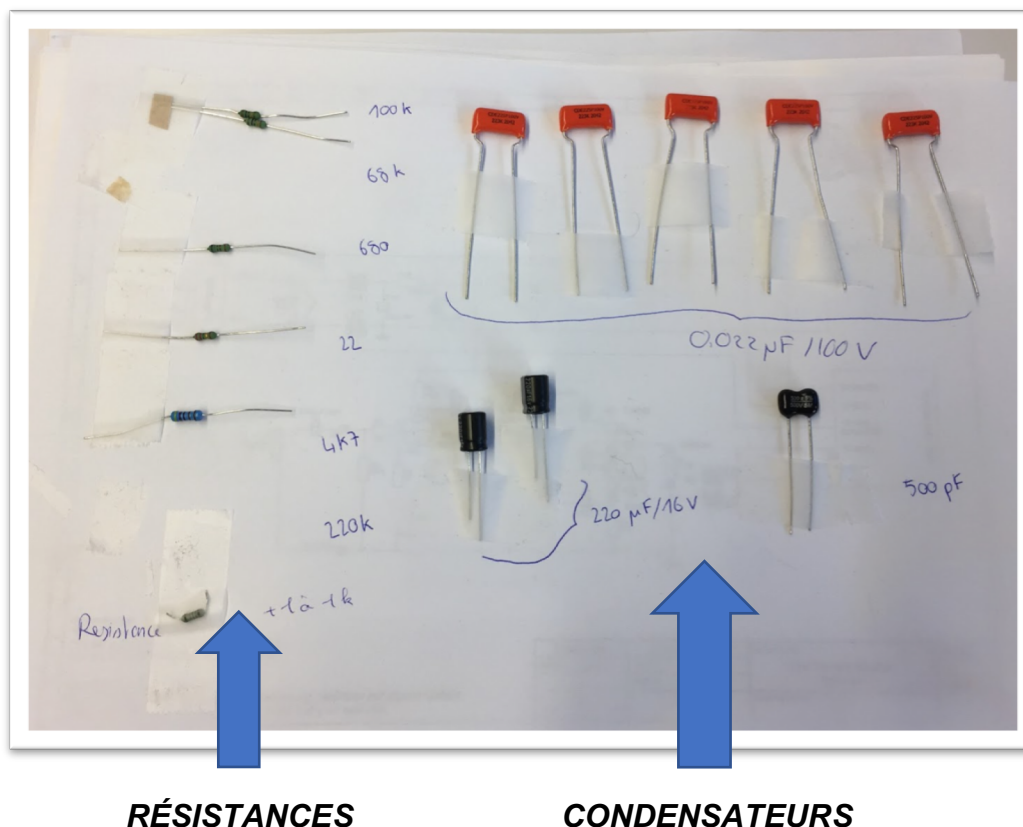
3.2 Travail préparatoire

3.2.1 Inventaire

La première étape de notre projet peut paraître futile mais elle n'en est pas moins importante. Il s'agissait de réaliser l'inventaire des pièces destinées au montage de l'amplificateur.

Afin de vérifier que l'ensemble du matériel nous avait bien été livré et de diminuer les risques d'erreurs lors du montage des cartes électroniques, nous avons répertorié l'ensemble des composants du système de la manière suivante :

Figure 5 : Étiquetage des composants de Tomato Blaster



Nous nous sommes aidé d'internet pour connaître la valeur des traits de couleur sur les résistances et ainsi associer à chacune d'entre elles une valeur en ohm comme montré ci-dessus.

3.2.2 Étude du schéma de l'ampli et de la carte

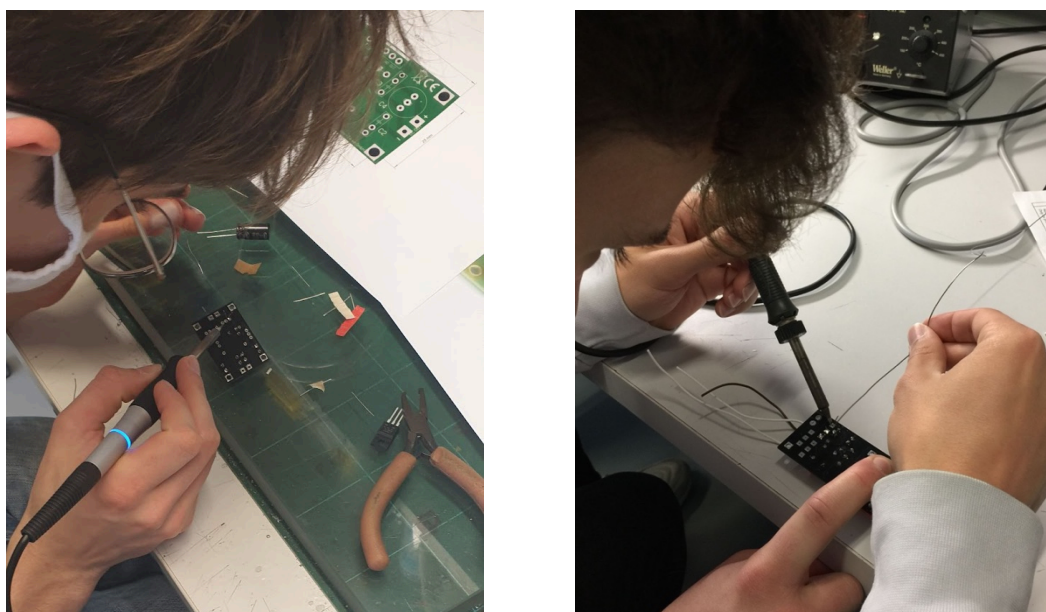
Avant de commencer le montage de l'amplificateur, nous avons consulté les plans et schémas du Tomato Blaster (c.f. Annexe 1) pour faciliter l'organisation du travail. Cette étude nous a également aidé à comprendre le fonctionnement du système, le lien entre chaque élément et la manière dont le tout allait s'agencer dans le boîtier. Par exemple, notre lampe étant double, elle est donc visible deux fois sur les schémas électriques. Cette partie du projet prend toute son importance puisqu'elle nous a permis d'organiser notre travail de manière méthodique et ainsi gagner du temps lors de la soudure et l'assemblage.

3.2.3 Soudure des composants et montage

Après la réalisation de l'inventaire nous pouvions débuter notre apprentissage de la soudure. Pour les premières manipulations, nous avons décidé d'assembler l'alimentation Kit lovgl12 car elle était plus petite et plus simple.

Hélène Rade et Pascal Williams ont su nous expliquer les bases : le maniement du fer à souder et de l'étain, en commençant par des composants comme les résistances ou la diode. La difficulté résidait dans la manière de déposer le métal, non pas sur le fer mais bien sur la carte après avoir chauffé le composant. Progressivement nous nous sommes chargés des condensateurs, des fils, du transistor et de la lampe. Nous avons eu recours à de la patte thermique, des gaines thermosensibles ou encore des cosses pour protéger et isoler thermiquement les composants et les fils.

L'idéal était de souder en groupe de deux, avec une personne maniant le fer et une autre à sa disposition pour stabiliser les composants ou l'aider en cas de besoin.



[Figure 6 : Photos de la réalisation de soudures](#)

Suite à cela, nous avons commencé à souder les fils entre la carte et les potentiomètres, permettant d'adapter le signal selon les paramètres choisis. Ce fut la partie la plus difficile. En effet, il fallait maintenant relier la carte principale aux potentiomètres, aux ports jack d'entrée et de sortie, à l'alimentation (Kit lovgl12), au préamplificateur, et au power switch. Il a d'abord fallu préparer les fils en les coupant

à la bonne taille. Nous avons ensuite dû les dénuder et parfois les étamer, afin de pouvoir les souder. Nous les avons torsadés entre eux, pour gagner de l'espace dans le boîtier et nous permettre aussi de bien les repérer. Leur nombre pouvaient en effet nous induire en erreur lors de la soudure.

Voici quelques photos illustrant cette deuxième partie :

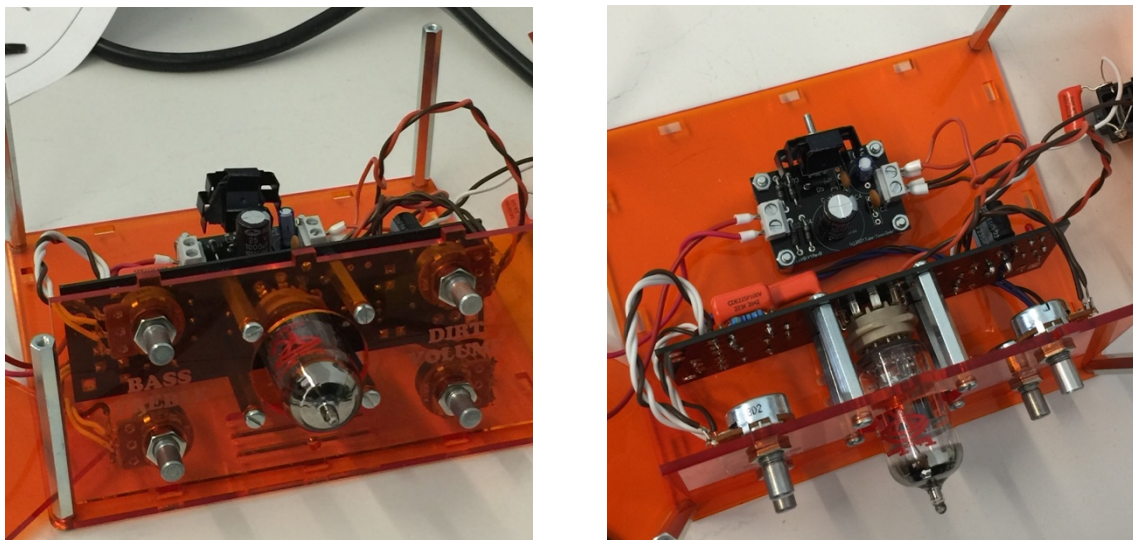


Figure 7 : Photos des parties internes du Tomato reliés par des fils

Grâce à une pompe à dessouder ou des tresses en cuivres, nous avons pu rattraper certaines erreurs, notamment une inversion des résistances ou une mauvaise disposition des fils.

Il était impératif de souder correctement pour garantir le bon fonctionnement du Tomato Blaster. Un simple détail peut en réalité faire dysfonctionner tout le circuit. C'est pourquoi chaque étape de soudure devait être vérifiée avant de tester si le courant était transmis.

3.2.4 Tests et simulations

Notre projet comporte deux parties essentielles :

- La partie **expérimentale**,
- La partie **analytique et simulations**.

Les deux sont indissociables, en effet, en parallèle du montage du Tomato Blaster, nous devons réaliser des simulations d'amplificateurs afin de déterminer les

caractéristiques techniques du Tomato Blaster tels que la **bande passante** ou le **Gain**. De plus, nous devons effectuer des tests sur nos composants électroniques pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

Nous allons donc développer tout cela dans cette prochaine partie.

3.2.4.1 Simulations sur le logiciel LTSpice

3.2.1.1 Le logiciel

LTSpice est un des seuls logiciels informatiques permettant la simulation d'amplificateurs à lampes comme le nôtre. Avant toute chose, la prise de connaissance de notre travail s'est faite par l'inventaire mais aussi par une découverte informatique du système électronique. Il était nécessaire de comprendre le logiciel pour pouvoir visualiser les composants et les analyser.

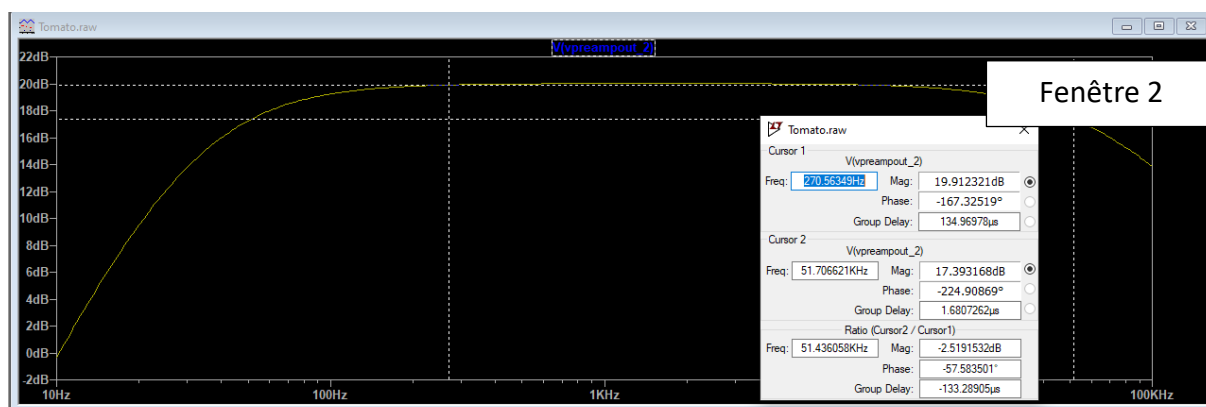
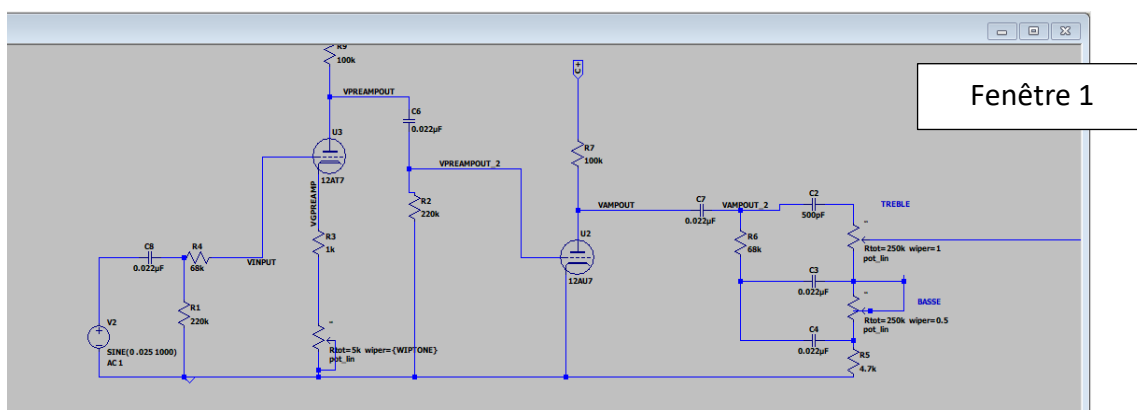


Figure 8 : Fenêtres 1) et 2) de LTSpice

Ci-dessus, on peut visualiser deux fenêtres du logiciel.

- La première nous permet de sélectionner la zone à étudier, comme par exemple un point de polarisation de la lampe ou encore l'entrée ou la sortie d'un composant.
- La deuxième nous montre le signal recherché sous forme graphique. On observe en abscisse la fréquence et en ordonnées le volume en dB.

3.2.1.2 Les caractéristiques du Tomato Blaster

Grâce à LTSpice, nous avons tout d'abord étudié la tension de sortie du Tomato Blaster en fonction de la fréquence.

Pour une Tension d'entrée de 100 mV (crête à crête), nous avons obtenu :

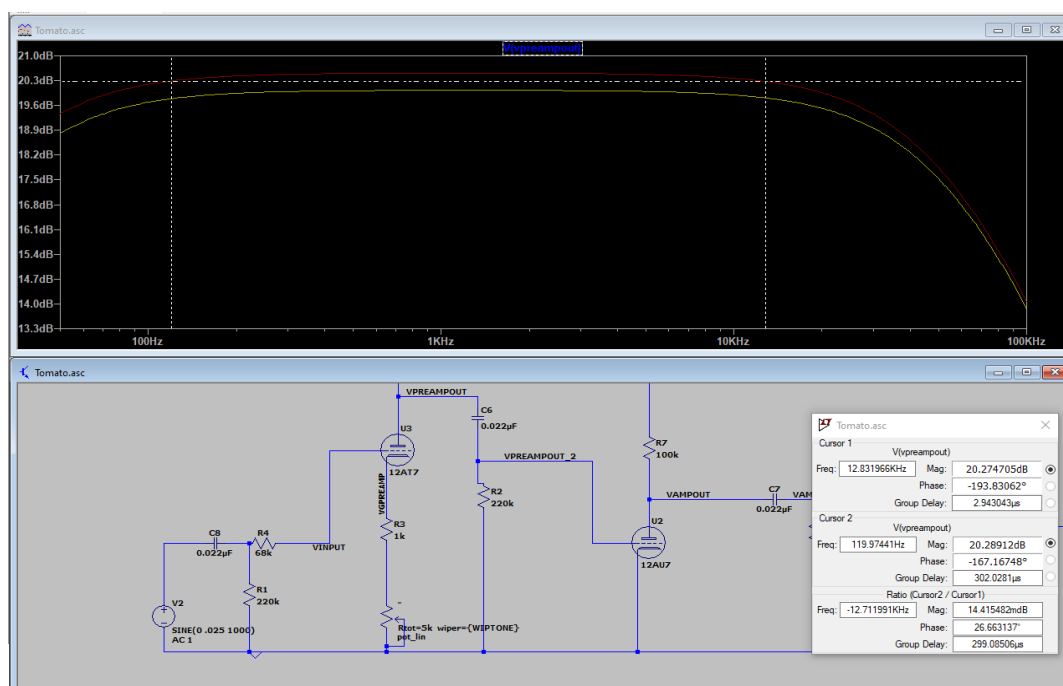
| Fréquences (Hz) | 70 | 500 | 1000 | 5000 | 10 000 | 100 000 |
|-----------------------|------|------|------|------|--------|---------|
| Tension de sortie (V) | 3,96 | 5,56 | 5,52 | 5,68 | 5,60 | 5,2 |

Figure 9 : Tensions de sortie caractéristique du Tomato Blaster

Nous avons ainsi pu mesurer **une fréquence de coupure basse à 70 HZ** et un **gain de 55** engendré par l'amplificateur.

Les simulations suivantes portaient sur la visualisation de la bande passante à -3dB en sortie de lampe. Nous cherchions aussi à trouver la zone de fréquence où le Gain est constant. Pour cela, il nous suffisait de faire des observations graphiques sur LTSpice.

Figure 10 : Simulations sur le premier étage d'une lampe 12AT7



On observe :

- Un Gain constant de 120Hz - 12,8KHz,
- Une bande passante à -3dB : 40Hz - 53 KHZ

Nous avons donc réalisé ces simulations sur chacun des étages de la lampe et pour deux types de lampe différentes.

| | | | |
|----------------|---------------|------------------|------------------|
| Lampes | 12AT7 étage 2 | 12AU7 étage 1 | 12AU7 étage 2 |
| Gain constant | 300Hz - 15KHz | 390Hz - 11.5KHz | 370Hz - 13KHz |
| Bande passante | 50Hz - 50KHZ | -3DB pas atteint | -3DB pas atteint |

Figure 11 : Tableau des caractéristiques du Tomato Blaster

3.2.4.1 Tests des composants

Test de l'alimentation Kit lovgl12

Après avoir bien vérifié les branchements de la carte, nous avons mis l'alimentation en tension. Pour ne pas provoquer de court-circuit, il ne fallait pas se tromper sur le sens d'entrée et de sortie de la carte.

Les tests ont été réalisés avec une tension d'entrée de 15V, et nous avons obtenu 14,8 mV en sortie ce qui était concluant. Notre alimentation était donc opérationnelle !

Tests sur le montage complet

Cette étape nous a permis de vérifier toutes nos installations et soudures ainsi que le bon fonctionnement de chacun des composants.

Une fois le système mis en tension et l'interrupteur fermé, la led s'allume ce qui est un bon signe. La carte principale est donc bien mise sous tension, il reste maintenant à tester le signal.

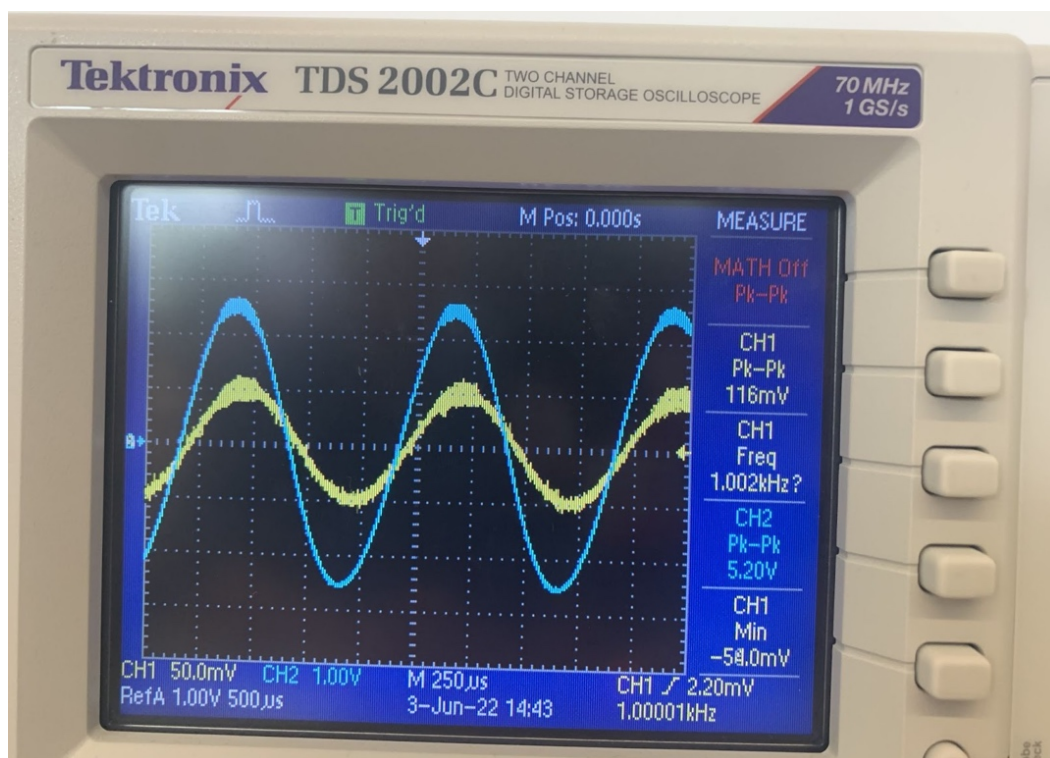
Pour cela, nous avons utilisé un générateur à basse fréquence et des sondes branchées à un oscilloscope afin de visualiser la forme du signal (c.f. Annexe 2). Lors de ces tests, nous devons vérifier chacun des 8 points de polarisation de la lampe et observer s'ils remplissaient bien leur rôle.

Cependant, lors de notre premier test, nous nous sommes aperçus que nous avions mal soudé l'entrée jack du Tomato Blaster. Il nous a donc fallu régler ce problème.

Ceci étant fait, nous avons pu reprendre une deuxième session de tests qui consistait d'abord à vérifier si les condensateurs supprimaient bien les composantes continues, puis de s'assurer que les potentiomètres de volume, de distorsion, de basse et de hautes fréquences modifiaient correctement le signal. Tout cela fut concluant (c.f. photo ci-dessous ainsi que l'Annexe 3).

Pour mettre un point final sur notre projet, il nous a fallu comparer la valeur du gain prévu lors de la simulation avec celle mesurée. Avec les sondes, nous nous sommes placé à la sortie du Tomato et nous avons obtenu les courbes suivantes :

Figure 12 : Signal en sortie d'amplificateur à Volume et Treble Max



La courbe Jaune représente le signal d'entrée de 100 mV et la courbe bleue le signal de sortie. On peut lire dans la barre de mesure à droite une intensité de sortie de 5,20V. Cela représente un gain d'environ 50 ce qui est cohérent avec notre simulation estimée à 55

4. Conclusions et perspectives

Au cours de ce projet, nous avons eu l'opportunité d'assembler un amplificateur à lampe et de comprendre en détail son fonctionnement. Ce dernier, très concret, nous a apporté de nombreuses connaissances techniques et théoriques. En effet, nous savons désormais souder, câbler, exécuter des simulations sur LTSpice et faire des tests sur des systèmes électroniques. En ce qui concerne les compétences théoriques, ce projet complète nos cours de physique et d'électricité par l'étude de circuits électriques.

Ce projet nous a aussi appris à être réactif et réagir rapidement face aux problèmes rencontrés. Les tests nous ont permis d'identifier les erreurs et de les corriger en procédant différemment. Nous avons aussi pu détecter un autre problème des plus important qui fut le dysfonctionnement de notre alimentation-secteur. Heureusement, suite à quelques modifications de M.Grisel, nous avons pu tester notre Tomato Blaster et constater son bon fonctionnement.

Une des valeurs clé de l'INSA est de former des ingénieurs-humanistes et ce projet s'inscrit parfaitement dans cette lignée. Le travail en équipe et la bonne communication étaient primordiaux. Afin de progresser efficacement, les tâches ont été réparties en petites équipes pour faciliter la communication et cela nous a permis de nous entraider au besoin. Nous avons aussi des délais à respecter, ce pourquoi nous nous sommes retrouvés plusieurs fois en dehors des cours pour ne pas prendre de retard dans l'avancée de l'amplificateur. Chaque membre du groupe avait d'importantes responsabilités : la minutie et la rigueur étaient au centre de la réussite de ce projet. Toutes ces compétences techniques, manuelles, théoriques, et humaines que nous avons dû utiliser et développer lors de la création de l'amplificateur sont des qualités et compétences nécessaires pour un ingénieur-humaniste, ce qui nous montre que ce projet s'inscrit très bien dans notre formation INSA.

Dans le futur, il pourrait être intéressant de lier le préamplificateur à une enceinte et de les rassembler dans un même compartiment de protection. Cela rendrait le tout transportable, opérationnel et comparable à un "ampli" comme nous pouvons en trouver sur le marché. Il serait également très enrichissant de tester notre matériel en situation réelle, en répétition ou en concert si l'occasion se présente.

5. Bibliographie

<https://www.guitariste.com/guides/amplis,4368,1.html> (valide à la date du 20/05/2022)

https://fr.wikipedia.org/wiki/George_Beauchamp (valide à la date du 20/05/2022)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_pour_guitare_%C3%A9lectrique#Historique
(valide à la date du 20/05/2022)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Frying_Pan_\(guitar\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Frying_Pan_(guitar)) (valide à la date du 03/06/2022)

<https://www.tube-town.net/ttstore/kit-tomato-blaster.html> (valide à la date du
29/05/2022)

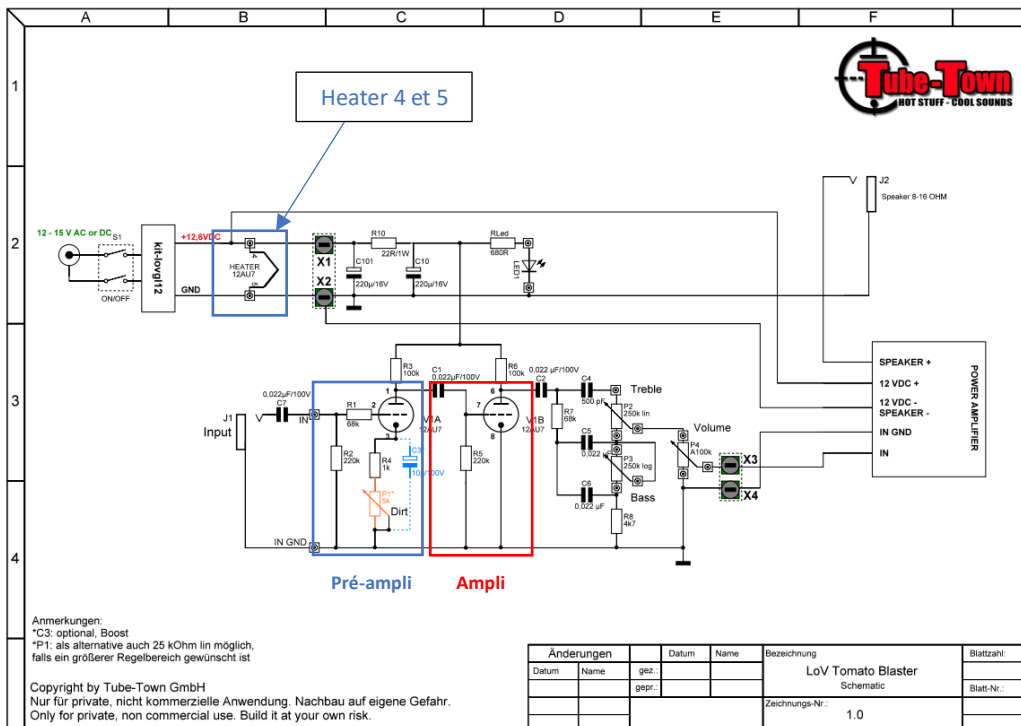
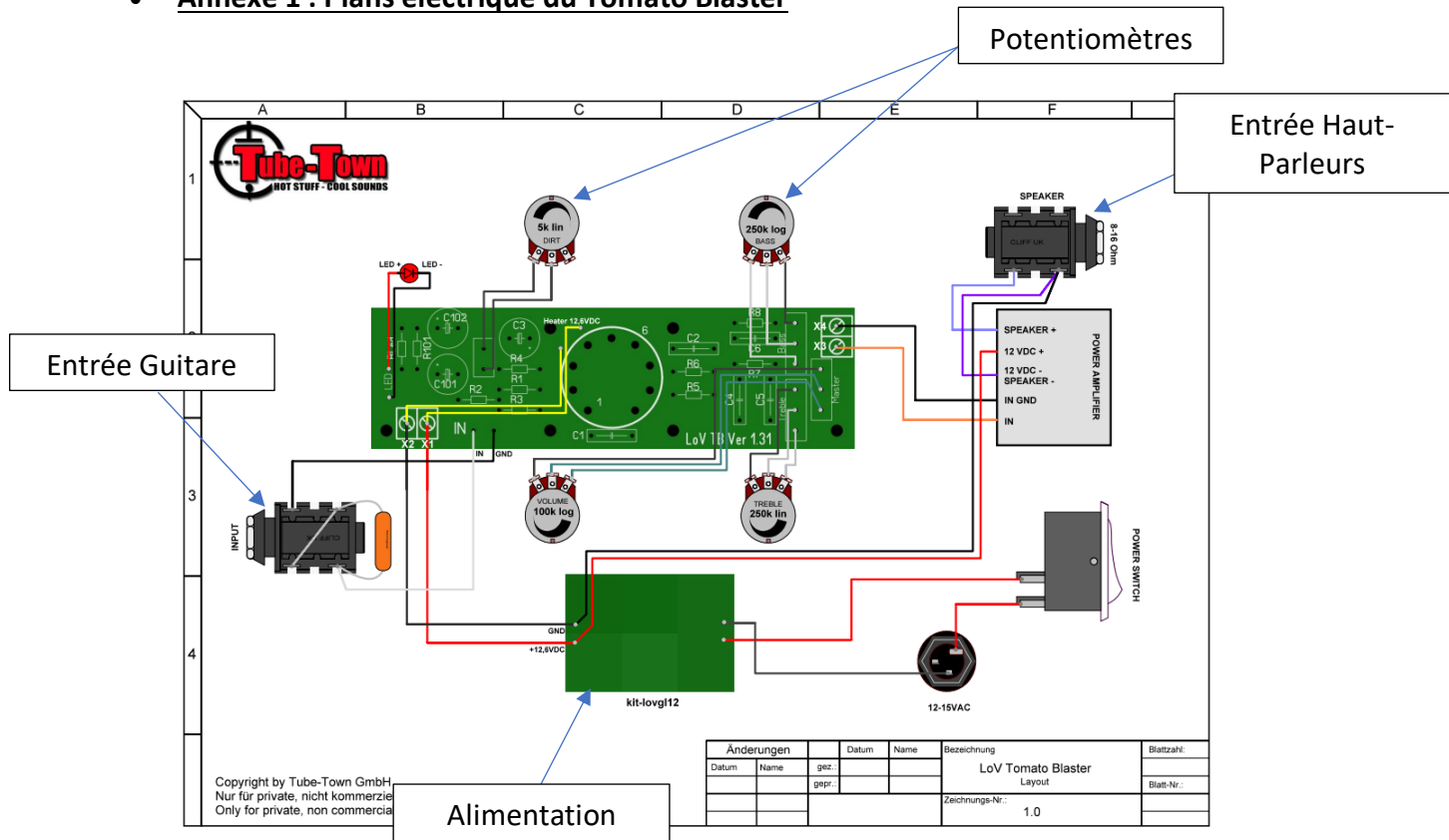
<https://www.leblogquigratte.fr/2011/11/04/comment-fonctionne-un-ampli-a-lampe-explications-simples/> (valide à la date du 01/06/2022)

https://www.pourlesmusiciens.com/jj-tesla-12au7-ecc82_118974.html (valide à la date
du 01/06/2022)

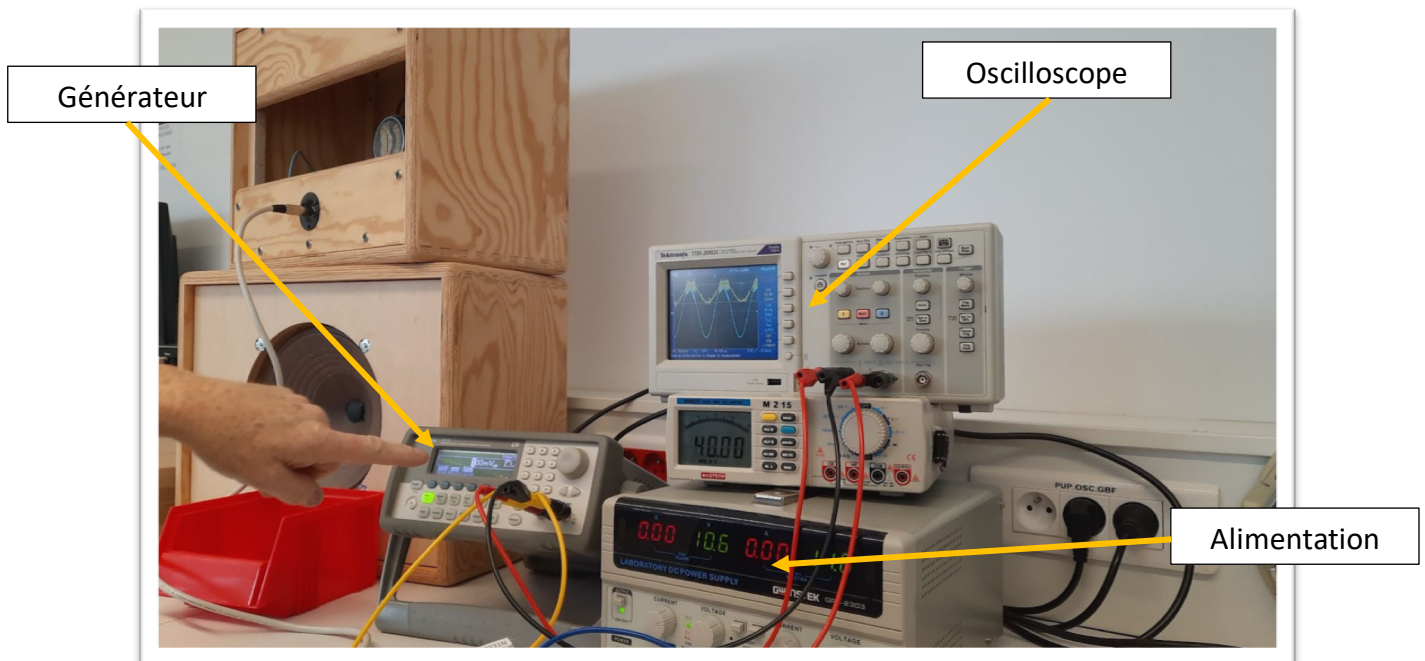
<https://www.solfege.org/amplificateurs-a-lampe/#:~:text=L%27histoire%20de%20l%27amplificateur,cr%C3%A9e%20la%20diode%20%C3%A0%20tube.> (valide à la date
du 01/06/2022)

6. Annexes

- Annexe 1 : Plans électrique du Tomato Blaster



- **Annexe 2 : Photo de l'installation au générateur et à l'oscilloscope**



- **Annexe 3 : Signal visible à l'oscilloscope à potentiomètre de basses fréquences au maximum**

